

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**ANÁLISIS DEL FLUJO NO PERMANENTE EN TUBERÍAS DE
PRESIÓN PARA APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS**

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO INGENIERO CIVIL

JESSICA MARÍA LOZADA FIALLOS
(jmlf1985@yahoo.com)

DIRECTOR: Dr. MARCO A. CASTRO D.
(marco.castro@epn.com.ec)

Quito, septiembre 2010

DECLARACIÓN

Yo Jessica María Lozada Fiallos, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

JESSICA LOZADA FIALLOS

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Jessica María Lozada Fiallos bajo mi supervisión.

Dr. Marco A. Castro D.
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Este agradecimiento va dirigido a todas las personas quienes colaboraron el desarrollo de este trabajo. A mis padres, hermanos y amigos quienes que con su apoyo y cariño han ayudado en la etapa estudiantil.

Agradezco a todos los profesores que me supieron guiar e inculcar sabiduría, a los ingenieros (as) que facilitaron el desarrollo del presente proyecto de titulación.

También un muy grato agradecimiento a toda la comunidad politécnica, ya que sin su ayuda este proyecto no sería posible.

Por último y no menos importante un agradecimiento muy especial a mi director de tesis que con su ayuda y paciencia ha sabido guiarme en el desarrollo del proyecto de titulación.

DEDICATORIA

El presente proyecto de titulación está dedicado especialmente a mi familia y a todas las personas que me apoyaron e hicieron y contribuyeron en hacer esto posible.

CONTENIDO

GENERALIDADES	1
CAPÍTULO 1.....	2
INTRODUCCIÓN.....	2
1.1.- ANTECEDENTES.....	2
1.1.1.- CLASIFICACIÓN DEL FLUJO A PRESIÓN	2
1.1.2.- PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE LA HIDRÁULICA.....	4
1.1.2.1.- Conservación de la masa:	4
1.1.2.2.- Conservación de la energía:	4
1.1.2.3.- Conservación de la cantidad de movimiento o momentum:	8
1.1.3.- FLUJO NO PERMANENTE EN SISTEMA DE TUBERÍAS A PRESIÓN.....	8
1.1.4.- SELECCIÓN DEL DIÁMETRO ÓPTIMO PARA APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS.....	9
1.1.4.1.- Tipos de tubería a presión	10
1.2.- DESCRIPCIÓN BASE TEÓRICA	11
1.2.1.- TRÁNSITO DE UNA ONDA ELÁSTICA	11
1.2.2.- FENÓMENOS TRANSITORIOS - GOLPE DE ARIETE.....	12
1.2.3.- CELERIDAD DE ONDA.....	21
1.2.4.- EFECTOS DE LA VISCOSIDAD DEL AGUA	22
1.3.- MODELACIÓN NUMÉRICA DEL FLUJO NO PERMANENTE	23
1.4.- DESCRIPCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE CÁLCULO DE LA SOBREPRESIÓN POR GOLPE DE ARIETE EN TUBERÍAS DE PRESIÓN	26
1.5.- OBJETIVOS Y RESTRICCIONES DEL PROYECTO DE TITULACIÓN	28
1.5.1.- OBJETIVO GENERAL:	28
1.5.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	28
1.5.3.- RESTRICCIONES DEL PROYECTO:	29
1.6.- CONCLUSIONES	29
CAPITULO 2.....	31
CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MODELO NUMÉRICO SURGE	31

2.1.- DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL PROGRAMA ..	31
2.1.1.- DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROGRAMA.....	31
2.1.2.- PASOS PARA LA EL USO DEL PROGRAMA SURGE.	32
2.1.3.- METODOLOGÍA DE SOLUCIÓN AL SISTEMA DE ECUACIONES:	38
2.1.4.- ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES DEL MÉTODO DE ONDA CARACTERÍSTICA.....	41
2.1.5.- ANÁLISIS DE TRANSITORIOS DE UN SISTEMA DE TUBERÍAS UTILIZANDO EL MÉTODO DE ONDAS.....	44
2.2.- DESCRIPCIÓN DEL FLUJOGRAMA DE SOLUCIÓN POR MEDIO DEL MODELO SURGE:.....	46
2.3.- PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL FLUJO NO PERMANENTE EN CONDUCTOS A PRESIÓN QUE REQUIEREN SER CONSIDERADOS PARA LA SIMULACIÓN NUMÉRICA.....	47
2.4.- SÍNTESIS DE LAS VARIABLES PARA LA ENTRADA Y DE LAS VARIABLES DE SALIDA DEL PROGRAMA SURGE.....	49
2.4.1.- VARIABLES DE ENTRADA	49
2.4.1.1.- Reservorio	49
2.4.1.2.- Tubería	49
2.4.2.- VARIABLES DE SALIDA	49
2.4.2.1.- Válvula	49
2.5.- CONCLUSIONES:	50
CAPÍTULO 3.....	52
DESCRIPCIÓN DE LOS TRES APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL SISTEMA MAZAR – DUDAS. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA FÍSICO	52
3.1.- INTRODUCCIÓN	52
3.1.1.- COMPONENTES PRINCIPALES DE UN APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO.....	52
3.2.- DESCRIPCIÓN BREVE DE LOS PRINCIPALES FENÓMENO HIDRÁULICOS A LO LARGO DEL SISTEMA CENTRAL HIDROELÉCTRICA.....	53

3.3.- GENERALIDADES SOBRE EL SISTEMA MAZAR – DUDAS PARA LA GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA.	54
3.3.1- BASES PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS QUE INTERVIENEN EN LA MODELACIÓN:	55
3.3.1.1.- Dimensionamiento hidráulico del tanque de carga	55
3.3.1.2.- Dimensionamiento hidráulico de la tubería de presión.....	57
3.4.- DESCRIPCIÓN DE LAS TRES TUBERÍAS DE PRESIÓN A SER UTILIZADAS EN EL PROYECTO DE TITULACIÓN: CENTRAL DUDAS, CENTRAL ALAZÁN, Y CENTRAL SAN ANTONIO.	60
3.4.1.- APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO DUDAS.....	60
3.4.2.- APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO ALAZÁN.....	61
3.4.3.- APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO SAN ANTONIO	62
3.5.- BASES PARA LA FORMULACIÓN DEL PROBLEMA NUMÉRICO EN CADA UNA DE LOS EJEMPLOS: DUDAS, ALAZÁN Y SAN ANTONIO	63
3.6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	74
CAPÍTULO 4.....	76
SÍNTESIS DEL MANUAL BÁSICO DEL USUARIO PARA EL MODELO SURGE	76
4.1.- PRESENTACIÓN DEL MODELO SURGE.....	76
4.2.- ANÁLISIS DE LOS DATOS DE ENTRADA REQUERIDOS.....	77
4.3.- ANÁLISIS DE LOS DATOS SUJETOS A UN ESTUDIO DE SENSIBILIDAD DE LOS RESULTADOS.....	85
4.4.- SÍNTESIS DEL PROCESAMIENTO Y DE LA EVALUACIÓN DE RESULTADOS NUMÉRICOS.....	85
4.5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	87
CAPÍTULO 5.....	89
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA MODELACIÓN NUMÉRICA	89
5.1.- PROBLEMA FÍSICO DE LOS APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS .	89
5.2.- CONDICIONES HIDRÁULICAS PARA LA ENTRADA Y LA SALIDA DE ESTAS ESTRUCTURAS	90

5.3.- PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS EXPERIMENTALES CON EL MODELO NUMÉRICO.....	92
MODELACIÓN: APROVECHAMIENTO HIDROÉLECTRICO DUDAS.....	93
MODELACIÓN: APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICO ALAZÁN.....	96
MODELACIÓN: APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO SAN ANTONIO ...	98
5.4. - ANÁLISIS DE RESULTADOS:	99
APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO DUDAS.....	100
RESUMEN DE RESULTADOS:.....	100
ENSAYOS ENTREGADOS EN EL INFORME FINAL APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DUDAS.....	101
APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO ALAZÁN	105
APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO SAN ANTONIO	110
5.5.- CONCLUSIONES:	114
CONCLUSIONES PARA EL APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO DUDAS:	115
CONCLUSIONES PARA EL APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO ALAZÁN:.....	121
CONCLUSIONES PARA EL APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO SAN ANTONIO:.....	127
CAPÍTULO 6.....	137
GUÍA PARA LA EJECUCIÓN DE LA PRACTICA DOCENTE EN EL LABORATORIO DEL DICA	137
6.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FÍSICO Y DE LA SOLUCIÓN NUMÉRICA	137
6.2 CONDICIONES HIDRÁULICAS PARA LA ENTRADA Y PARA LA SALIDA DE LA APLICACIÓN CON EL MODELO SURGE.....	138
6.3 GUÍA PARA EL ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS CON EL MODELO NUMÉRICO.....	139
6.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS NUMÉRICOS Y PLANTEAMIENTO DE CONSULTA ADICIONAL.....	141

6.5	CONCLUSIONES:.....	142
	CAPÍTULO 7.....	144
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.	144
	BIBLIOGRAFÍA	150
	ANEXOS	153
	ANEXOS N° 1	154
	REPORTES	154
	REPORTE N#1.....	155
	ANÁLISIS DE TRANSITORIOS HIDRÁULICOS MEDIANTE EL PROGRAMA	
	PIPE 2008- SURGE PARA EL APROVECHAMIENTO DE DUDAS	155
	ANTECEDENTES DEL PROYECTO	156
	TABLA DE RESULTADOS.....	158
	CONCLUSIONES:.....	159
	REPORTE N#2.....	160
	ANÁLISIS DE TRANSITORIOS HIDRÁULICOS MEDIANTE EL PROGRAMA	
	PIPE 2008- SURGE PARA EL APROVECHAMIENTO ALAZÁN.....	160
	ANTECEDENTES DEL PROYECTO.	161
	Tabla de Resultados	163
	CONCLUSIONES:.....	164
	REPORTE N#3.....	166
	ANÁLISIS DE TRANSITORIOS HIDRÁULICOS MEDIANTE EL PROGRAMA	
	PIPE 2008- SURGE PARA LA TUBERIA DE PRESIÓN PROYECTO SAN	
	ANTONIO	166
	ANTECEDENTES DEL PROYECTO.	167
	Tabla de Resultados	169
	CONCLUSIONES	170
	ANEXO N°2	171
	PRÁCTICA.....	171
	PRÁCTICA.....	172
	EL USO DEL PROGRAMA SURGE.....	172
	Objetivo.....	175
	Metodología	175
	PRÁCTICA N° 1	177

Resultados:.....	178
PRÁCTICA N° 2	180
Resultados:.....	182
ANEXO N° 3	183
PLANOS.....	183

INDICE DE FIGURAS

CÁPITULOS 1

FIGURA N° 1: ESQUEMA DE FLUJO GRADUALMENTE VARIADO EN TUBERÍA. 3	
FIGURA N° 2: DESCRIPCIÓN DEL FLUJO EN CONDUCTOS CERRADOS.....	4
FIGURA N°3: PERDIDA DE ENERGÍA POR FRICCIÓN	6
FIGURA N° 4: LÍNEA DE ENERGÍA EN CONDUCTOS A PRESIÓN.....	6
FIGURA N° 5: ESQUEMA DE LA LÍNEA HGL EN UNA CONDUCCIÓN.....	7
FIGURA N° 6: DISPOSICIÓN GENERAL DE UNA TUBERÍA A PRESIÓN.....	14
FIGURA N° 7: PROPAGACIÓN DE LA ONDA ELÁSTICA	15
FIGURA N° 8a: INICIO DEL GOLPE DE ARIETE FASE 1a.....	16
FIGURA N° 8b: GOLPE DE ARIETE FASE 1 b.....	16
FIGURA N° 8c: GOLPE DE ARIETE FASE 2 c	17
FIGURA N° 8d: GOLPE DE ARIETE FASE 2 d.....	17
FIGURA N° 8 f: GOLPE DE ARIETE FASE 3 f.....	18
FIGURA N° 8g: GOLPE DE ARIETE FASE 4 g.....	19
FIGURA N° 8h: GOLPE DE ARIETE FASE 4 h.....	19
FIGURA N° 9: RESUMEN DEL PROCESO DE GOLPE DE ARIETE	20
FIGURA N° 10: VISUALIZACIÓN DE LA SOLUCIÓN EN EL PLATO $x - t$	25
FIGURA N° 11: SOBREPRESIÓN A LO LARGO DE LA TUBERIA – CIERRE BRUSCO	26

CAPÍTULO 2

FIGURA N° 1: PANTALLA DE INICIO DEL PROGRAMA SURGE.....	33
FIGURA N° 2: ESPECIFICACIONES	34
FIGURA N° 3: DATOS DEL SISTEMA.....	34

FIGURA N° 4: VELOCIDAD DE ONDA EN TUBERÍAS CIRCULARES	35
FIGURA N° 5: MAPA – ESCALA	36
FIGURA N° 6: TRAMO DE TUBERÍA Y ELEMENTOS 1	36
FIGURA N° 7: TRAMO DE TUBERÍA Y ELEMENTOS 2	37
FIGURA N° 8: TIPOS DE TUBERÍAS	38
FIGURA N° 9: ONDA DE PRESIÓN EN UNA TUBERÍA	40
FIGURA N° 10: CONDICIONES EN UN ELEMENTO ANTES Y DESPUÉS	42
FIGURA N° 11: GENERACIÓN DE ONDAS DE PRESIÓN CUANDO SE CIERRA UNA VÁLVULA	44
FIGURA N° 12: ACCIÓN DE LA ONDA DE PRESIÓN EN UNA RED DE TUBERÍAS	45
FIGURA N° 13: FLUJOGRAMA DE SOLUCIÓN DEL MODELO SURGE.....	46

CAPÍTULO 3

FIGURA N° 1: ESQUEMA GENERAL DE LOS APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS EN ESTUDIO.....	53
FIGURA N° 2: ESQUEMA DE LOS COMPONENTES DE UN TANQUE DE PRESIÓN O TANQUE DE CARGA.....	56
FIGURA N° 3: POSIBILIDADES DE SELECCIÓN Y DISPOSICIÓN DE LA TURBINA PELTON.....	58
FIGURA N° 4: POSIBILIDADES DE SELECCIÓN Y DISPOSICIÓN DE LA TURBINA PELTON.....	59
FIGURA N° 5: POSIBILIDADES DE SELECCIÓN Y DISPOSICIÓN DE LA TURBINA PELTON.....	59

CAPÍTULO 4

FIGURA N° 1: CUADRO DE CÁLCULO DE VELOCIDAD DE ONDA	81
FIGURA N° 2: CUADRO DE CÁLCULO DE VELOCIDAD DE ONDA	83
FIGURA N° 3: CUADRO DE CÁLCULO DE VELOCIDAD DE ONDA	84

CAPÍTULO 5

FIGURA N°1: ESQUEMA TANQUE DE CARGA.....	90
FIGURA N°2: ESQUEMA TUBERÍA DE PRESIÓN	91

FIGURA N°3: ESQUEMA DE LOS ESCENARIOS UTILIZADOS PARA LA MODELACIÓN	92
FIGURA N° 4:ESQUEMA DEL TANQUE DE CARGA	100
FIGURA N° 5: DATOS Y ESQUEMA DE TANQUE DE CARGA	101
FIGURA N°6: DATOS Y ESQUEMA DE TANQUE DE CARGA	103
FIGURA N° 7: DATOS Y ESQUEMA DEL TANQUE DE CARGA.....	105
FIGURA N°8: DATOS Y ESQUEMA DE TANQUE DE CARGA	106
FIGURA N°9: DATOS Y ESQUEMA DE TANQUE DE CARGA	108
FIGURA N° 10: DATOS Y ESQUEMA DE TANQUE DE CARGA	110
FIGURA N° 11: DATOS Y ESQUEMA DE TANQUE DE CARGA	112

ANEXOS

FIGURA N° 1: CUADRO DE CONDUCCIÓN	172
FIGURA N° 2: ESQUEMA DEL EJERCICIO 1	177
FIGURA N° 3: ESQUEMA DE EJERCICIO 2	180

INDICE DE CUADROS

CUADRO N° 1: CLASIFICACIÓN DE LOS TRANSITORIOS HIDRÁULICOS.....	12
CUADRO N° 2: TIPOS DE MÉTODOS NUMÉRICOS.....	24

INDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 3

TABLA N° 1: DATOS DE LOS TRAMOS DE TUBERÍA EN EL APROVECHAMIENTO DUDAS	61
TABLA N° 2: DATOS DE LOS TRAMOS DE TUBERÍA EN EL APROVECHAMIENTO ALAZÁN.....	62
TABLA N° 3: DATOS DE LA TUBERÍA DE PRESIÓN EN EL APROVECHAMIENTO SAN ANTONIO	63
Tabla No.4: Niveles del reservorio – Aprovechamiento Hidroeléctrico Dudas*	66
Tabla No.5: Niveles del reservorio – Aprovechamiento Hidroeléctrico Alazán*	66
Tabla No.6: Niveles del reservorio – Aprovechamiento Hidroeléctrico San Antonio*	66
Tabla No.7: Datos para la modelación 1	67
Tabla No.8: Datos para la modelación 2	68

Tabla No.9 Datos para la modelación (3).....	69
Tabla No.10: Datos de los codos (1)	71
Tabla No.11: Datos de los codos (2)	71
Tabla No.12: Datos de los codos (3)	72

CAPÍTULO 4

TABLA N° 1: CUADRO DE UNIDADES	77
TABLA N° 2: DATOS GENERALES: APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DUDAS	80
TABLA N°3: DATOS GENERALES: APROVECHAMIENTO HIDROÉLECTRICO ALAZÁN.....	82
TABLA N° 4: DATOS GENERALES: APROVECHAMIENTO HIDROÉLECTRICO SAN ANTONIO	83

CAPÍTULO 5

TABLA N°0 DE RESULTADOS*	100
TABLA N°1 DE RESULTADOS TIEMPO DE CIERRE DE LA VÁLVULA 1S*	101
TABLA N°2 DE RESULTADOS TIEMPO DE CIERRE DE LA VÁLVULA 2 s*	101
TABLA N°3 DE RESULTADOS TIEMPO DE CIERRE DE LA VÁLVULA 3 s*	102
TABLA N°4 DE RESULTADOS TIEMPO DE CIERRE DE LA VÁLVULA 4 s*	102
TABLA N°5 DE RESULTADOS TIEMPO DE CIERRE DE LA VÁLVULA 5 s*	102
TABLA N°6 DE RESULTADOS TIEMPO DE CIERRE DE LA VÁLVULA 10 s	103
TABLA N°7 DE RESULTADOS TIEMPO DE CIERRE DE LA VÁLVULA 15 s*	103
TABLA N°11 DE RESULTADOS PARA TIEMPO DE CIERRE 1 s*	105
TABLA N°12 DE RESULTADOS PARA TIEMPO DE CIERRE 3 s*	105
TABLA N°13 DE RESULTADOS PARA TIEMPO DE CIERRE 4 s*	106
TABLA N°14 DE RESULTADOS PARA TIEMPO DE CIERRE 5 s*	106
TABLA N°15 DE RESULTADOS PARA TIEMPO DE CIERRE 10 s*	107
TABLA N°16 DE RESULTADOS PARA TIEMPO DE CIERRE 15 s*	107
TABLA N°17 DE RESULTADOS PARA TIEMPO DE CIERRE 20 s*	107
TABLA N°18 DE RESULTADOS PARA TIEMPO DE CIERRE 25 s*	108
TABLA N°19 DE RESULTADOS PARA TIEMPO DE CIERRE 30 s*	108
TABLA N°20 DE RESULTADOS TIEMPO DE CIERRE 10s*	109

TABLA N° 21 DE RESULTADOS TIEMPO DE CIERRE 15 s*.....	109
TABLA N°22 DE RESULTADOS PARA TIEMPO DE CIERRE 1 S*.....	110
TABLA N° 23 DE RESULTADOS PARA TIEMPO DE CIERRE 2 s*.....	110
TABLA N°24 DE RESULTADOS PARA TIEMPO DE CIERRE 3 s*.....	111
TABLA N° 25 DE RESULTADOS PARA TIEMPO DE CIERRE 4 s*.....	111
TABLA N° 26 DE RESULTADOS PARA TIEMPO DE CIERRE 5 s*.....	111
TABLA N°27 DE RESULTADOS PARA TIEMPO DE CIERRE 10 s*.....	112
TABLA N°28 DE RESULTADOS PARA TIEMPO DE CIERRE 15 s*.....	112
TABLA N°29 DE RESULTADOS PARA TIEMPO DE CIERRE 20 s*.....	113
TABLA N°30 DE RESULTADOS PARA TIEMPO DE CIERRE 25 s*.....	113
TABLA N°31 DE RESULTADOS PARA TIEMPO DE CIERRE 30 s*.....	113

CAPÍTULO 6

TABLA N°1: TABLA DESCRIPTIVA DEL PROCESO DE ANÁLISIS.....	140
TABLA N°2: TABLA DESCRIPTIVA DEL PROCESO DE ANÁLISIS.....	141

ANEXOS

TABLA N° 1: DATOS DEL EJERCICIO N 1.....	177
TABLA N°2: DATOS DE TUBERÍA Y RESERVORIO.....	178
TABLA N°3: TABLA DE RESULTADOS.....	179

INDICE DE GRÁFICOS

CAPÍTULO 5

GRÁFICO N° 1: PRESIÓN VS. TIEMPO EN EL PUNTO 1 (DESPUÉS DEL RESERVORIO), A LOS 10 S.*.....	117
GRÁFICO N° 2: NODO 48 NODO UBICADO AL FINAL DE LA CONDUCCIÓN SIMULADO COMO UNA VÁLVULA) A LOS 10 S.*.....	117
GRÁFICO N° 3: ESTE GRÁFICO ES DEL CAUDAL (m ³ /s) VS. TIEMPO (s)*.....	118
GRÁFICO N° 4: GRAFICA QUE MUESTRA LA VARIACIÓN DE LA LÍNEA HGL*	118
GRÁFICO N° 5: PRESIÓN VS. TIEMPO EN EL PUNTO 1 (DESPUÉS DEL RESERVORIO), A LOS 15 s.*.....	119

GRÁFICO N° 6: NODO 48 NODO UBICADO AL FINAL DE LA CONDUCCIÓN SIMULADO COMO UNA VÁLVULA) A LOS 15 s.*	119
GRÁFICO N° 7: NODO 48 NODO UBICADO AL FINAL DE LA CONDUCCIÓN SIMULADO COMO UNA VÁLVULA) A LOS 15 s.*	120
GRÁFICO N° 8: PRESIÓN VS. TIEMPO EN EL PUNTO 1 (DESPUÉS DEL RESERVORIO), A LOS 10 s.*	123
GRÁFICO N° 9: NODO 38 NODO UBICADO AL FINAL DE LA CONDUCCIÓN SIMULADO COMO UNA VÁLVULA) A LOS 10 s.*	123
GRÁFICO N° 10: GRAFICA QUE MUESTRA LA VARIACIÓN DE LA LÍNEA HGL*	124
GRÁFICO N°11: PERFIL DE LA CONDUCCIÓN Y LA LÍNEA DE ENERGÍA*	124
GRÁFICO N° 12: PRESIÓN VS. TIEMPO EN EL PUNTO 1 (DESPUÉS DEL RESERVORIO), A LOS 15 s.*	125
GRÁFICO N° 13: NODO 38 NODO UBICADO AL FINAL DE LA CONDUCCIÓN SIMULADO COMO UNA VÁLVULA) A LOS 15 s.*	125
GRÁFICO N° 14: PRESIÓN VS. TIEMPO EN EL PUNTO 1 (DESPUÉS DEL RESERVORIO), A LOS 1 s.*	128
GRÁFICO N° 15: NODO 32 NODO UBICADO AL FINAL DE LA CONDUCCIÓN SIMULADO COMO UNA VÁLVULA) A LOS 1 s.*	129
GRÁFICO N° 16: ESTE GRÁFICO ES DEL CAUDAL (m ³ /s) VS. TIEMPO (s)*	129
GRÁFICO N° 17: PERFIL DE LA CONDUCCIÓN Y LA LÍNEA DE ENERGÍA*	130
GRÁFICO N° 18: PRESIÓN VS. TIEMPO EN EL PUNTO 1 (DESPUÉS DEL RESERVORIO), A LOS 5 s.*	130
GRÁFICO N° 19: NODO 32 NODO UBICADO AL FINAL DE LA CONDUCCIÓN SIMULADO COMO UNA VÁLVULA) A LOS 5 s.*	131
GRÁFICO N° 20: PERFIL DE LA CONDUCCIÓN Y LA LÍNEA DE ENERGÍA EN 5 s*	131
GRÁFICO N° 21: PRESIÓN VS. TIEMPO EN EL PUNTO 1 (DESPUÉS DEL RESERVORIO), A LOS 10 s.*	132
GRÁFICO N° 22: NODO 32 NODO UBICADO AL FINAL DE LA CONDUCCIÓN SIMULADO COMO UNA VÁLVULA) A LOS 10 s.*	132
GRÁFICO N° 23: ESTE GRÁFICO ES DEL CAUDAL (m ³ /s) VS. TIEMPO (s)*	133
GRÁFICO N° 24: PERFIL DE LA CONDUCCIÓN Y LA LÍNEA DE ENERGÍA	133

GRÁFICO N° 25: PRESIÓN VS. TIEMPO EN EL PUNTO 1 (DESPUÉS DEL RESERVORIO), A LOS 30 s.*	134
GRÁFICO N° 26: NODO 32 NODO UBICADO AL FINAL DE LA CONDUCCIÓN SIMULADO COMO UNA VÁLVULA) A LOS 30 s.*	134
GRÁFICO N° 27: ESTE GRÁFICO ES DEL CAUDAL (m^3/s) VS. TIEMPO (s)*	135
GRÁFICO N° 28: GRAFICA QUE MUESTRA LA VARIACIÓN DE LA LÍNEA HGL*	136

CAPÍTULO 7

GRÁFICO N°1: APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO DUDAS*	148
GRÁFICO N° 2: APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO ALAZÁN	148
GRÁFICO N°3: APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO SAN ANTONIO	148
GRÁFICO N° 4: ELEVACIÓN (METROS) VS. TIEMPO (SEGUNDOS).....	149

GENERALIDADES

El presente proyecto de titulación busca determinar la metodología de análisis del flujo no permanente en conductos a presión en Centrales Hidroeléctricas las mismas que forman parte del Proyecto Hidroeléctrico Mazar-Dudas, a través de la modelación en el programa computacional Surge.

La modelación se desarrolla en los tres Aprovechamientos Hidroeléctricos Dudas, Alazán y San Antonio que forman parte del sistema Hidroeléctrico Mazar-Dudas, para la simulación solo se tomo en cuenta el tanque de carga, tubería a presión y casa de máquinas (válvula). Los ensayos se desarrollan en diferentes escenarios cada uno tiene como principal parámetro las cotas de posición y piezométrica del tanque de carga, para cada uno de los ensayos se vario los tiempos de cierre de la válvula y con dos variaciones de caudal.

Los resultados que genera el programa, se presentan como archivos que van a ser analizados y se escogerá solo la información que sea necesaria, por ejemplo de los puntos estratégicos se escoge la carga de presión máxima y mínima.

Después de desarrollar este proceso se hace una organización de los resultados, se puede generar las conclusiones y recomendaciones acerca de esta metodología de análisis y del uso del programa.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1.- ANTECEDENTES

1.1.1.- CLASIFICACIÓN DEL FLUJO A PRESIÓN

El flujo en tuberías se puede dividir de acuerdo a las propiedades hidrodinámicas de movimiento. Si las características varían con el tiempo, se dividen en:

- Flujo permanente
- Flujo no permanente
- Flujo gradualmente variado

El **flujo permanente o estacionario** es aquel en que las condiciones de velocidad de flujo en cualquier punto no cambian con el tiempo, o sus variaciones son pequeñas con respecto al valor medio. Así mismo en cualquier punto no existen cambios en la densidad, presión respecto al tiempo.

$$\frac{\partial v}{\partial t} = 0 \quad \frac{\partial T}{\partial t} = 0 \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} = \text{constante} \quad (2)$$

Donde:

dv = variación de viscosidad

dT = variación de temperatura

$d\rho$ = variación de densidad

dV = variación de velocidad

dt = variación de tiempo

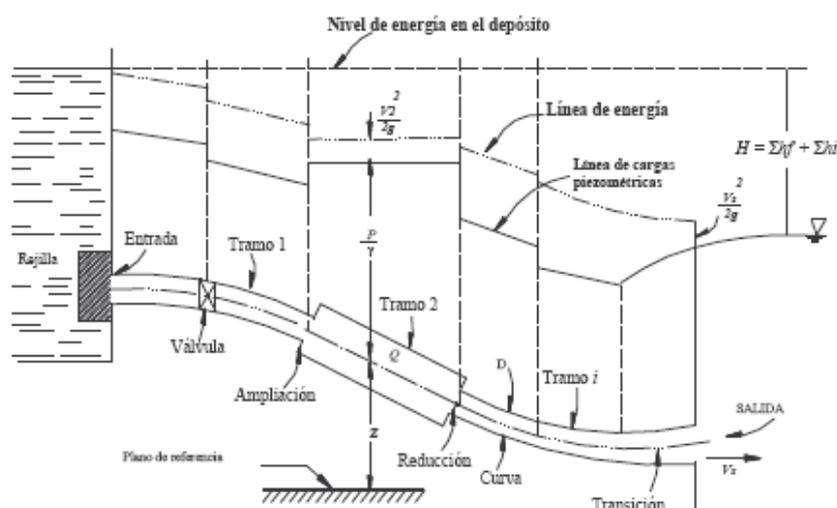
El **flujo no permanente o transitorio**, es un flujo en el cual las propiedades mencionadas anteriormente varían en el tiempo.

$$\frac{\partial v}{\partial t} \neq 0 \quad \frac{\partial T}{\partial t} \neq 0 \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} \neq 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} \neq \text{constante} \quad (4)$$

El **flujo gradualmente variado** es un flujo permanente cuya profundidad varía gradualmente a lo largo de toda la conducción, como se observa en la figura N° 1.

FIGURA N° 1: ESQUEMA DE FLUJO GRADUALMENTE VARIADO EN TUBERÍA



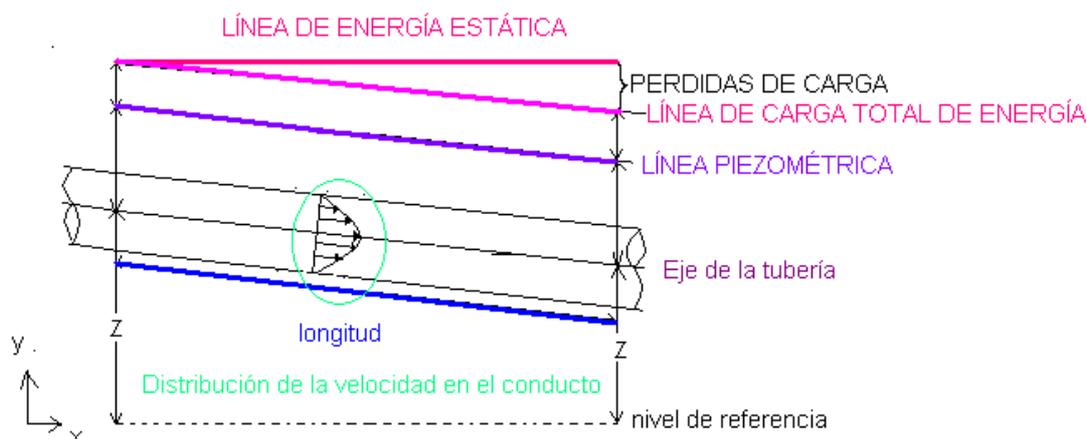
FUENTE: HIDRÁULICA FUNDAMENTAL, SOTELO A., G. 1982

Para el análisis hidráulico de un sistema de tuberías se requiere los siguientes principios fundamentales, que son restringidos ya que para el análisis del flujo no permanente es muy complicado y se necesita hacer las siguientes restricciones:

- Se asume que el flujo es unidimensional, eso quiere decir que se toma un valor medio de las características del flujo, por ejemplo la ecuación de la energía, la carga de presiones y de posición se mide desde el eje central del tubo. Como se puede observar en la figura N° 2.
- Distribución de la velocidad es uniforme al lo largo de toda la conducción, la distribución real de la velocidad es parabólica como se puede ver en la figura N° 2.

- Los coeficientes de α y β (coeficiente de variación de velocidad en la línea de energía y en la cantidad de movimiento) es igual a 1; por eso en el estudio de los principios fundamentales no se los toma en cuenta.

FIGURA N° 2: DESCRIPCIÓN DEL FLUJO EN CONDUCTOS CERRADOS



FUENTE: DOCUMENTO FLUIDO EN MOVIMIENTO

1.1.2.- PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE LA HIDRÁULICA

1.1.2.1.- Conservación de la masa:

Este principio indica que en un flujo permanente e incompresible, el cual se mantiene constante, Es decir,

$$Q = V \cdot A = \text{constante} \quad (5)$$

$$V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2 \quad (6)$$

Donde:

Q = caudal (m^3/s)

V = velocidad media (m/s)

A = área de la sección transversal (m^2)

1.1.2.2.- Conservación de la energía:

La energía que entra en un sistema es igual a la que sale; se debe de tomar en cuenta que en todo sistema se puede generar pérdidas locales y por fricción. Para

entender mejor se puede observar la figura N°1 (la línea rosada es la que representa la línea de energía total). Es decir,

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2}{2g} + \sum h_{p(1-2)} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} H_1 &= Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1}{2g} \\ H_2 &= Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2}{2g} \\ \sum h_{p(1-2)} &= H_1 - H_2 \end{aligned} \quad (8)$$

Donde:

Z_1 = Carga de posición en el punto uno

P_1/γ = Carga de presión en el punto uno

$V_1/2g$ = Carga de velocidad en el punto uno

Z_2 = Carga de posición en el punto dos

P_2/γ = Carga de presión en el punto dos

$V_2/2g$ = Carga de velocidad en el punto dos

$\sum h_{p(1-2)}$ = Perdida total entre el punto uno y dos.

$h_p = h_f + h_l$ = pérdidas por fricción + pérdidas localizadas

Las pérdidas por fricción como se puede ver en la figura N°2 son las que se generan en el contacto del contorno interior de la tubería con el flujo. Se las puede calcular con cualquiera de las siguientes ecuaciones:

Hazen William:

$$hf = \left(\frac{Q}{0.28 * C * D^{2.63}} \right)^{1.85} * Lc \quad (9)$$

C = coeficiente que depende exclusivamente del tipo de material de la tubería

D = diámetro de la tubería

L_c = longitud de la conducción

Darcy Weisbach:

$$hf = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad (10)$$

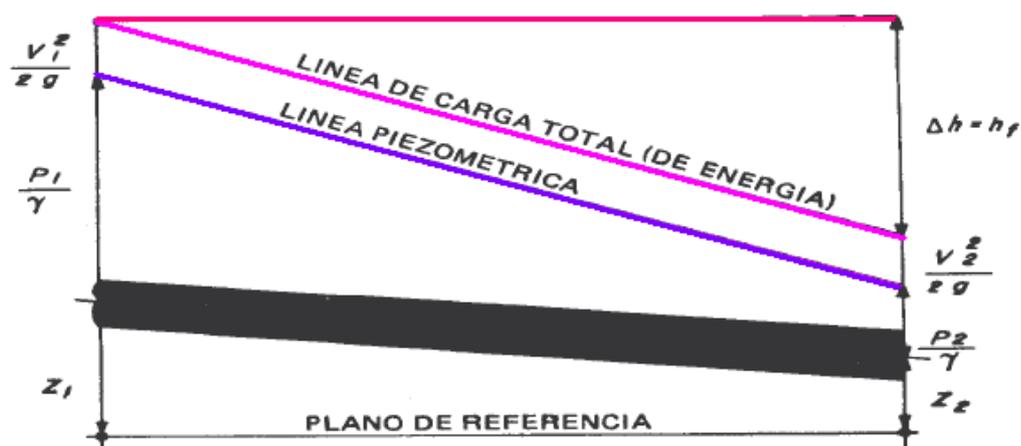
f = coeficiente de fricción (que depende del número de Reynolds, y la rugosidad aparente y diámetro de la tubería)

D = diámetro de la tubería

L = Longitud de tubería

V = velocidad del flujo en la tubería

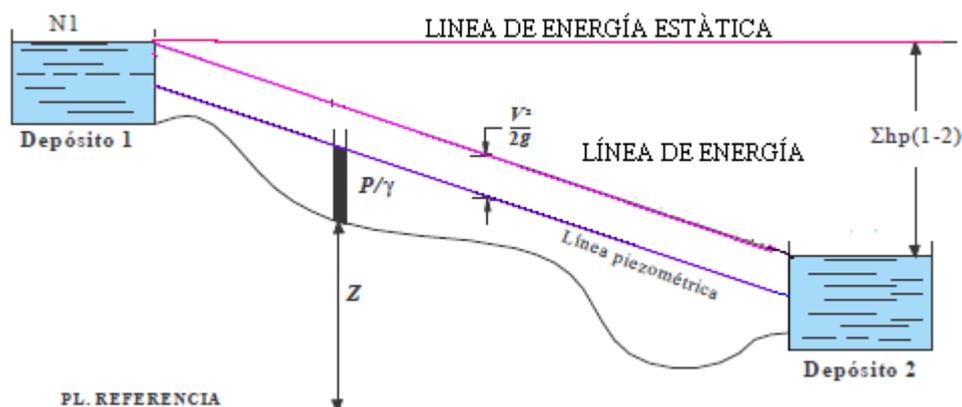
FIGURA N°3: PERDIDA DE ENERGÍA POR FRICCIÓN



FUENTE: AZEVEDO N., J.M. Y ACOSTA A., G. 1975

Las pérdidas localizadas son producidas por los accesorios, cambio de sección, cambio de dirección, etc. Las pérdidas en cada uno de estos puntos dependen de un coeficiente (K) y la carga de velocidad.

FIGURA N° 4: LÍNEA DE ENERGÍA EN CONDUCTOS A PRESIÓN



FUENTE: DOCUMENTO FLUJO A PRESIÓN – M. E. GUEVARA

La línea piezométrica como se puede ver en figura N° 3 (línea de color morado) es la que contempla la carga de posición y presión entre dos puntos.

$$LP = Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} \quad (11)$$

Para el análisis de flujo no permanente se puede utilizar el programa computacional Surge, este software analiza de una manera sencilla el golpe de ariete, que es un fenómeno que ayuda a desarrollar un análisis más adecuado del flujo no permanente a presión.

El programa genera algunas tablas y datos, que para este análisis se toma en cuenta algunos de los resultados, por eso es importante saber que representa cada uno de los términos que interviene en el análisis:

El término **grade** es el nombre que se le da a la carga piezométrica.

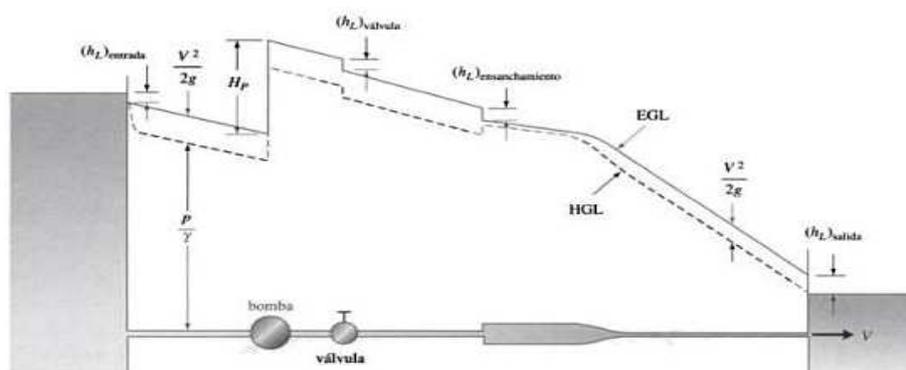
La expresión HGL (por sus siglas en inglés) es el nombre que se le da a la línea piezométrica, este valor se puede obtener de cada uno de los puntos que intervienen en la modelación. Como se puede observar en la figura N° 4, la línea entrecortada es la línea de piezométrica

$$HGL = Z_i + \frac{P_i}{\gamma} \quad (12)$$

La carga estática (pressure head), es la presión que ejerce el flujo sobre el contorno del conducto, y es igual a

$$PH = \frac{P_2}{\gamma} \quad (13)$$

FIGURA N° 5: ESQUEMA DE LA LÍNEA HGL EN UNA CONDUCCIÓN



FUENTE: MECÁNICA DE FLUIDOS

1.1.2.3.- Conservación de la cantidad de movimiento o momentum:

Se deriva de la segunda ley de Newton. La suma vectorial de todas las fuerzas F , que actúa sobre una masa de fluido es igual al producto de la densidad del flujo, por el caudal y la variación de velocidad que existe entre los puntos en los puntos escogidos.

$$\sum_{i=1}^n F_i = \rho * Q * \Delta V \quad (14)$$

En donde:

F = fuerza externa

ρ = densidad del flujo

Q = caudal

ΔV = variación de velocidad

$\rho * Q * \Delta V$ = cambio de cantidad de movimiento por unidad de tiempo entre dos punto.

1.1.3.- FLUJO NO PERMANENTE EN SISTEMA DE TUBERÍAS A PRESIÓN

Para este estudio se considera el flujo no permanente sometido a una presión diferente de la atmosférica; en este estudio se desarrolla un análisis básico y simple de los parámetros que interviene en esta investigación. Por ejemplo al tomar en cuenta la variación de presión en un flujo hace que otras variables como la temperatura, la viscosidad, la densidad cambien

Para este estudio se debe de asumir ciertos parámetros; porque las variaciones que existen de temperatura, velocidad, viscosidad y densidad son muy pequeñas, entonces se puede considerar que es un flujo permanente a presión.

Para desarrollar un mejor análisis del flujo no permanente en conductos a presión se estudia los fenómenos transitorios, en especial el golpe de ariete.

Por eso antes de estudiar el golpe de ariete se menciona algunas de las hipótesis que van a ser adoptadas para el análisis:

- El fluido es perfecto y ligeramente compresible, con módulo de compresibilidad constante¹.

¹ BECERRIL E., HIDRODINÁMICA, CAPÍTULO XXVI, PAG. 619

- La tubería es elástica y cilíndrica¹.
- Las variaciones convectivas de las funciones del movimiento son despreciables, frente a las variaciones locales¹.
- La velocidad es uniforme en cada sección normal¹.

1.1.4.- SELECCIÓN DEL DIÁMETRO ÓPTIMO PARA APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS

El tamaño del diámetro de la tubería de presión es el resultado de un análisis de diseño y económico, mediante el cual se escoge el diámetro que genera el mínimo costo anual de construcción, y de las pérdidas de potencia y energía.

Las pérdidas de energía o de carga que se producen en la tubería (Δh_f) y estas representan pérdidas de potencia y de energía. Este valor es menor según sea el incremento del diámetro de la tubería, lo que a su vez conduce a un mayor costo de construcción y a un incremento en la potencia de la central hidroeléctrica.

La selección óptima del diámetro viene ligado con el dimensionamiento y el material de la tubería, por eso se debe de tomar en cuenta los siguientes criterios:

- Presión de trabajo
- Tipo de unión
- Diámetro y pérdida por fricción
- Peso y grado de dificultad de la instalación
- Accesibilidad al sitio (transporte de la tubería)
- Terreno y tipo de suelo
- Mantenimiento y vida útil de la conducción
- Condiciones climáticas
- Disponibilidad en el mercado

La tubería de presión constituye en muchas veces, el rubro más caro del presupuesto total del proyecto hidroeléctrico. Es por tanto necesario optimizar el diseño minimizando el costo a lo largo de la vida útil del proyecto y el costo inicial de inversión; asegurando costos bajos en los trabajos de reparación y mantenimiento.

En general para escoger el diámetro adecuado y el tipo de tubería dependen de los siguientes factores:

1. El costo de compra de la tubería y costos auxiliares (uniones, soportes, distribuidores, diseño, etc.).
2. La potencia suministrada por la tubería, después de que las pérdidas por fricción sean tomadas en cuenta.
3. El caudal y los límites de eficiencia de la tubería impuesta por la necesidad de comparar la caída neta de la tubería y la velocidad de la turbina bajo condiciones de caudales en temporada seca (caudal parcial).
- 4.- Beneficios adicionales que se consiguen cuando se paga un costo extra por una tubería con menores pérdidas de caída. Estos beneficios pueden ser cualitativos y cuantitativos (cada kW producido se gana ingresos por ahorro de no comprar electricidad a los distribuidores).
5. Costos adicionales, esto es la cantidad extra que se paga por una tubería más grande lo cual tenga menores pérdidas de caída; significando un ahorro o pago en costos secundarios.
8. Costos totales que el esquema hidroeléctrico, UDS/kW generado.²

Por todas estas razones existen algunos tipos de tubería a presión que pueden ser consideradas, para un aprovechamiento hidroeléctrico, y estas son:

1.1.4.1.- Tipos de tubería a presión

Existen diferentes tipos de tubería a presión, que están vinculadas directamente con el tipo de material con la que se está fabricando.

- a) *Acero comercial*.- este tipo de acero es el que se utiliza para la construcción de edificios y tuberías de todo tipo de forma, es liviano, resistente, tiene un acabado liso en el caso de las tuberías, se puede encontrar en el mercado, y es costoso. El acero galvanizado (conocido a menudo simplemente como “galvanizado” o “hierro” en el mercado) es relativamente costoso, difícil para trabajar debido al peso y sufre de una tendencia a la obstrucción debido a los depósitos minerales que se forman en el interior de la tubería.

² 1-8, CELSO P., MANUAL DE PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS, MADRID, 1998

b) Policloruro de vinilo (PVC).- Este material es una resina que resulta de la polimerización del cloruro de vinilo o cloro etileno, son tuberías plásticas rígidas y flexibles, tienen buena resistencia eléctrica y al fuego, sus paredes son más gruesas para soportar las presiones, este material soporta temperatura máxima de 80°C.

c) Polietileno de alta densidad. (PEAD) y media densidad.- Tiene excelente resistencia térmica y química, muy buena resistencia al impacto, es sólida, incolora, translúcida, casi opaca, es flexible aún a bajas temperaturas, es muy ligero, no es atacado por los ácidos, resiste al agua a altas temperaturas.

d) Hierro dúctil centrifugado.- O también conocido como centrifugado de hierro fundido. Se lo nombra así por el método que utilizan para hacer esa tubería. El proceso de vaciado centrífugo consiste en darle vuelta a un molde de metal en su eje horizontal mientras que el hierro fundido se introduce dentro del molde. La resistencia centrífuga del molde en rotación distribuye el metal en forma pareja, produciendo una tubería uniforme sin tener que usar un núcleo central. Algunas empresas fabrican tubería centrifugada de hierro dúctil en diámetros de 100 mm a 1600 mm. Todos los tubos se fabrican en 6 m de largo.

Como prioridad se busca los tipos de tuberías que se encuentran en el mercado en donde se va a desarrollar la obra, para evitar grandes gastos en su importación.

1.2.- DESCRIPCIÓN BASE TEÓRICA

1.2.1.- TRÁNSITO DE UNA ONDA ELÁSTICA

Una onda es una perturbación que se desplaza o propaga de un punto a otro, es el fenómeno que resulta al perturbar la circulación normal del flujo en un conducto.

Para que la onda se propague necesita un medio, para este análisis el medio es el agua que está controlado por una tubería, este medio funciona como elástico para que las vibraciones se propaguen o transmitan dentro de este modelo sin problema.

1.2.2.- FENÓMENOS TRANSITORIOS - GOLPE DE ARIETE

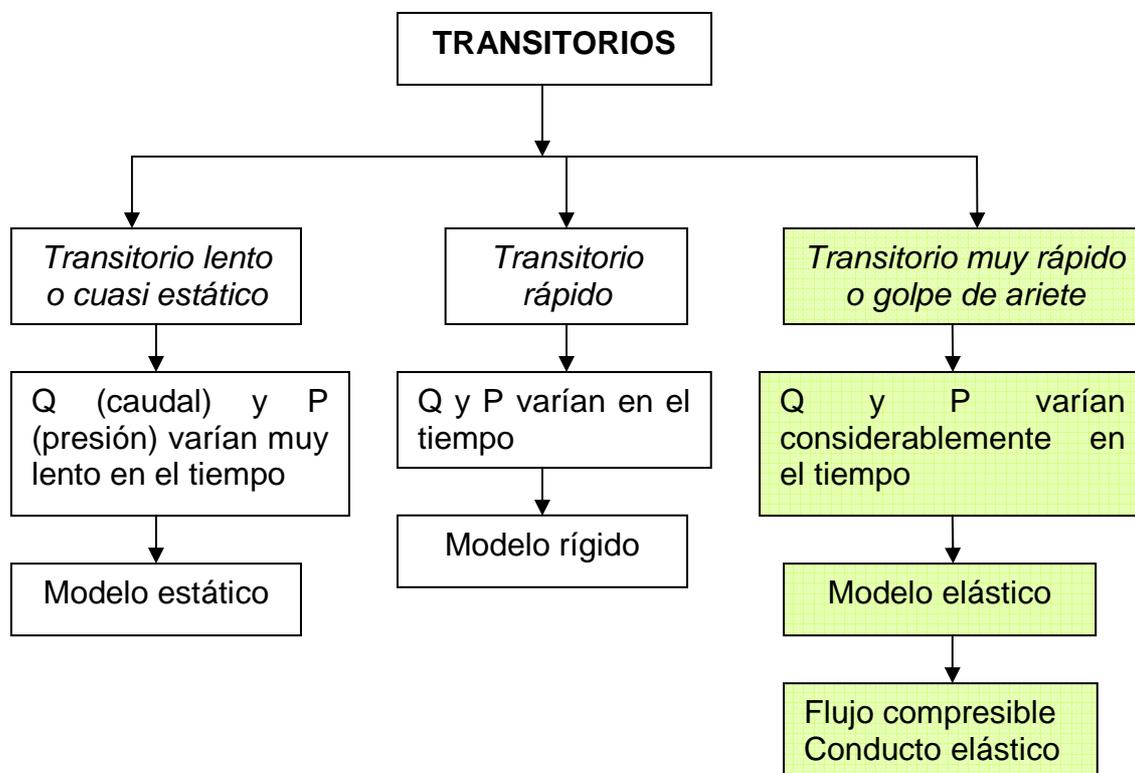
En el estudio del movimiento de los fluidos se han destacado, como un gran grupo de fenómenos, los que tienen lugar en conductos cerrados.

Es claro que todo fenómeno transitorio en conductos cerrados provoca la intervención simultánea de las fuerzas de peso y de elasticidad.

El movimiento de un fluido es extremadamente complejo, como se puede ver en la clasificación del flujo; por eso los transitorios se pueden clasificar en:

Se puede considerar transitorios muy rápidos en donde las perturbaciones en el flujo son violentas (como por ejemplo el cierre instantáneo de una válvula en una conducción), o bien extremadamente lentos, cual es el caso de la operación normal de una red de distribución de agua., en este existe una lenta variación de los caudales o una pequeña variación en los niveles de los depósitos de la red, en intervalos de tiempo muy cortos. Como se muestra en el cuadro N° 1 los transitorios se pueden clasificar en:

CUADRO N° 1: CLASIFICACIÓN DE LOS TRANSITORIOS HIDRÁULICOS



Es importante mencionar que el modelo que más se va a considerar y estudiar para el proyecto es el que permite analizar el golpe de ariete. No es difícil

imaginar que las fronteras entre modelos no están, en absoluto definidas con claridad.

La necesidad del estudio de los transitorios hidráulicos rápidos va ligada de manera inherente, al hecho de que los cambios de régimen, más o menos bruscos que se producen, generan unos niveles de presiones muy superiores a los correspondientes a los regímenes estacionarios y, en consecuencia las conducciones deben de estar preparadas para poderlos soportar.

Habitualmente en el análisis de las instalaciones hidráulicas se considera un comportamiento estacionario, donde las magnitudes hidráulicas de la instalación (caudales y presiones) permanecen constantes en el tiempo, al ser también invariables las condiciones de funcionamiento de la instalación: Condiciones de contorno (consumos y alturas de los reservorios o tanques) y el estado de sus elementos (grado de apertura de las válvulas y número de eyectores de ingreso de agua a la turbina). En realidad una instalación hidráulica varía en el tiempo con una mayor o menor rapidez. Debido a esto, el análisis y el diseño adecuado de una instalación debe de evitar situaciones indeseables como:

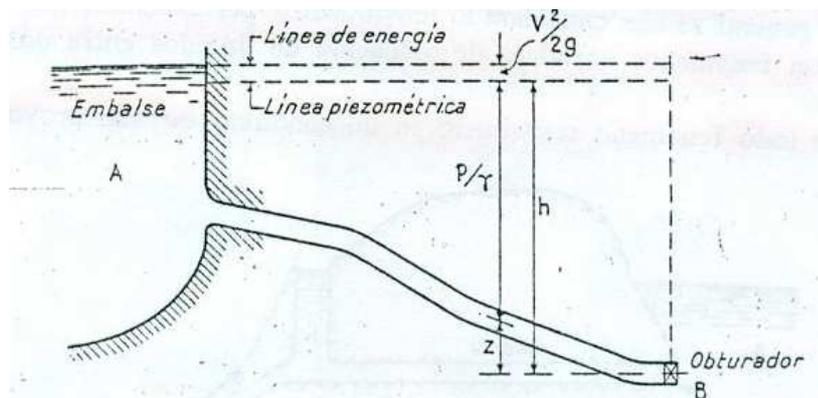
- Presiones excesivamente altas o bajas.
- Flujo inverso
- Movimientos y vibraciones de las tuberías
- Velocidad excesivamente baja

Los resultados de estas situaciones pueden variar desde lo ligeramente inconveniente como por ejemplo una interrupción momentánea del abastecimiento de agua hasta lo desastroso como la destrucción de una estación de bombeo, un desastre medioambiental, una explosión o un incendio. El comportamiento dinámico de la instalación se denomina transitorio, es aquel que tiene lugar entre dos elementos estacionarios de la instalación, puede estar producido por diferentes causas que suelen además determinar la naturaleza del transitorio. Dichas causas pueden ser:

- Una maniobra del operador.
- Un acontecimiento externo a la instalación.
- Problemas que se generan lentamente o de manera inadvertida.

A continuación vamos a presentar un ejemplo de cómo se desarrolla un golpe de ariete:

FIGURA N° 6: DISPOSICIÓN GENERAL DE UNA TUBERÍA A PRESIÓN



FUENTE: BECERRIL E., HIDRODINÁMICA, CAPÍTULO XXVI, PAG. 616

Como se puede ver en la figura N° 6 un esquema de una tubería a presión que arranca en A de un gran embalse (es decir, la velocidad se considera como nula) y termina en B, donde descarga, a la atmósfera, en régimen de permanente, un caudal Q . De momento las pérdidas de carga en la tubería son despreciadas, por lo cual la línea de energía será horizontal, así mismo será horizontal la línea piezométrica $Z + P/\gamma$ (h), si la tubería es de sección uniforme, A. Es claro que la energía cinética del líquido contenido en la tubería es $AL\gamma V^2/2g$. Se supone que el área de salida A' de la sección B puede variarse a voluntad mediante la maniobra de una válvula; cada maniobra producirá una modificación del caudal de salida y determinará, en consecuencia, una variación del que circula por la tubería, cuya energía cinética inicial será alterada.

Cada una de estas variaciones de energía se traducirá en un trabajo de deformación que habrá de ser absorbido por sistema elástico líquido - tubería.

Si el líquido fuera incompresible y la tubería indeformable, el recorrido de las fuerzas de reacción será nula y, por tanto, el incremento de presión debido a una maniobra cualquiera resulta infinito.

Si el sistema es elástico, es decir, el fluido compresible y la tubería dilatante, el fenómeno será progresivo y finito la variación de la presión.

Se supone un cierre total e instantáneo. A él seguirá la inmediata detención de la rebanada líquida en contacto con la válvula, a la vez que se comprime el líquido contenido en ella y se dilata su envolvente, aumentando la presión interior en Δp .

Igualmente, como se ve en la figura 7, el empuje debido al incremento de presión sobre el área de la sección A durante el tiempo dt con la cantidad de movimiento del líquido detenido, cuyo volumen es A ds, se tiene:

$$\Delta p * A * dt = \rho * A * ds * V \quad (15)$$

Por tanto:

$$\Delta p = \rho \frac{ds}{dt} V \quad (16)$$

Donde:

Δp = variación de presión

A = área

ρ = densidad del fluido

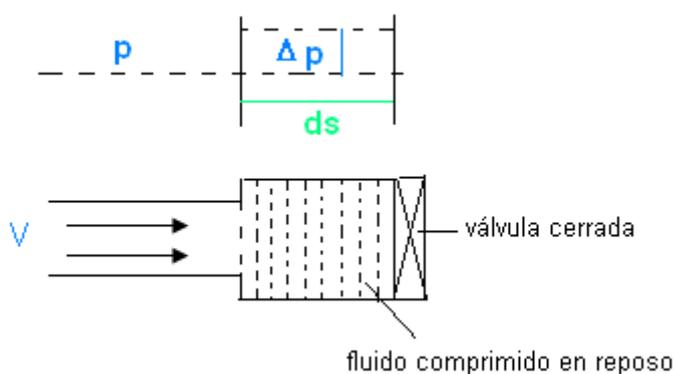
$\frac{ds}{dt} = \frac{dx}{dt}$ = celeridad o velocidad de onda

ds = dx = incremento de longitud de la onda (como se ve en la figura N° 7)

dt = variación de tiempo

V = velocidad del flujo

FIGURA N° 7: PROPAGACIÓN DE LA ONDA ELÁSTICA

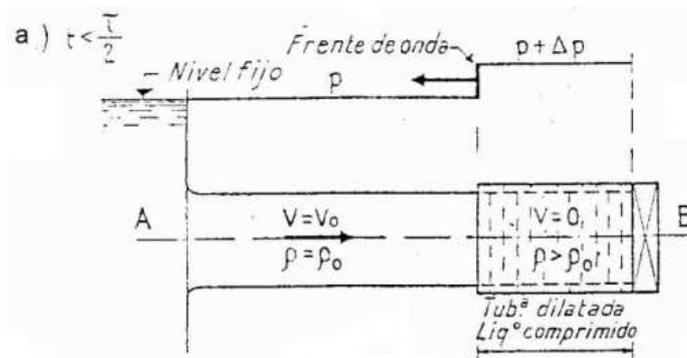


FUENTE: BECERRIL E., HIDRODINÁMICA, CAPÍTULO XXVI-PAG. 617

En el instante siguiente cesara el movimiento en una nueva rebanada, que recibirá igual sobrepresión, y así sucesivamente, propagándola hacia aguas arriba

una onda de presión de magnitud Δp con una celeridad $c = \frac{ds}{dt}$ (figura 8a).

FIGURA N° 8a: INICIO DEL GOLPE DE ARIETE FASE 1a



FUENTE: BECERRIL E., HIDRODINÁMICA, CAPÍTULO XXVI-PAG. 618

Donde:

t = tiempo en el que transcurre la onda

T = periodo de la onda

V, V_0 = velocidad del flujo

ρ, ρ_0 = densidad del flujo

p = presión

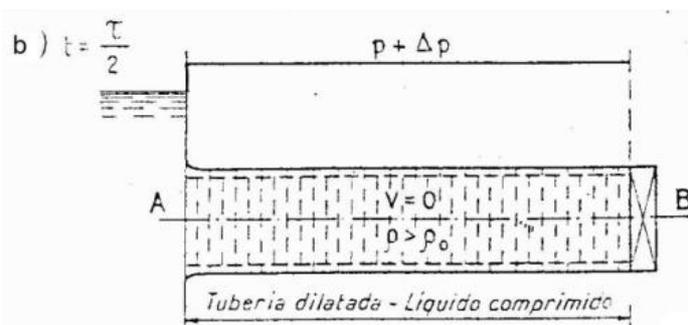
Δp = incremento o disminución de presión

Al cabo del tiempo $\frac{L}{c} = \frac{\tau}{2}$ la perturbación llega a la embocadura, encontrándose

en ese instante todo el líquido comprimido y en reposo, y la tubería, dilatada.

(Figura 8 b)

FIGURA N° 8b: GOLPE DE ARIETE FASE 1 b

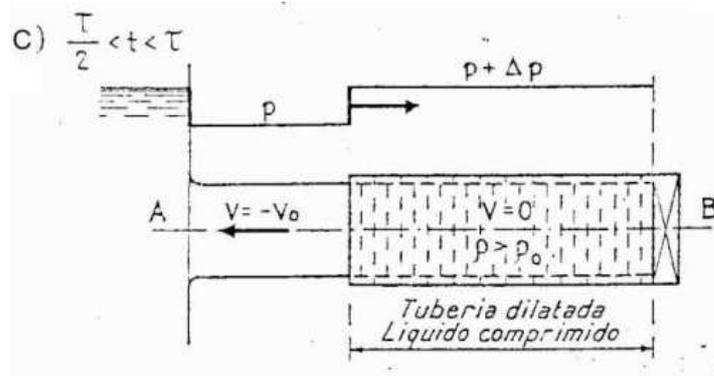


FUENTE: HIDRODINÁMICA-CAPÍTULO XXVI-PAG. 618

Tal situación es inestable, pues en la sección del origen, A, la presión es invariable por corresponder a la carga hidrostática de embalse. De aquí se produce entonces, en ese punto, el comienzo de un proceso inverso: el líquido se

pone en movimiento desde la tubería hacia el embalse con velocidad V_0 , propagándose el fenómeno desde el origen. A, hacia la válvula, B, con la propia celeridad, C; todo ello en virtud de la misma ecuación anterior, reintegrándose la presión a su valor primitivo (figura 8 c).

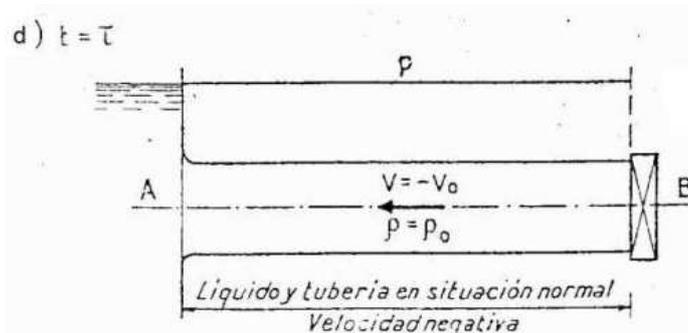
FIGURA N° 8c: GOLPE DE ARIETE FASE 2 c



FUENTE: BECERRIL E., HIDRODINÁMICA, CAPÍTULO XXVI, PAG. 618

Esta segunda fase de descompresión dura, a su vez, un tiempo $\frac{L}{c}$, a cuyo término, es decir, $\frac{2L}{c}$ segundos después del cierre, alcanza la sección de la válvula; todo el volumen contenido en la tubería fluye hacia arriba con la velocidad V_0 , y la sobrepresión es nula en toda la tubería (figura 8 d).

FIGURA N° 8d: GOLPE DE ARIETE FASE 2 d

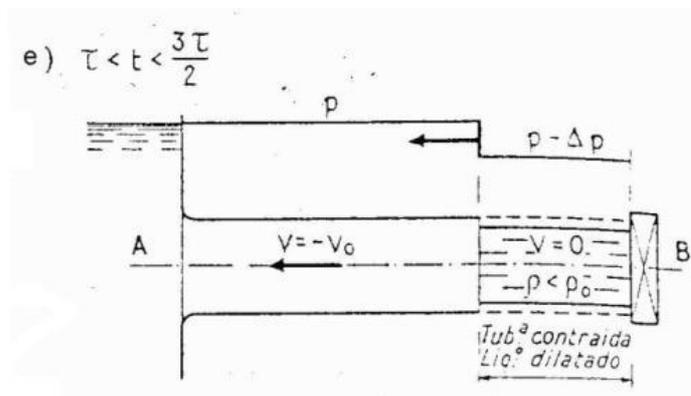


FUENTE: BECERRIL E., HIDRODINÁMICA, CAPÍTULO XXVI, PAG. 618

Ahora bien, este proceso termina contra la válvula, en cuya sección no existe alimentación ni pueden quedar vacíos, por lo que el límite en contacto con él se va a detener, produciéndose, por semejanza con lo que ocurrió en la primera fase, la

propagación de la parada de una en otra sección hacia el origen A (figura 8 e). Se la puede considerar como una fase 3.

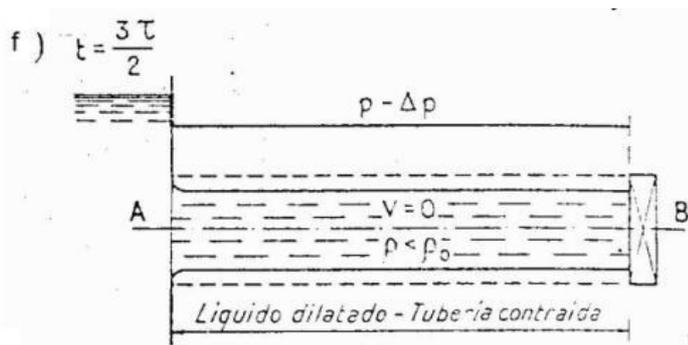
FIGURA Nº 8e: GOLPE DE ARIETE FASE 3 e



FUENTE: BECERRIL E., HIDRODINÁMICA, CAPÍTULO XXVI, PAG. 618

La onda es ahora de depresión, con valor $-\Delta p$, que corresponde al signo de la velocidad anulada: la duración de esta fase es igualmente $\frac{L}{c}$. Al cabo, de un tiempo total $\frac{3L}{c}$, todo el líquido está en reposo y distendido, con presión $p - \Delta p$ (figura 8 f).

FIGURA Nº 8 f: GOLPE DE ARIETE FASE 3 f

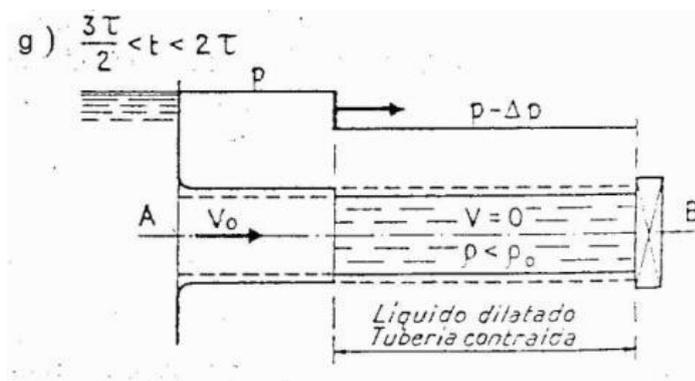


FUENTE: HIDRODINÁMICA-CAPÍTULO XXVI-PAG. 618

En este momento, en A se repiten, en sentido contrario, las condiciones de desequilibrio que se produjeron al final de la primera fase y, por tanto, se inicia la fase cuatro la entrada de líquido con velocidad v_0 , poniéndose en movimiento

sucesivamente, de una en otra sección (figura 8 g), hasta alcanzar, al cabo del tiempo $\frac{4L}{c}$, la sección de la válvula,

FIGURA N° 8g: GOLPE DE ARIETE FASE 4 g

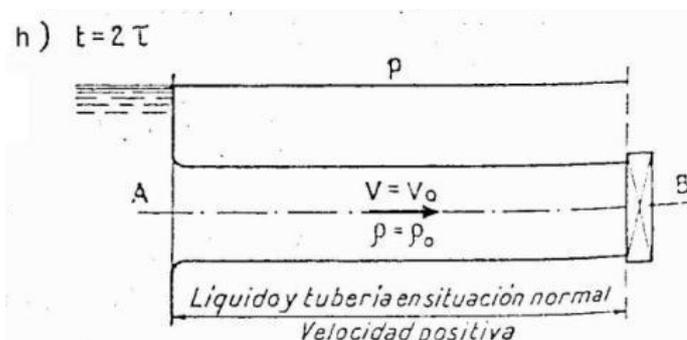


FUENTE: HIDRODINÁMICA-CAPÍTULO XXVI-PAG. 618

lo que restablece por un instante la situación original (figura 8 h), es decir, velocidad V_0 y presión p , a partir de la cual el ciclo se repite indefinidamente a menos del amortiguamiento que producen la fricción y los trabajos no elásticos de deformación. El tiempo que una onda tarda en ir y volver es el semiperiodo

$$^3\tau = \frac{2L}{c}.$$

FIGURA N° 8h: GOLPE DE ARIETE FASE 4 h

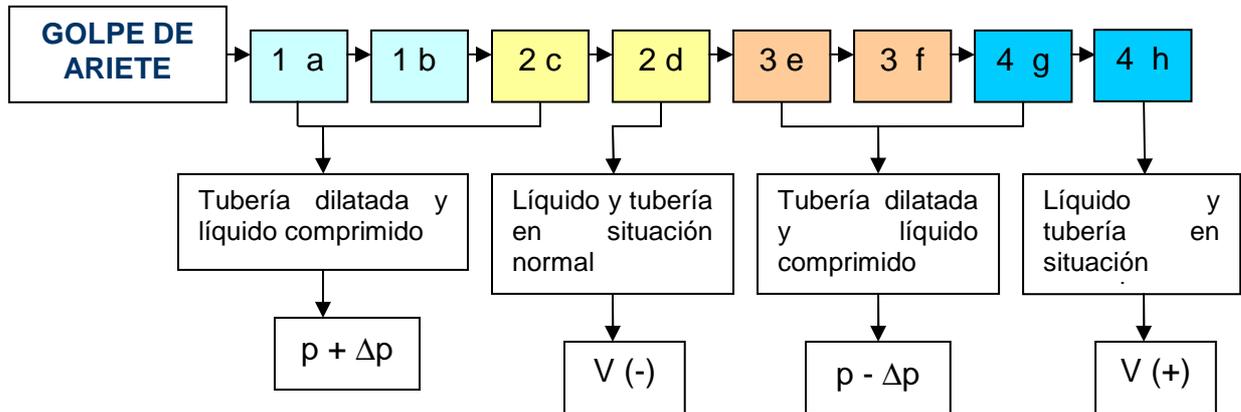


FUENTE: HIDRODINÁMICA-CAPÍTULO 26-PAG. 618

³ BECERRIL E., HIDRODINAMICA, CAPÍTULO XXVI, PAG. 619

En conclusión se puede indicar el proceso del golpe de ariete a través del siguiente flujograma, que es el que ayuda a entender el proceso de mejor manera:

FIGURA Nº 9: RESUMEN DEL PROCESO DE GOLPE DE ARIETE



Cada uno de los colores y número se refieren a las fases del golpe de ariete, por ejemplo el color celeste a la fase uno, y las letras son los nombres que definen cada una de las fases. La fase uno y dos se refieren a los procesos iniciales y las dos siguientes a los procesos inversos.

Así, el fenómeno resulta integrado por la propagación de una onda de presión, que en lo expuesto hemos admitido que sea un cierre instantáneo. El régimen de sobrepresión en la sección inmediata a la válvula y la otra sección de abscisa s son los indicados, pudiendo comprobarse que la intensidad máxima es, en este caso igual para todas las secciones:

$$\Delta p = SP = \rho * c * V_0 \quad (17)$$

En donde:

SP= ΔP = sobre presión (m)

ρ =densidad del fluido ($\text{kg s}^2/\text{m}^4$)

c = celeridad (velocidad de onda (m/s))

V_0 = velocidad del flujo (m/s)

Es importante tomar en cuenta este parámetro o este fenómeno para el diseño de tuberías a presión, porque los daños que se pueden generar cuando ocurren estos fenómenos son muy importantes y considerables en la obra.

El problema del golpe de ariete es uno de los problemas más complejos de la hidráulica, y se resuelve generalmente mediante modelos matemáticos que permiten simular el comportamiento del sistema.

1.2.3.- CELERIDAD DE ONDA

Es la velocidad de la onda de presión en un tubo. Para el cálculo de la celeridad es necesario conocer el tipo de fluido y el material de la tubería.

El cálculo del valor de la celeridad viene dado por:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\rho \left(\frac{1}{E} + \frac{2 * R}{b \varepsilon} \right)}} \quad (18)^4$$

En donde:

E = modulo de elasticidad volumétrica del liquido

b = el espesor del tubo

ε = coeficiente de elasticidad longitudinal

R = radio de la tubería

La velocidad del sonido en un fluido es $c_1 = \frac{1}{\sqrt{\frac{\rho}{E}}}$; tomando en cuenta dicha

velocidad, la fórmula se transforma en:

$$c = \frac{c_1}{\sqrt{1 + \frac{ED}{\varepsilon b}}} \quad (19)^3$$

De forma que la celeridad de onda es siempre menor que la del sonido en el fluido indefinido, por la influencia de la elasticidad del tubo.

Otra forma de expresar la ecuación de la celeridad:

$$c = \sqrt{\frac{\frac{E}{\rho}}{1 + \frac{E * D}{E_p * e}}} \quad (20)^5$$

Donde:

⁴ BECERRIL E., HIDRODINAMICA, CAPÍTULO XXVI. PAG. 623

⁵ GUIA DEL INGENIERO CIVIL, MERRITT F., SECCIÓN 6. PÁGINA 6-40

- E es el módulo elástico del fluido,
- ρ es la densidad del fluido,
- E_p modulo de elasticidad del material del tubo,
- e es el espesor de las paredes de la tubería,
- D es el diámetro de la tubería.

Para el caso particular de tener agua como fluido:

- $\rho = 1000 \text{ kg / m}^3$
- $E = 2.074E + 09N / m^2$

Esta expresión se llega a la fórmula de Allievi:

$$c = \frac{9900}{\sqrt{47.3 + \lambda \frac{D}{e}}} \quad (21)^6$$

Donde se introduce una variable (λ) que depende del material de la tubería, y a modo de referencia se da el valor de $\lambda_{acero} = 0.5$ (valor obtenido de la tabla).

1.2.4.- EFECTOS DE LA VISCOSIDAD DEL AGUA

La viscosidad es la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales. Un fluido que no tiene viscosidad se llama fluido ideal, en realidad todos los fluidos conocidos presentan algo de viscosidad, siendo el modelo de viscosidad nula una aproximación bastante buena para ciertas aplicaciones.

Viscosidad cinemática: Representa la característica propia del líquido desechando las fuerzas que genera su movimiento, obteniéndose a través del cociente entre la viscosidad absoluta y la densidad del fluido que recorre la tubería. Su unidad es el stoke o centistoke (cm^2/s).

⁶ BECERRIL E., HIDRODINÁMICA

Viscosidad Cinemática = Viscosidad Absoluta / Densidad

$$v = \frac{\mu}{\rho} \quad (22)^7$$

Viscosidad absoluta: Representa la viscosidad dinámica del líquido y es medida por el tiempo en que tarda en fluir a través de un tubo capilar a una determinada temperatura. Sus unidades son el poise o centipoise (g /s cm), siendo muy utilizada a fines prácticos.

La viscosidad cinemática depende de la temperatura; como las variaciones de la viscosidad absoluta con la temperatura son mayores que las de la densidad, la viscosidad cinemática decrece con los aumentos de temperatura.

A velocidades bajas, las partículas del fluido siguen las líneas de corriente (flujo laminar), y los resultados experimentales coinciden con las predicciones analíticas. A velocidades más elevadas, surgen fluctuaciones en la velocidad del flujo, o remolinos (flujo turbulento).

La influencia de la viscosidad en la propagación de ondas depende del instante en que se observe porque en el primer momento la onda va a tener la misma dirección de la viscosidad porque están opuestas al movimiento del agua; y de cierta manera la viscosidad ayudara a la onda en su propagación.

1.3.- MODELACIÓN NUMÉRICA DEL FLUJO NO PERMANENTE

Un modelo matemático es la descripción matemática de una situación real. En la elaboración de un modelo se hacen algunos supuestos y se consideran algunas simplificaciones de la realidad.

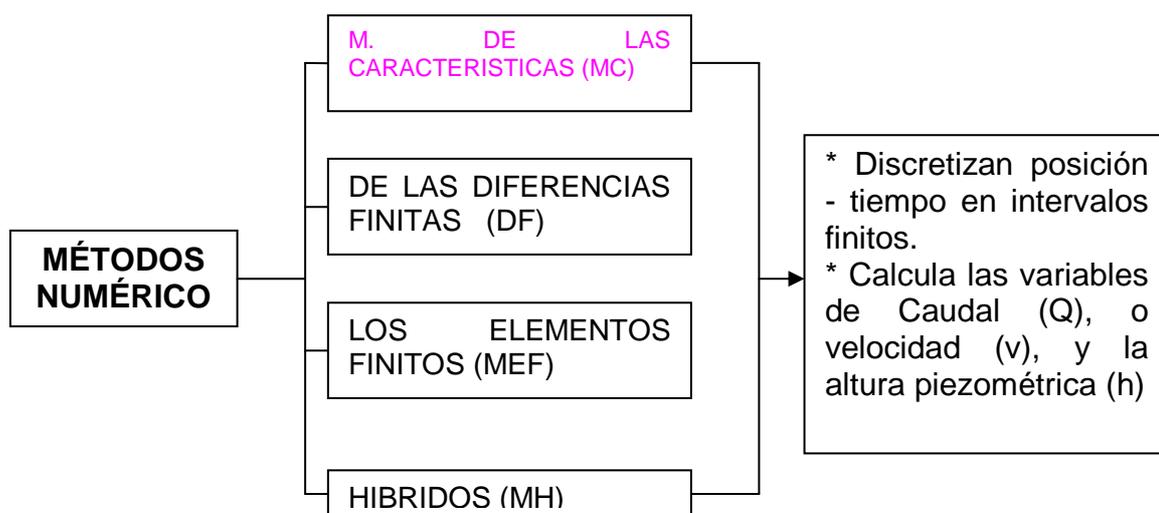
Los modelos del flujo no permanente de simulación analítica se fundamentan en las ecuaciones de los fenómenos del flujo en diferentes situaciones, estos fenómenos son representados por ecuaciones diferenciales.

Para el estudio de las presiones y velocidades de un flujo no permanente en sistema de tuberías a presión, la aproximación que sin duda se ha utilizado más

⁷ GUIA DEL INGENIERO CIVIL, MERRITT F., SECCIÓN 6. PÁGINA 6-6

es la de flujo unidimensional y régimen permanente gradualmente variado, y a veces por falta de información en las condiciones de contorno en régimen no permanente. Las hipótesis fundamentales para este tipo de aproximación son movimiento unidimensional, régimen permanente y otras indicadas en la referencia 1. Las ecuaciones fundamentales son: la conservación de la energía entre dos secciones, y la ecuación de conservación de la cantidad de movimiento para fenómenos locales. Este tipo de modelación también es útil para obtener la condición inicial de un modelo unidimensional no permanente de forma rápida y con gran precisión, sin embargo, son una gran limitación importante a la hora de representar fenómenos reales. Los métodos que se utilizan para el análisis de flujo no permanente son:

CUADRO Nº 2: TIPOS DE MÉTODOS NUMÉRICOS

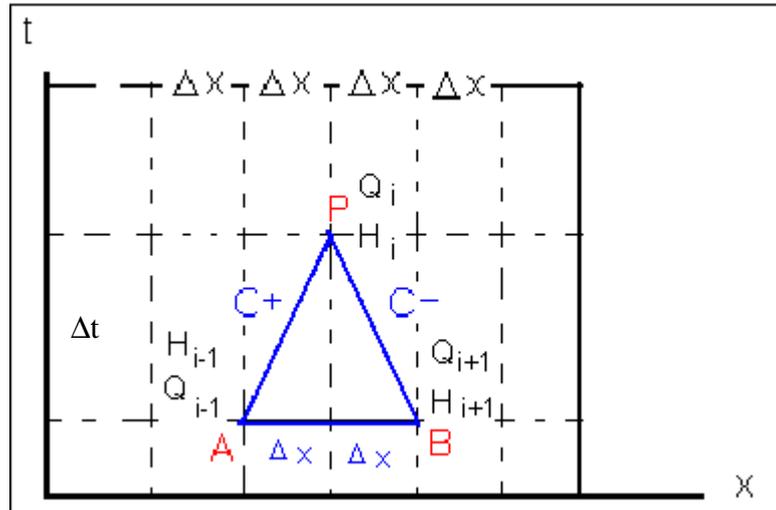


Se va a desarrollar una breve explicación del método más utilizado para el análisis de los transitorios en flujo no permanente:

El **método de las características** aplicado para el caso de flujo no permanente en conductos a presión, las ecuaciones diferenciales para calcular el golpe de ariete resultan de la aplicación de las dos ecuaciones básicas de la mecánica en un segmento corto de flujo: la segunda ley de Newton y la ecuación de continuidad. Las variables dependientes son: La altura de la línea piezométrica, encima de un eje de referencia fijo y, la velocidad media en una sección transversal. Las

variables independientes son: La distancia x a lo largo de la tubería medida desde extremos aguas arriba y el tiempo.

FIGURA N° 10: VISUALIZACIÓN DE LA SOLUCIÓN EN EL PLATO $x - t$



FUENTE: FOLLETO FLUJO INESTACIONARIO-ING. HIDALGO

En la figura N° 10, el punto x representa un punto cualquiera del conjunto de puntos sujetos de análisis y (t) el tiempo en el cual las dos incógnitas (v) y (p) van a ser resueltas. Son conocidas las condiciones en el punto A y B esto es $(V_A - Q_A)$, $(V_B - Q_B)$, $(p_A - H_A)$ y $(p_B - H_B)$ y por consiguiente se pueden establecer sus valores en el punto P.

La C+, representa a las ecuaciones positivas es válida a lo largo de la línea AP y C- son las ecuaciones negativas a lo largo de PB.

La solución mediante el método de las características permite entender de manera más completa y eficiente el comportamiento de las variables de estado: velocidad, altura piezométrica, y existe la posibilidad de variar las condiciones de frontera para diferentes casos como cierres rápidos o lentos que es lo que se necesita para el estudio de este fenómeno.

Por lo común los modelos matemáticos son de índole iterativa, vale decir, se llega a la respuesta final en pasos o iteraciones y cada iteración acerca la solución al nivel óptimo, pero no todos los modelos matemáticos poseen algoritmos de solución que converjan al nivel óptimo.

La modelación numérica es muy utilizada, porque existen situaciones que en la

realidad solo ocurren en situaciones extremas; la modelación se la puede desarrollar manualmente y con ayuda de programas computacionales, para analizar los fenómenos transitorios manualmente se debe de asumir ciertas condiciones de entrada y salida para facilitar el análisis, los modelos deben de ser cortos porque el desarrollo manual de estos ocuparían mucho tiempo y lo que hace es que este análisis deje de ser eficiente. Por eso se recomienda el uso del programa Surge, que en capítulos posteriores se dará una breve explicación acerca del programa.

1.4.- DESCRIPCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE CÁLCULO DE LA SOBREPRESIÓN POR GOLPE DE ARIETE EN TUBERÍAS DE PRESIÓN

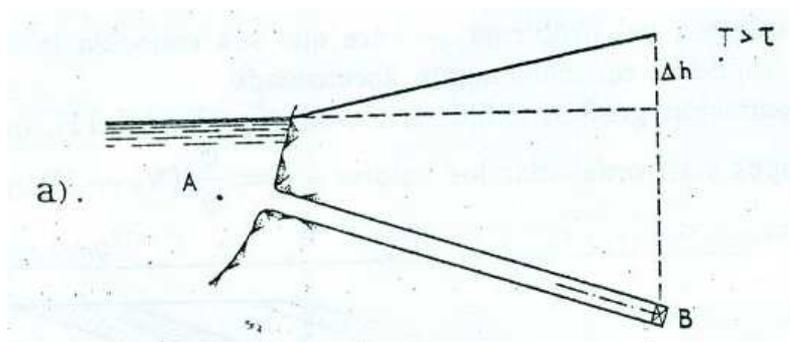
Es importante tomar en cuenta que el golpe de ariete es un fenómeno hidráulico muy complicado de interpretarlo, por eso es bueno recordar que se observe a este fenómeno de una manera muy básica, sin profundizar el tema.

La magnitud del cambio de la presión que ocurre cuando se varía el flujo depende de la velocidad de cambio del flujo y de la longitud de la tubería. Se debe de tomar en cuenta que el valor de sobre presión depende mucho del tiempo en que se cierra la válvula.

Cálculo del valor del a sobrepresión:

Existen muchas formas de calcular y a continuación se mencionara las más comunes:

FIGURA N° 11: SOBREPRESIÓN A LO LARGO DE LA TUBERIA – CIERRE BRUSCO



FUENTE: BECERRIL E., HIDRODINÁMICA-CAPÍTULO XXVI - PAG. 628

Si el cierre o apertura de la válvula es brusco como se puede ver en la figura N° 9, es decir, si el tiempo de cierre es menor que el tiempo que tarda la onda en recorrer la tubería ida y vuelta, la sobrepresión máxima se calcula como:

$$\Delta h_o = \frac{c\Delta V}{g} \quad (23)^8$$

SP= Δh_o = Es el valor de la sobrepresión para un tiempo de cierre menor al de él semiperiodo τ .

c = velocidad de onda

G = gravedad

Como se observa en la figura N° 9, y en la descripción de las fases en la figura N° 8, el máximo valor de la sobre presión ocurre en la primera fase en el instante final de ella, y su valor será:

$$\Delta h = \frac{c}{g}(V_o - V_\tau) \quad (24)^9$$

V_o = velocidad del flujo

V_τ = velocidad del flujo en el final de la primera fase.

Si se admite, en primera aproximación, que la ley de variación de la velocidad sea lineal puede escribirse:

$$\Delta h_{\max} = \frac{c}{g}V_o \frac{\tau}{T} \quad (25)^{10}$$

Siendo T el tiempo de cierre, y $\tau = \frac{2L}{c}$ o bien:

$$\Delta h = \frac{2V_o L}{gT} \quad (26)^{11}$$

Expresión muy usada, llamada formula de Michaud y que, como se ve, es independiente de las características elásticas de la tubería. Esta fórmula resulta de considerable utilidad para dimensionamiento previo.

⁸ GUIA DEL INGENIERO CIVIL, MERRITT F., SECCIÓN 6. PÁGINA 6-41

⁹ BECERRIL E., HIDRODINÁMICA, CAPÍTULO XXVI, PAG. 628

¹⁰ BECERRIL E., HIDRODINÁMICA, CAPÍTULO XXVI, PAG. 628, ECUACIÓN [XIII]

¹¹ BECERRIL E., HIDRODINÁMICA, CAPÍTULO XXVI, PAG. 628, ECUACIÓN [XIII]

1.5.- OBJETIVOS Y RESTRICCIONES DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

1.5.1.- OBJETIVO GENERAL:

El objetivo general del presente trabajo de titulación es el de examinar, presentar los fundamentos y las aplicaciones elementales del flujo no permanente en conductos a presión, de tal modo que pueda ser comprendido en sus bases por el ingeniero civil. Especial énfasis se hace en la evaluación a nivel de prefactibilidad y factibilidad de tuberías a presión en centrales o aprovechamientos hidroeléctricos.

1.5.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- i) Revisar y analizar las variables hidrodinámicas que definen apropiada y adecuadamente la relación funcional para la evaluación de la sobrepresión o sobreelevación de la superficie libre del agua en los tanques de presión o chimeneas de equilibrio de una central hidroeléctrica.
- ii) Estudiar por medio de la simulación numérica el comportamiento del flujo no permanente a lo largo de una tubería de presión para diferentes condiciones de apertura y cierre de la válvula a la entrada de la turbina o de los inyectores de la turbina a reacción.
- iii) Elaborar una guía práctica para la evaluación y para el chequeo del dimensionamiento de tanques de presión o de chimeneas de equilibrio, por medio del programa comercial SURGE.
- iv) Efectuar una práctica estudiantil para la carrera de ingeniería civil, a nivel de pregrado en el tema de flujo no permanente en conductos a presión.

1.5.3.- RESTRICCIONES DEL PROYECTO:

Este proyecto debe de cumplir con el objetivo de analizar el flujo no permanente en conductos a presión par aprovechamientos hidroeléctricos y dar a conocer que es el programa Surge 2008 como funciona, para que se lo utiliza, y los beneficios que traería aprender este software.

Por eso se decidió dar a conocer de una manera básica y rápida que son los transitorios hidráulicos, cuando ocurre, como se calcula la sobre presión. Además se va a dar a conocer el uso del programa SURGE, a través de una práctica con ejemplos sencillos, fáciles de entender y que genere curiosidad entre los estudiantes.

También, se va a añadir una breve descripción de las características necesarias para la modelación de los Aprovechamientos hidroeléctricos en estudio (Aprovechamientos de Dudas, Alazán y San Antonio), de lo que están compuestos y algunas características que son importantes.

Para estos tres aprovechamientos se buscara la información básica y necesario de la topografía, la implantación, perfil, descripción del tanque de carga, descripción de la tubería a presión, información breve del escogimiento de la turbina adecuada, y el informe final del ensayo en el programa Surge de los tres aprovechamientos, la interpretación básica de los resultados a través de tablas, algunas conclusiones y recomendaciones acerca del análisis y del programa.

1.6.- CONCLUSIONES

- Para desarrollar un adecuado análisis del flujo no permanente en tuberías a presión es necesario asumir ciertas hipótesis que facilitan el desarrollo del análisis.
- Para el estudio del fenómeno transitorio (golpe de ariete) es necesario asumir ciertas características en la conducción, por ejemplo los elementos líquido tubería se asume como un sistema elástico. En el cual se toma como elemento compresible el fluido, y la tubería dilatante, para que el

fenómeno que se genera sea progresivo y exista una variación de presión de valor máximo.

- El fenómeno de golpe de ariete debe ser adecuadamente considerado ya que puede generar daños en las estructuras y elementos del sistema (tanque de carga, reservorios, anclajes, tubería, accesorios en general, etc.), que signifiquen costos sociales, económicos y ambientales para el lugar en donde se está dando el beneficio.
- Los parámetros que determinan la selección de una tubería óptima son los económicos y de diseño ya que actúan conjuntamente porque puede ser que se escoja la mejor opción de diseño pero puede ser el material más costoso o que no se encuentre en el mercado.
- La modelación numérica en general ayuda a pasar fenómenos reales a modelos numéricos (utilizar programas), y eso hace que el estudio de los transitorios hidráulicos, sea más fácil y comprensible, ya que en ciertos casos es mas fácil presentar el fenómeno en una modelación que en la realidad.
- Con ayuda de los modelos numéricos se puede simular diferentes alternativas y situaciones, que en la realidad sería imposible que suceda ya que estas obras son muy costosas y de gran tamaño.
- El método de las características es el método de uso común en el análisis del golpe de ariete (análisis de flujo no permanente en conductos a presión), debido a su principal facilidad para la introducir diferentes dispositivos y condiciones de borde (bombas, válvulas, chimeneas de equilibrio, etc.)
- La desventaja de utilizar modelos numéricos es que se puede analizar alguna situación en el sistema, pero no conocer lo que ocurre realmente en ese fenómeno con esas condiciones ya que en ciertos casos no serían reales.
- Se debe de tener una adecuada orientación acerca de la interpretación, nunca un modelo numérico coincide totalmente con el fenómeno real analizado (porque en muchos de los casos es importante y necesario ir asumiendo ciertos valores como constantes).

CAPITULO 2

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MODELO NUMÉRICO SURGE

2.1.- DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL PROGRAMA

2.1.1.- DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROGRAMA

El programa Surge fue desarrollado a base de investigaciones realizadas por Chaudri en el año 1978. Para el análisis de transitorios en sistemas de presión, se ha concebido una manera interactiva en el lenguaje de programación Basic.

Con el pasar de los años este programa se ha ido actualizando y mejorando, la versión que se utilizó para esta modelación pertenece a un paquete computacional PIPE 2008-Surge; el cual ha sido desarrollado por el Dr. Don J. Wood y Dr. Srin Lingireddy.

PIPE 2008 es un programa graficador de gran alcance, para el desarrollo y la simulación de los modelos de sistemas hidráulicos. Con este programa se puede apoyar los cálculos para flujos incompresibles, el flujo compresible, el flujo transitorio de los hidrantes (GoFlow), y los modelos de precipitación excesiva (SWMM), Para todos los usos, hay serie de operaciones necesarias para desarrollar un modelo de sistemas de tuberías, para incorporar datos, y para analizar el modelo de sistema de tuberías.

El sistema a analizarse con el programa Surge 2008 consiste de varios componentes conectados por tramos de tuberías. Las ondas de presión se originan en sitios específicos del sistema donde las características del flujo u otras condiciones, varían con el tiempo. Las partes del sistema transmiten las ondas de presión a la velocidad del sonido y modifican en sus componentes del sistema, incluyendo: Válvulas, orificios y otros elementos que ocasionan pérdidas, bombas, turbinas, reservorios, tanques de carga, juntas de tuberías, chimeneas de

equilibrio, cámara de aire, válvulas disipadoras y válvulas reguladoras de presión, válvulas de vacío y de purga de aire, válvulas check, bypass

La fricción es simulada automáticamente dentro del programa, incluyendo fricción en cada segmento de línea. Esto es un elemento que concentra los efectos de la fricción en el punto medio de la línea, y que altera las ondas de presión transmitidas por ella por medio de un orificio virtual, de manera equivalente a lo que ocurriría a lo largo de la longitud total de la línea. Los valores de entrada para la resistencia de un segmento de línea, se usan para definir las características del orificio de fricción. Las perturbaciones pueden ser generadas por medio de las siguientes circunstancias:

- Cierre o apertura de válvulas (cambio en el área de flujo de la válvula).
- Arranque y parada de bombas (cambio de velocidad de la bomba)
- Cambio en niveles de reservorios
- Cambio en el flujo de entrada y salida.

2.1.2.- PASOS PARA LA EL USO DEL PROGRAMA SURGE.

El PIPE 2008, está compuesto de subprogramas (pipe2000: SURGE, GO FLOW, GAS, STEAM, SWMM); para este caso nos enfocaremos mas en el surge.

Un modelo surge está compuesto por tuberías, sus secciones, uniones (nudos), conexiones, componentes, y el control de ondas en los nudos. Solo dos tuberías conectadas entre sí permite colocar reguladores e instrumentos que controlen las ondas; esto incluye orificios de descarga, tanque de ondas, válvulas de escape, válvulas de expulsión y aireación, válvulas anticipadas de onda.

Para la instalación del programa es necesario seguir las instrucciones que se encuentra en el CD instalador.

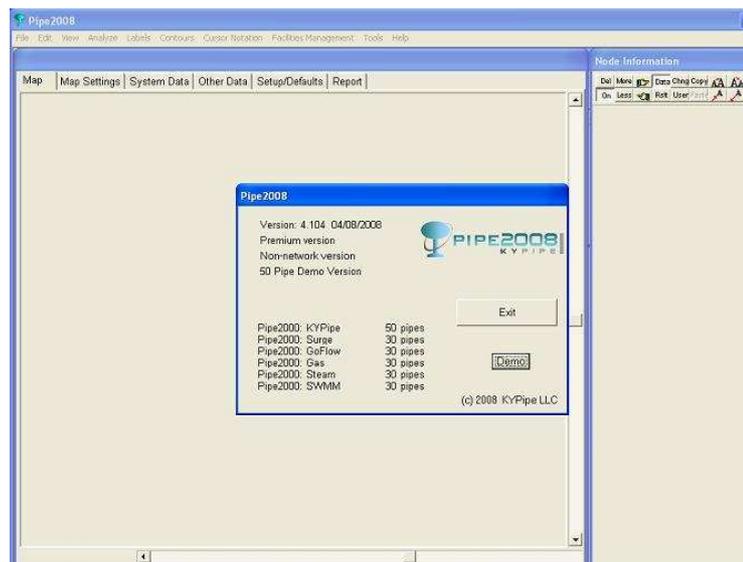
Para la utilización del programa PIPE 2008: SURGE, se recomienda seguir los siguientes pasos:

1.- Si se desea se puede tener la planimetría de la zona donde se va a colocar el sistema de tuberías ejemplo una red de agua potable.

2.- Esta planimetría puede tener algunos formatos se va a utilizar el formato dwg, o en el caso de que el plano sea muy extenso y se lo necesite completo de lo debe de cambiar al formato previamente a dxf.

3.- Inicio→todos los programas→ Pipe2008 , escogiendo la opción Pipe2000: Surge, te da dos opciones utilizar el demo que solo se puede utilizar con un número máximo de 50 tuberías como se ve en la figura N° 1 ; y el programa propiamente dicho que en la versión utilizada se puede ingresar un número no mayor a 250 tuberías.

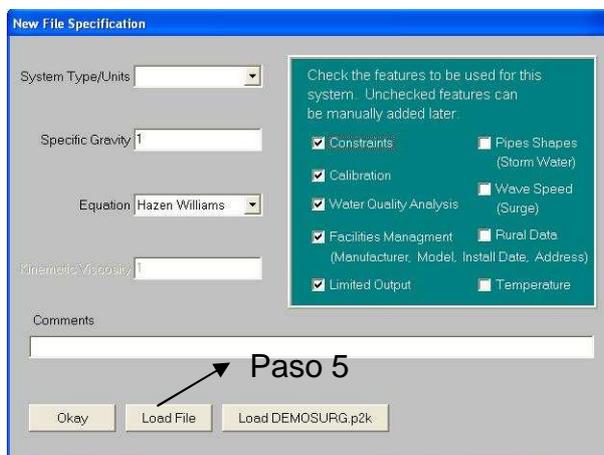
FIGURA N° 1: PANTALLA DE INICIO DEL PROGRAMA SURGE



FUENTE: PROGRAMA SURGE 2008

4.- Al escoger la opción aparecerá un cuadro (Nuevas especificaciones del archivo) en donde se debe de escoger las unidades con las que se va a trabajar como se muestra en la figura N° 2, la ecuación que se va a utilizar para el cálculo de pérdidas por fricción (Hazen William, Darcy Weisbach, Constante resistance) si se desea se puede agregar algún comentario sobre la modelación. Como se muestra en la figura N° 2.

FIGURA N° 2: ESPECIFICACIONES

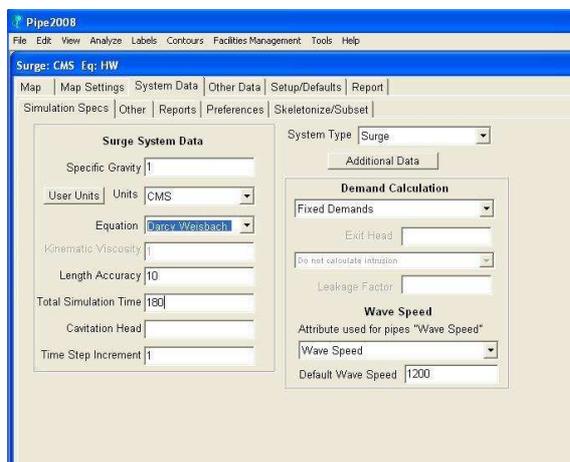


FUENTE: PROGRAMA SURGE 2008

5.- Después de hacer esto se presiona ok si se quiere crear un nuevo archivo, si no se puede presionar load file o buscar el nombre del archivo o en la parte inferior del cuadro se genera un acceso directo como se observa en la figura N° 2, para este caso como es un archivo nuevo se presiona OK.

6.- Aparece un cuadro con los datos del sistema, en el que hay que ingresar los datos del densidad del fluido, las unidades, la ecuación de calcula de las perdidas por fricción, viscosidad cinemática depende de la ecuación escogida, el tiempo de simulación, pasos en cada incremento del tiempo, cálculos de las demanda (Fixed demand), como se encuentra en la figura N° 3, y la velocidad de onda se la puede calcular mediante el menú herramientas.

FIGURA N° 3: DATOS DEL SISTEMA



FUENTE: PROGRAMA SURGE 2008

7.- Para el cálculo de la velocidad de onda (Wave Speed), se debe de ingresar al menú herramientas se escoge la opción Wave Speed y llenar el cuadro con los datos que pide el programa, los datos que pide son el tipo de fluido, el material, el espesor, y el diámetro de la tubería (estos datos son de las condiciones más desfavorables del sistema) como se indica en la figura N° 4, y escoger uno de los casos del tipo de restricción de la conducción:

Caso a: La tubería está restringida en el principio y en el final de la conducción.

Caso b: La tubería está restringida a lo largo de toda la conducción

Caso c: La tubería tiene juntas de expansión en toda la conducción.

Como se puede observar las ventanas están compuestas por unas pestañas y sub pestañas que ayudan a una mejor utilización del programa como se puede observar en la figura N° 3.

FIGURA N° 4: VELOCIDAD DE ONDA EN TUBERÍAS CIRCULARES

The image shows a software dialog box titled "Wave Speed in Circular Pipes". It contains the following fields and values:

- Unit: SI
- Liquid: Water
- Bulk Modulus: 2.19 GN/m²
- Mass Density: 998.00 kg/m³
- Pipe Material: Stainless Steel
- Young's Modulus: 207.50 GN/m²
- Poissons Ratio: 0.28
- Pipe Internal Dia: 1000
- Pipe Wall Thickness: 8
- Pipe Restraint: Pipeline is anchored against longitudinal movement
- Wave Speed: 995.1 m/s and 3264.9 ft/sec

Buttons: Compute, Close

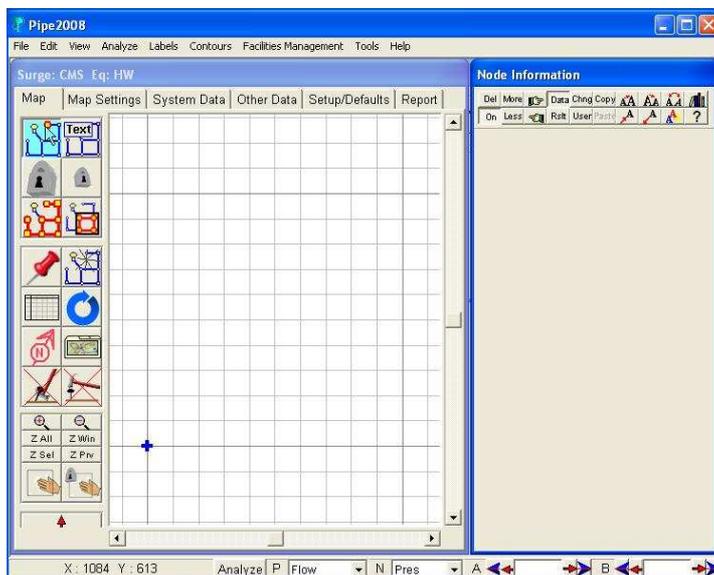
Checkbox: View presence of air V's wave propagation

Copyright 2004 KYPIPE LLC

FUENTE: PROGRAMA SURGE 2008

8.- En este paso se abre la pestaña mapa, e indica las ventanas en donde van ingresar los diferentes elementos, en la pestaña siguiente (características del mapa (map setting)) en este se puede ingresar un grid en donde se indica la escala, variar los colores de los elementos, el tamaño de las letras, ingresar el archivo de la planimetría, e ingresar leyendas, etc.

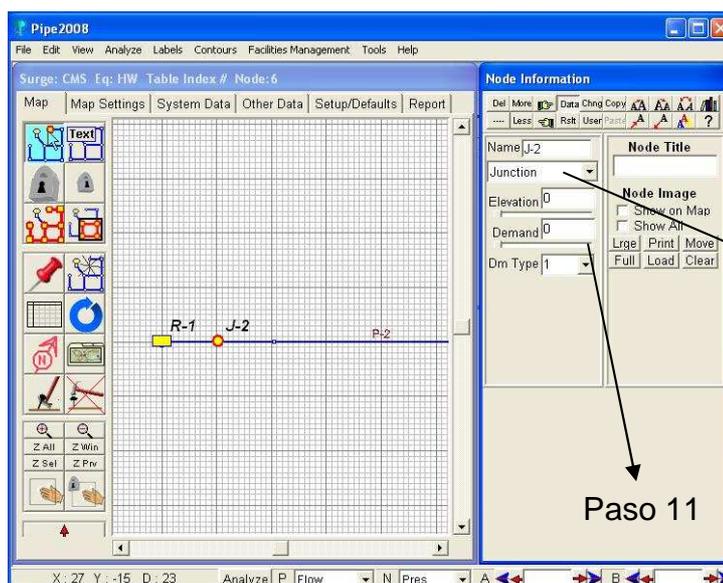
FIGURA Nº 5: MAPA – ESCALA



FUENTE: PROGRAMA SURGE 2008

9.- Con ayuda de la planimetría se puede ir ingresando los diferentes elementos, es importante tener previamente la información de cada uno de los elementos que se va a ir ingresando, para agilizar el trabajo, como se puede ver en la figura Nº 6, se va ingresando los tramos de tuberías.

FIGURA Nº 6: TRAMO DE TUBERÍA Y ELEMENTOS 1

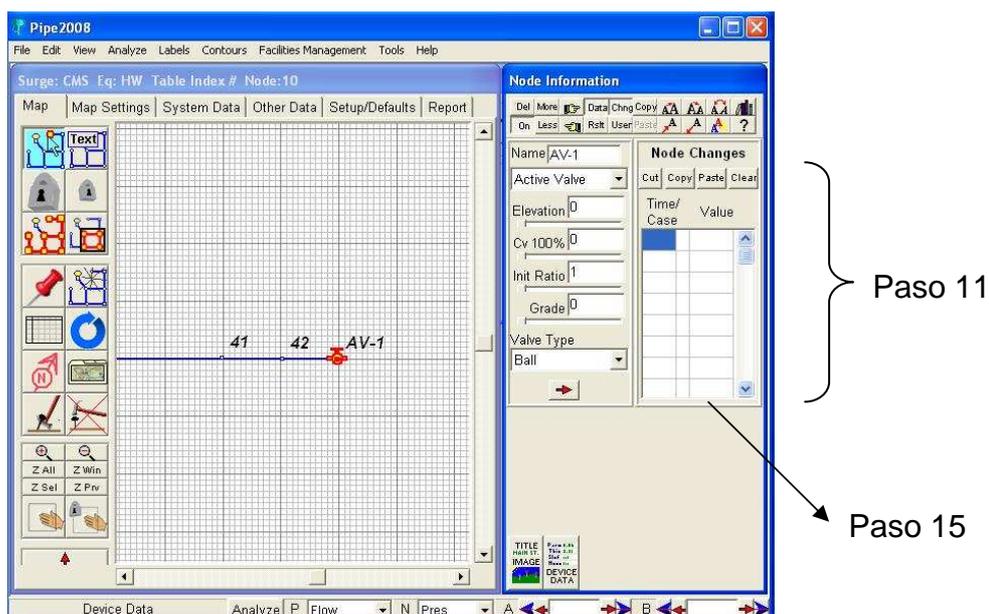


FUENTE: PROGRAMA SURGE 2008

10.- Para ingresar se presiona el botón Insrt, para cambiar cualquiera de los elementos se selecciona el nudo que se desee cambiar, presionar en la tabla derecha el botón que se encuentra ubicado bajo el nombre del nudo se escoge uno de los elementos al que se quiere cambiar, por ejemplo el reservorio, a una válvula, un tanque de carga, el nudo a un reservorio, etc.

11.- Con todo los elementos ya ingresados, hay que cambiar cada uno de los datos, por ejemplo en el reservorio, cambiamos la elevación, y el grade (carga piezométrica), para las tuberías hay que ingresar para cada nudo su elevación y demanda dependiendo del caso, para la tubería se debe de ingresar los diferentes datos, estos datos dependen del tipo de material; por eso se sugiere crear un nuevo material según la necesidad.

FIGURA N° 7: TRAMO DE TUBERÍA Y ELEMENTOS 2

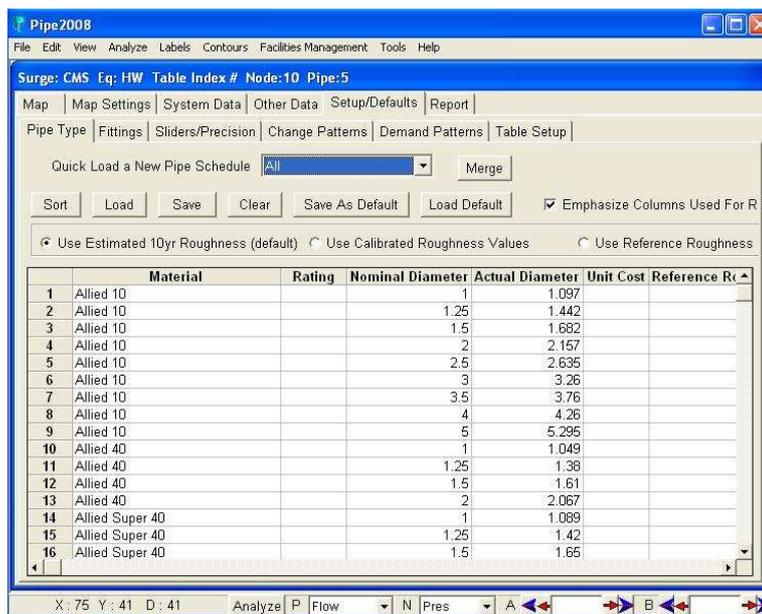


FUENTE: PROGRAMA SURGE 2008

12.- Para ingresar un nuevo materia se debe de presionar la pestaña setup/defaults, en el cual se debe de ingresar los nuevos materiales con sus características, por ejemplo el acero, con un diámetro de 1000 mm, espesor de 8 mm, coeficiente de rugosidad 0.3 mm, etc.).

13.- Teniendo todos los datos ingresados para cada tubería y elemento, se puede chequear los errores, que no existan tuberías paralelas, que se encuentren conectadas entres, estas opciones se encuentra en el menú analizar.

FIGURA N° 8: TIPOS DE TUBERÍAS



	Material	Rating	Nominal Diameter	Actual Diameter	Unit Cost	Reference R
1	Allied 10		1	1.097		
2	Allied 10		1.25	1.442		
3	Allied 10		1.5	1.682		
4	Allied 10		2	2.157		
5	Allied 10		2.5	2.635		
6	Allied 10		3	3.26		
7	Allied 10		3.5	3.76		
8	Allied 10		4	4.26		
9	Allied 10		5	5.295		
10	Allied 40		1	1.049		
11	Allied 40		1.25	1.38		
12	Allied 40		1.5	1.61		
13	Allied 40		2	2.067		
14	Allied Super 40		1	1.089		
15	Allied Super 40		1.25	1.42		
16	Allied Super 40		1.5	1.65		

FUENTE: PROGRAMA SURGE 2008

14.- Se guarda el archivo, se manda a analizar, se puede verificar que todo el sistema este funcionando correctamente. Primero se sugiere analizar como flujo permanente y después como flujo no permanente.

15.- Para el caso de generar un golpe de ariete o sobrepresión se podrá ingresar tiempo en donde la válvula se cierre, este tiempo se ingresa al ubicarse en la válvula, en la tabla que se encuentra en la parte inferior derecha que aparece al presionar el botón cambiar (chng).

Para tener una mejor información acerca del uso del programa se recomienda consultar el manual del usuario.

2.1.3.- METODOLOGÍA DE SOLUCIÓN AL SISTEMA DE ECUACIONES:

Existen métodos gráficos y algebraicos para resolver el cálculo de las sobrepresiones (golpe de ariete), ecuaciones han sido desarrolladas (Wylie y

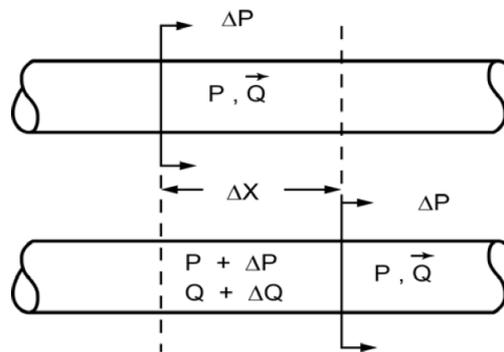
Streeter, 1967). Ese procedimiento está basado en un proceso numérico usando el *método de las características* (MOC). El MOC es conceptualmente algo complejo y requiere numerosos pasos o cálculos para resolver un típico problema de los transitorios en tuberías. La aplicación de este método es compleja se sugiere utilizar los programas computacionales.

Varios programas de computación se han desarrollado basados en el MOC y han sido incluidos procesos para manejar uniones de tuberías, bombas, tanques disipadores de energía.

Se ha ido describiendo un plan alternativo numérico para el análisis de fenómenos transitorios en sistemas de tuberías. Este proceso inicial desarrollado como el "Método de la característica de ondas" (WCM) (Wood et al. 1964), que genera soluciones que son idénticas, a esas obtenidas desde una manera exacta o están basadas en el método de las características. Estas respuestas se aproximan, sin embargo, requieren pocos cálculos y tiene la ventaja adicional de utilizar una conceptualización simple del modelo físico como la base para este desarrollo. Porque de esos resultados, los ingenieros obtendrían un mejor entendimiento de los fenómenos transitorios en tuberías.

EL método WCM está basado en concepto físico exacto, de los resultados de transitorios en tuberías desde la generación y propagación de ondas de presión, que ocurren como resultado de un disturbio en el sistema de tuberías (válvulas de cierre, bombas, etc.). Una onda de presión, representa una variación rápida y asociada con más cambios de caudal, viaja con una alta velocidad (sonido) en el medio líquido - tubería, y la onda es parcialmente transmitida y reflejada en toda la continuidad en el sistema de tuberías (uniones de tubería, bombas, nodos o válvulas abierto o cerrado en el final, tanque de onda, etc.). Una onda de presión también es modificada por la pared de la conducción.

FIGURA N° 9: ONDA DE PRESIÓN EN UNA TUBERÍA



FUENTE: DOCUMENTO chapter 2dload. pdf,

La relación entre los cambios de presión (ΔP) y la variación de caudal (ΔQ), que está asociada con el paso de la onda de presión. Definen la respuesta de los transitorios del sistema de tuberías y forman una base importa para el desarrollo de las expresiones matemáticas, En la figura N° 9 describe las condiciones de caudal y presión en pequeñas variaciones de tiempo Δt , como la magnitud de onda de propagación de presión ΔP a una distancia Δx en una tubería llena.

Durante el pequeño tiempo Δt , la presión en la parte final izquierda de la tubería es $P + \Delta P$, mientras que el final en la parte derecha es P , Este desequilibrio de presión causa la aceleración del fluido. El momento principal que se genera:

$$(P + \Delta P - P) * A_L = \rho \Delta x \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (1)^{12}$$

Donde:

A_L = Área de la sección transversal

ρ = densidad del líquido

Cancelando y reordenando los elementos de la ecuación:

$$\Delta P = \rho \Delta Q \frac{\Delta x}{A_L \Delta t} \quad (2)$$

El término $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ es la velocidad de propagación de la onda de de presión. La velocidad de onda es igual a la ecuación de la velocidad del sonido (c), en el

¹² CHAPTER TWO, THE WAVE CHARACTERISTIC METHOD, PAG. 2-2

sistema la velocidad del líquido en sus peores condiciones es despreciada. La velocidad del líquido es usualmente más pequeña que la velocidad del sonido.

Entonces:

$$\Delta P = \rho c \frac{\Delta Q}{A_L} \quad (3)$$

En términos de presión máxima (pressure head)

$$\Delta H = c \frac{\Delta Q}{g A_L} \quad (4)$$

Esta relación fue presentada por Joukowsky (1904). La velocidad del sonido c para un líquido que fluye dentro de una línea es influenciada por la elasticidad de las paredes de esas líneas. Para un sistema de tuberías con algunas restricciones axiales una buena aproximación para la velocidad de onda de propagación es obtenida usando:

$$c = \sqrt{\frac{E_f}{\rho \left(1 + \frac{K_R E_f D}{E_c t_L} \right)}} \quad (5)^{13}$$

En donde:

E_f = módulo de elasticidad del fluido

E_c = módulo de elasticidad de la tubería

D = diámetro de la tubería

t_l = espesor de la tubería

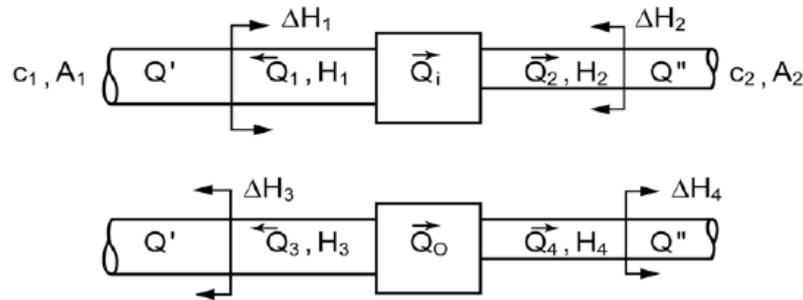
K_R = coeficiente de restricción para el movimiento longitudinal de la tubería (depende de los casos a, b y c mencionado en el desarrollo de los pasos para utilizar el programa).

2.1.4.- ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES DEL MÉTODO DE ONDA CARACTERÍSTICA

El análisis general de la acción de la onda de presión en un componente en un sistema de tuberías, proviene de la relación de una variable de situaciones. La figura N° 2, muestra una situación general en un componente (discontinuidad) donde las ondas de presión ΔH_1 y ΔH_2 son:

¹³ CHAPTER TWO, THE WAVE CHARACTERISTIC METHOD, PAG. 2-2

FIGURA N° 10: CONDICIONES EN UN ELEMENTO ANTES Y DESPUÉS



FUENTE: DOCUMENTO chapter 2dload. pdf,

En el mismo tiempo, las características del componente están cambiando. Esto es asumido por la relación entre los componentes del caudal, Q , y la carga de presión cambian a través de los componentes, ΔH , siempre satisfacen una ecuación característica de segundo orden carga-caudal los componentes son:

$$\Delta H = A(t) + B(t)|Q| + C(t)Q|Q| \quad (6)^{14}$$

Donde ΔH es la diferencia de la carga de presión en (m), entre el lado izquierda y derecha del componente, y Q es el caudal en (m^3/s). Los términos A , B y C representan los coeficientes de la ecuación característica. Los coeficientes dependen del tiempo pero no se determinan todo el tiempo. El valor absoluto de Q son empleados para crear los términos en dirección del caudal. Estas aplicaciones representan a los elementos de resistencia pasiva, como las válvulas, orificios, accesorios y elementos de fricción y elementos activos como la bomba.

En la figura N° 10, los elementos con subíndice 1 y 2 son los valores antes de que se genere la onda de presión; y los que tiene subíndice 3 y 4, después de la onda, Q' y Q'' representan el caudal en la izquierda en la tubería 1 con los efectos de onda de presión ΔH_1 y el caudal en la derecha en la tubería 2 con efectos de onda de presión ΔH_2 respectivamente. Los caudales Q' y Q'' son eliminados durante el desarrollo de las ecuaciones y se obtiene:

$$\Delta H_3 = \Delta H_1 + F_1(Q_3 - Q_1) \quad (7)$$

$$\Delta H_4 = \Delta H_2 + F_2(Q_4 - Q_2) \quad (8)^{15}$$

¹⁴ CHAPTER TWO, THE WAVE CHARACTERISTIC METHOD, PAG. 2-14

Donde:

ΔH_3 = la carga de presión en la parte izquierda de la tubería después de generar el fenómeno transitorio.

ΔH_4 = la carga de presión en la parte derecha de la tubería después de generar el fenómeno transitorio.

Q_1 , Q_2 , Q_3 , y Q_4 = son los valores de caudal antes y después del fenómeno transitorio.

$$H_4 - H_3 = A(t) + B(t)|Q_o| + C(t)Q_o|Q_o| \quad (9)$$

$$F_1 = \frac{c_1}{g * A_1} \quad (10)^{16}$$

F_1 es un factor que surge en el momento de que se genera la onda de presión y una variación de caudal. Este factor existe para los puntos antes y después del componente escogido. Las variables A, B y C varían en función del tiempo, y estas representan el valor en el tiempo de la onda de presión.

Los coeficientes de los componentes de la ecuación característica, son determinados utilizando los datos de operación carga/caudal para los componentes. En algunos componentes como las bombas se utiliza los tres coeficientes para representar la variación de carga/caudal, estos coeficientes están basados en los datos de operación de la bomba por ejemplo, la velocidad de la bomba, condiciones de operación e incluyendo en situaciones de regreso del flujo.

Muchos componentes, como las válvulas, pueden ser modelados utilizando solo el coeficiente C. La relación carga/caudal es una descripción adecuada para un único termino de resistencia. Para esta aplicación, el coeficiente C (t) es definido como un componente de resistencia. Este componente de resistencia es $\frac{\Delta H}{Q_i^2}$.

Donde, ΔH variación de carga (m) y Q el caudal (m^3/s). Este caudal se eleva al cuadrado porque el caudal $Q_3 = Q_1$.

Esta variación de carga proviene de la resta entre la carga estática y la sobre presión que se genera en cierto instante.

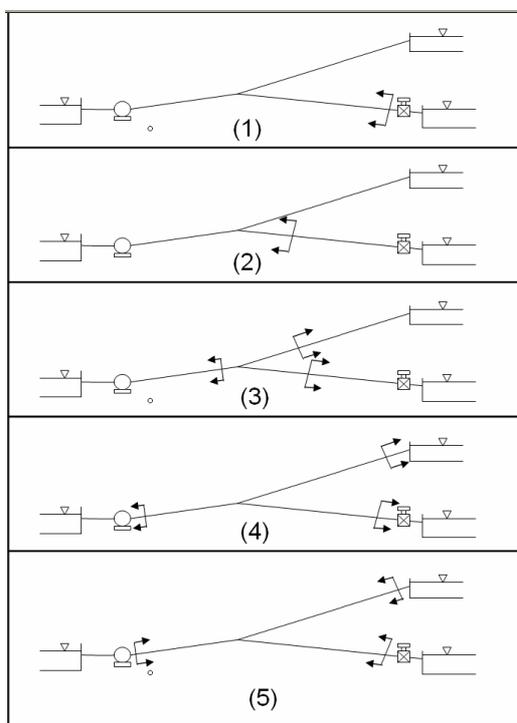
¹⁵ CHAPTER TWO, THE WAVE CHARACTERISTIC METHOD, PAG. 2-14

¹⁶ CHAPTER TWO, THE WAVE CHARACTERISTIC METHOD, PAG. 2-15

Los componentes de resistencia están directamente relacionados con otros parámetros de resistencia como, las pérdidas menores (K_M), las válvulas coeficientes de caudal (C_v) y otros.

2.1.5.- ANÁLISIS DE TRANSITORIOS DE UN SISTEMA DE TUBERÍAS UTILIZANDO EL MÉTODO DE ONDAS

FIGURA Nº 11: GENERACIÓN DE ONDAS DE PRESIÓN CUANDO SE CIERRA UNA VÁLVULA



FUENTE: MANUAL PIPE: SURGE 2008

Las ondas de presión son generadas en algún punto del sistema de tuberías donde hay un disturbio que resulta en un cambio de caudal. Este puede incluir cuando una válvula este abriéndose o cerrándose, una bomba que se está prendiendo o apagando, un cambio en la altura piezométrica del reservorio, o un cambio cuando se adiciona o resta caudal de sistema. Las ondas de presión y las condiciones del caudal afectan también a los elementos porque estos son muy vulnerables. Esta aproximación para el análisis de transitorios se indica a continuación:

1.- Una válvula cerrada está generando una onda de presión.

2.- La onda viaja hacia las tres uniones de tuberías, a muy altas velocidades en la tubería.

3.- La onda es transmitida dentro de las dos conexiones de tuberías y reflejan de regreso dentro de la tubería al lugar original produciendo tres nuevas presiones de onda.

4.- Cada onda de presión viaja a altas velocidades hacia el final de la tubería y choca en los elementos localizados ahí.

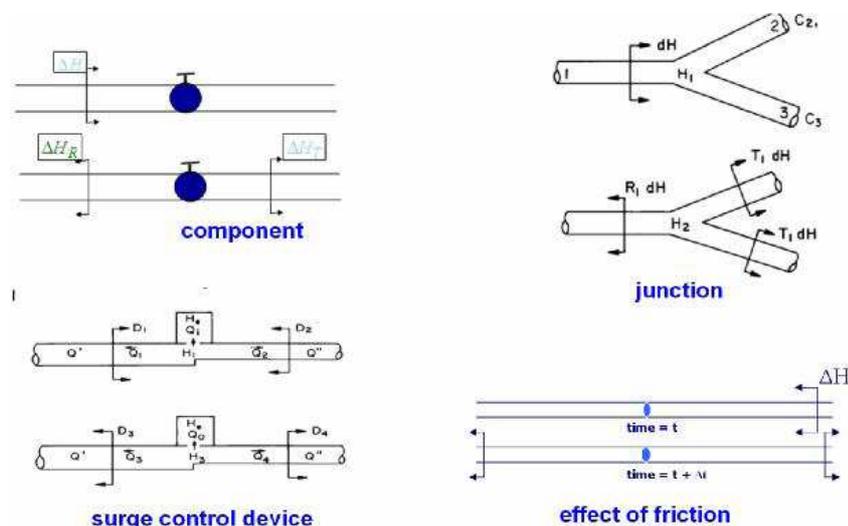
5.- Las ondas de presión modifica las condiciones del reservorio, válvula, y bomba, nuevas ondas de presión son generadas y viajan de regreso por toda la tubería hacia la intersección.

Esta aproximación del análisis de transitorios requiere los cálculos de los efectos de onda de presión son vulnerables en:

- Los componentes (como válvulas y bombas),
- Uniones
- Elementos de control de onda y
- Un cálculo en los efectos de línea de fricción magnitudes de onda de presión.

Estas ondas de presión requieren un cálculo por aplicación general para el sistema de tuberías, como se indica en la figura a continuación:

FIGURA N° 12: ACCIÓN DE LA ONDA DE PRESIÓN EN UNA RED DE TUBERÍAS

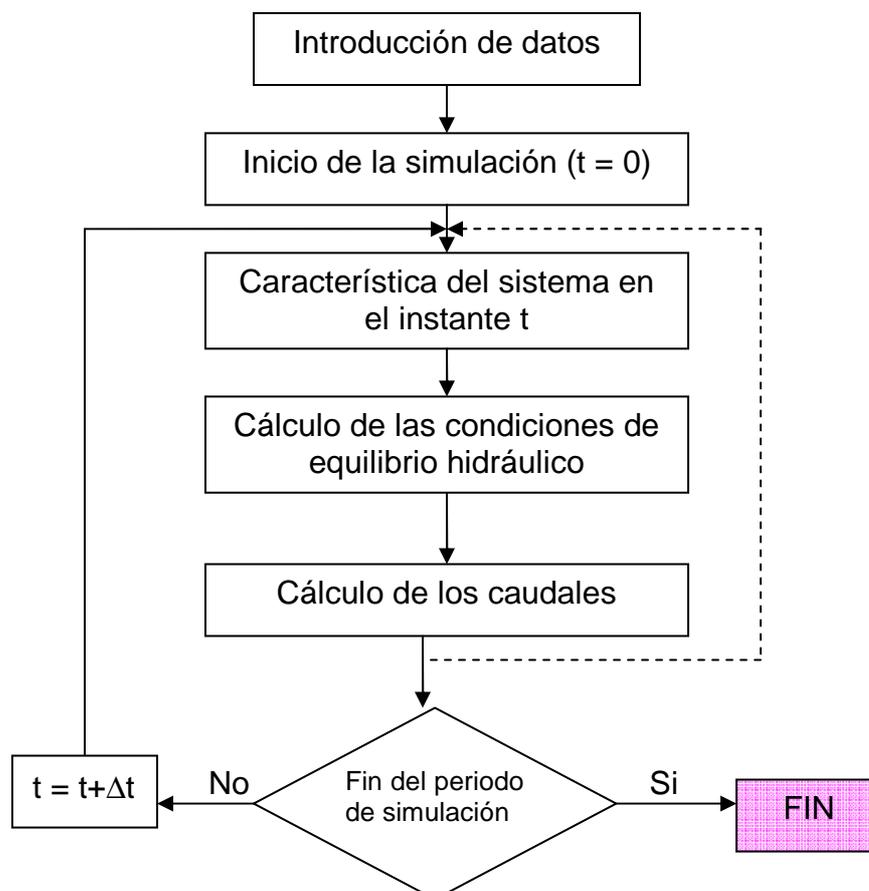


FUENTE: MANUAL PIPE: SURGE 2008

2.2.- DESCRIPCIÓN DEL FLUJOGRAMA DE SOLUCIÓN POR MEDIO DEL MODELO SURGE:

El desarrollo de las rutinas en el computador se las hace dependiendo de la acción de las ondas en (1) componentes, (2) uniones, (3) aparatos de control de ondas (4) los efectos de fricción que han sido utilizados en general para el propósito del modelo computacional para el análisis de transitorios basado en el método de ondas. El programa usa el factor de ondas de presión que son transmitidas entre elementos con velocidad conocida y son modificados por líneas de tubería de fricción para determinar las características de las ondas vulnerables en algún tiempo durante la simulación. Esta técnica tal vez fue aplicada a sistemas complejos de tuberías (Método característico de onda (WCM)) y han sido usadas mucho en software comerciales de fácil obtención.

FIGURA N° 13: FLUJOGRAMA DE SOLUCIÓN DEL MODELO SURGE



FUENTE: MANUAL PIPE: SURGE 2008

2.3.- PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL FLUJO NO PERMANENTE EN CONDUCTOS A PRESIÓN QUE REQUIEREN SER CONSIDERADOS PARA LA SIMULACIÓN NUMÉRICA

Estos parámetros son los que nos ayudan a definir las propiedades del sistema y del tipo de flujo, estas características se las puede dividir en dos en parámetros generales y particulares; los generales son los parámetros que se los debe de tomar en cuenta siempre sin importar el tipo y los datos del sistema. Y los parámetros particulares se los define, de acuerdo con las características del sistema hidráulico que se va a analizar en el programa. Antes de conocer los parámetros es importante definir las unidades que se van a trabajar:

Los parámetros generales que son considerados para la simulación de flujo no permanente en conductos cerrados son:

- El tipo de líquido que se va a usar para el análisis, esta característica se define con el valor del peso específico del fluido.
- La ecuación que se va a utilizar para el cálculo de las pérdidas por fricción del sistema.
- Cálculo de la velocidad de onda que depende del espesor, del material, diámetro de la tubería y de la consideración que se tome de los efectos de los anclajes colocados a lo largo de la tubería.
- El valor del coeficiente de la viscosidad cinemática, es un valor que depende de la temperatura del fluido, es considerado si se utiliza la ecuación de Darcy Weisbach para el cálculo de las pérdidas por fricción.
- El tiempo que es considerado como el de simulación para el modelo.
- El tipo de la demanda que se va a usar en todo el sistema de tuberías.

Los parámetros particulares que son considerados para la simulación de flujo no permanente en conductos cerrados son:

- En la entrada del sistema, que puede ser un reservorio, los datos importantes son la posición, y las variaciones del nivel piezométrico.

- La existencia de una bomba, los datos que se necesitan, la posición, la potencia, la eficiencia, otros parámetros que dependen del tipo de bomba que se utilice y de sus otras características que se indican en los archivos las curvas características.
- Características de la tubería del sistema, la longitud, el diámetro, el espesor, el material, coeficiente de rugosidad. Cada una de estas tuberías tiene nudos, que tiene como dato la posición (la elevación), y la demanda dependiendo el caso que se va a simular.
- La válvula es un accesorio en el que controla la salida o entrada del flujo, los datos que se necesitan son el de la posición, y la variación de la abertura, que puede ser o variar entre 1 y 0, 1 es cuando la válvula está totalmente abierta.
- La turbina, es un elemento generador de energía, los datos requeridos son las revoluciones por minuto, la eficiencia, la posición y al igual que la bomba.
- Los elementos disipadores de energía, son aquellos en los que ayudan a disipar las sobrecarga que se genera en el sistema, ayuda a controlar las ondas de presión; y se los asignan al sistema en las zonas en donde se considere más conveniente, esto se puede ver cuando ya se haya analizado el modelo y si es necesario colocarlo o no. Como elementos se puede mencionar (SDO (orificio de descarga lateral), OST tanque de onda abierto, CST un tanque de onda cerrada, BST tanque de onda cerrado con una vejiga llena de gas, PRV válvula aliviadora de presión, SAV válvula anticipada de onda, válvulas de aire (son válvulas que ayudan a sacar el aire a través de un orificio para reducir el volumen de aire excesivo); para cada uno de los datos se necesita la posición y otros datos específicos para cada uno de los casos. Si se desea saber con más claridad todos los parámetros que se necesiten se sugiere ir al manual de del usuario.

2.4.- SÍNTESIS DE LAS VARIABLES PARA LA ENTRADA Y DE LAS VARIABLES DE SALIDA DEL PROGRAMA SURGE.

2.4.1.- VARIABLES DE ENTRADA

Las variables de entrada forman parte del elemento o los elementos que se colocó al inicio del sistema, para este ejemplo se utilizó las siguientes variables de entrada:

2.4.1.1.- Reservorio

- ✓ Elevación: es la posición de la base del tanque.
- ✓ Grade: Cota piezométrica

2.4.1.2.- Tubería

Tuberías que está compuesto por nudos, y la tubería en las cuales se puede variar el diámetro, el material, coeficiente de rugosidad, (estos datos son asignados en la las características del material)

- ✓ Elevación: es la posición de los nudos.
- ✓ Longitud
- ✓ Demanda: caudal de entrada o salida

2.4.2.- VARIABLES DE SALIDA

Lo que consiste en cambio en las variables de salida, son todos los elementos que se encuentra ubicados al final o en la salida del sistema:

2.4.2.1.- Válvula

Las válvulas que existen diferentes tipos y se las utiliza según la necesidad designada:

- ✓ Elevación: la posición de la válvula
- ✓ Cv 100% : Es el porcentaje de apertura de la válvula

- ✓ Initial radio: Es el radio inicial de la válvula en que va a empezar la modelación. 1 representa que la válvula está totalmente abierta y 0 cerrada.
- En las turbinas que se encuentra en el final de sistema se puede variar su velocidad, etc. Y es necesario previamente desarrollar un análisis del sistema, por ejemplo para este caso de aprovechamientos hidroeléctricos se debe de observar si el flujo sale a chorro libre o la conducción esta unida directamente a la turbina, como se explica en capítulos siguientes.

2.5.- CONCLUSIONES:

- Para poder usar adecuadamente el programa es necesario tener el programa correctamente instalado, y la llave que lo hace funcionar; existe un demo pero este solo es un medio informativo del uso del software ya que no es posible ni analizar ni guardar archivos.
- Las variables de entrada y salida nos ayuda a controlar los datos que se van ingresando en la modelación, de esa manera se puede encontrar cualquier tipo de error con mayor facilidad.
- Es un programa amigable en comparación a sus primeras versiones, fácil de utilizar, y comprender, solo hay que tener un especial cuidado en las unidades en las que se está ingresando los datos.
- Con ayuda de este programa se puede observar como aumentaría la sobre presión, y la posibles soluciones que sería mejor implementar en el sistema, por ejemplo cambiar las dimensiones del tanque de carga, aumentar el diámetro, o introducir algún elemento de disipador de energía.
- El Surge es un programa que ayuda a analizar sistemas de tuberías en donde se puede generar variación de presiones en ciertas situaciones por ejemplo cierres de válvulas, aperturas bruscas, tormentas eléctricas, daño en la turbina, etc.
- Con la ayuda de este programa nos da la posibilidad de conocer esta sobre presión y crear posibles soluciones introduciendo algún elemento al sistema, por ejemplo chimeneas de equilibrio, orificios, entre otros.

- El problema de los fenómenos transitorios es complejo, y desarrollarlo es mucho más, por eso existe profesionales especializados en el tema, gracias a este programa se encontró una manera de comprender el análisis de flujo no permanente en conductos a presión.
- El análisis de los transitorios es esencial para un buen diseño y operación del sistema de tuberías. Existen análisis importantes que pueden ser hechos usando las bases matemáticas del método de las características (MOC) o el método de la onda característica (WCM) basado en la acción de las ondas de presión.
- Si se desea saber más de las características de los componentes se recomienda revisar el manual del Pipe2008: Surge o ingresar a la página web.
- Como todo programa que está ingresando al mercado está sujeto a pruebas en donde se puede encontrar errores al desarrollar la modelación.

CAPÍTULO 3

DESCRIPCIÓN DE LOS TRES APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL SISTEMA MAZAR – DUDAS. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA FÍSICO

3.1.- INTRODUCCIÓN

El objetivo de un aprovechamiento hidroeléctrico es convertir la energía potencial de una masa de agua situada en un punto más alto del aprovechamiento en energía eléctrica, disponible en el punto más bajo, donde está ubicado la casa de maquinas. La potencia eléctrica que se obtiene de un aprovechamiento es proporcional al caudal utilizado y a la altura del salto.

3.1.1.- COMPONENTES PRINCIPALES DE UN APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO

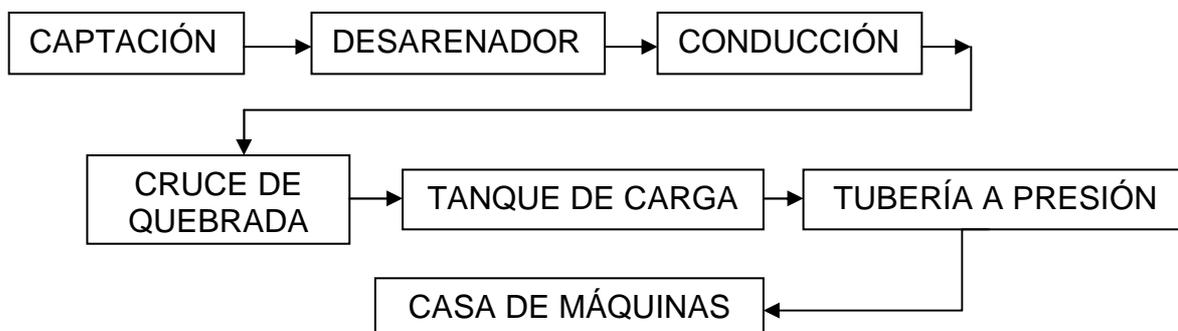
Los Aprovechamientos hidroeléctricos en estudio están compuestos por:

- *Captación.*- Es una estructura en donde se capta el agua para el funcionamiento del aprovechamiento.
- *Desarenador.*- Estructura en donde va reteniendo los sedimentos mientras el agua va transcurriendo, antes de llegar a la conducción. Minimizar el ingreso hacia la toma y conducción del material sólido grueso y material flotante, favoreciendo el tránsito de éstos hacia el tramo de aguas abajo del río.
- *Conducción a flujo libre.*- Tubería en que ayuda a conducir el agua al cruce de presiones.
- *Cruce de quebradas.*- Este tramo está compuesto por un sifón (es la tubería que se coloca cuando existen quebradas con grandes profundidades, la tubería sigue por toda la quebrada para después llegar a la conducción) o acueductos (son puentes de hormigón armado que

conducen el agua sobre la depresión en pequeñas profundidades). El cruce de presiones permite transportar agua en forma de flujo continuo desde la captación, hasta el tanque de carga.

- *Tanque de carga.*- El tanque de presión es una estructura que fundamentalmente permite la transición entre la conducción con superficie libre o a gravedad y la conducción cerrada o tubería de presión.
- *Tubería a presión.*- al conducto forzado que lleva el agua desde el tanque de carga o de presión o desde la chimenea de equilibrio, hasta las turbinas en la casa de máquinas. Estos conductos son normalmente construidos en acero.
- *Casa de máquinas.*- La casa de máquinas está compuesta de de una válvula, la turbina, reguladores y otros elementos. De este punto el elemento más importante que se va a considerar para la modelación es la válvula.

FIGURA N° 1: ESQUEMA GENERAL DE LOS APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS EN ESTUDIO.



3.2.- DESCRIPCIÓN BREVE DE LOS PRINCIPALES FENÓMENO HIDRÁULICOS A LO LARGO DEL SISTEMA CENTRAL HIDROELÉCTRICA

En las obras de toma.- La toma está expuesta a daños por el movimiento de escombros durante crecidas. También hay que considerar la concentración de

sedimentos detrás del vertedero o presa, obstruyendo la bocatoma.

Sedimentos: pequeñas partículas abrasivas pueden causar un rápido desgaste y destrucción de la turbina si no son retenidas por el desarenador antes de que el agua entre por la tubería de presión. También puede causar obstrucción de la toma si el azud y la toma no están correctamente ubicados, causando que el canal se tapone si no se toman las debidas precauciones.

Variación del caudal del río a través del año: para la instalación hidroeléctrica se diseña para un caudal constante. Para este cometido, se debe asegurar (la toma, el azud), controlar y regular (aliviaderos) el flujo correcto para el caudal del canal sin importar si el caudal del río es alto o bajo.

Crecidas: en estas condiciones el azud, la obra de toma y las paredes del río pueden sufrir daños a causa de materiales suspendidos y el acarreo de piedras a lo largo del lecho del río.

Efecto de la turbulencia: en el flujo del agua: este efecto se lo considera en todas las partes de conducción de la misma porque puede crear erosión a las estructuras, inducen pérdidas de energía, y levantan sedimentos.

Caída del canal: el canal no requiere de una caída excesiva para que las pérdidas por fricción no reduzcan la caída innecesariamente, debido a que la potencia se distribuye por la tubería, está fuertemente influenciada por la caída del agua.

Interrupción repentina del flujo de agua por la tubería: por el cierre abrupto de la válvula cercana a la turbina, se producen grandes presiones; y la tubería debe ser capaz de soportarlas. También provocarán movimientos que dañarán la tubería, si ésta no se retiene fuertemente con anclajes y soportes.¹⁷

3.3.- GENERALIDADES SOBRE EL SISTEMA MAZAR – DUDAS PARA LA GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA.

El sistema Mazar – Dudas está compuesto por tres aprovechamientos hidroeléctricos que son:

- Aprovechamiento Hidroeléctrico Dudas
- Aprovechamiento Hidroeléctrico Alazán

¹⁷ CELSO PENCHES, MANUAL DE PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELECTRICAS

- Aprovechamiento Hidroeléctrico San Antonio

Cada uno de estos aprovechamientos está compuesto básicamente por diferentes elementos como se indica en la figura N° 1, cada uno con su respectiva disposición; que depende de la zona geográfica en donde se encuentre ubicada la obra.

3.3.1- BASES PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS QUE INTERVIENEN EN LA MODELACIÓN:

Ya para el análisis en el presente proyecto de titulación se considera los elementos que intervienen en la modelación:

- Un tanque de carga, el agua ingresa a través de una tubería, a flujo parcialmente lleno, el tanque une a la conducción con la tubería a presión
- Tubería a presión que tiene anclajes, codos, apoyos.
- Casa de máquinas que tiene una válvula, una turbina tipo Pelton

Para la formulación del problema numérico es necesario conocer las bases con las que se desarrollo el diseño del tanque de carga, y la tubería.

A continuación se muestra las bases que se utilizo para el diseño del tanque de carga, y la tubería.

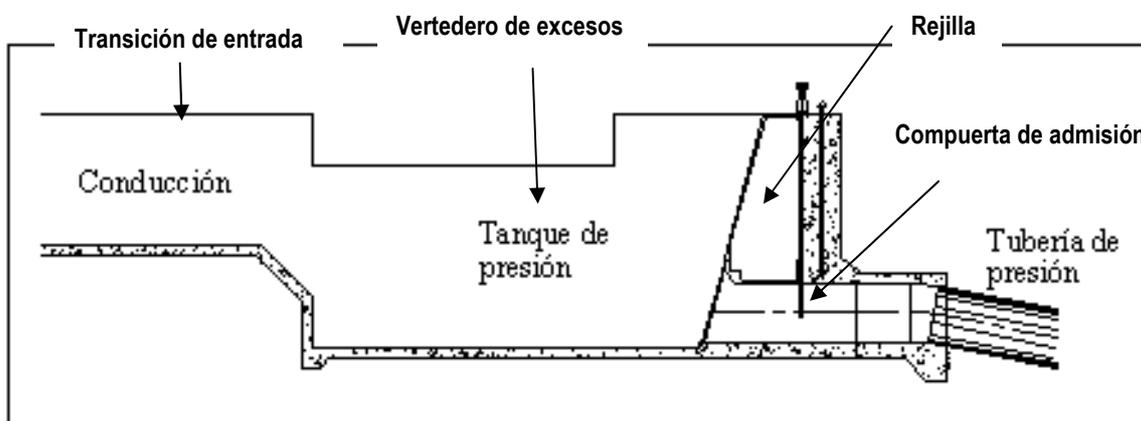
3.3.1.1.- Dimensionamiento hidráulico del tanque de carga

Criterios generales

Esta estructura y sus obras complementarias deben estar ubicadas cerca del desarrollo de la tubería de presión y casa de máquinas con el propósito de reducir la longitud de la tubería de presión y en consecuencia, disminuir las pérdidas de energía y la sobrepresión por el golpe de ariete (fenómenos transitorios).

La estructura principal del denominado tanque de presión tiene los siguientes componentes: transición de entrada, reservorio o tanque, rejillas, compuertas de admisión y de reserva, vertedero de excesos, compuerta de vaciado o de limpieza, rápida o canal para la devolución del caudal vertido hacia un curso natural.

FIGURA Nº 2: ESQUEMA DE LOS COMPONENTES DE UN TANQUE DE PRESIÓN O TANQUE DE CARGA



FUENTE: BASES DE DISEÑO DEL PROYECTO HIDROELECTRICO MAZAR - DUDAS

Transición de entrada

Dado que la conducción desde la bocatoma en el río viene por un canal con flujo a gravedad, cuya sección transversal será siempre menor a la requerida en el tanque de presión, se debe ubicar una transición gradual en régimen subcrítico o lento.

Tanque o reservorio

a) Volumen requerido

En los sistemas de aprovechamiento hidroeléctrico, en los que no existe embalse de regulación, el caudal que llega al tanque a lo largo de la conducción debería ser prácticamente constante e igual al caudal de diseño de las turbinas. Sin embargo, el caudal turbinado efectivamente varía con la carga o demanda. Únicamente en las horas pico, se utiliza todo el caudal que llega al tanque de carga.

Sobre la base de que al iniciarse un vaciado violento del tanque de carga se tiene una velocidad nula (caso límite), en la literatura técnica, se recomienda considerar que el volumen máximo requerido en el tanque es igual a:

$$V_{\text{tanque}} = 0,693 * (A * V_o^2) / (l_e * g). \quad (1)^{18}$$

En la relación funcional anterior:

¹⁸ HIDROAZOGUES S.A., NORMAS BASES Y CRITERIOS DE DISEÑO (FINAL), PAG. 116

A = área transversal del flujo de aproximación

V_o = velocidad de aproximación en la conducción

I_e = pendiente longitudinal de la línea de energía en la conducción

g = aceleración de la gravedad

b) Niveles requeridos para la superficie libre del agua

Como se mencionó anteriormente, el dimensionamiento del tanque de presión debe considerar en síntesis las siguientes condiciones de operación:

- En arranque o partida brusca, se debe garantizar que no entre aire en la tubería de presión,
- En parada brusca, se debe garantizar la estabilidad funcional del tanque de presión y de la conducción inmediatamente hacia aguas arriba de éste.

Para solucionar la primera condición se dispone que: (a) el volumen de agua almacenado V_{tanque} en el tanque sea compatible con la variación del caudal entre cero y su valor máximo y (b) que el nivel mínimo de la superficie libre del agua evite la formación de remolinos o vórtices que favorecen la admisión del aire a la tubería de presión.

3.3.1.2.- Dimensionamiento hidráulico de la tubería de presión

En proyectos de aprovechamiento hidroeléctrico, se conoce como “tubería de presión” al conducto forzado que lleva el agua desde el tanque de carga o de presión o desde la chimenea de equilibrio, hasta las turbinas en la casa de máquinas. Estos conductos son normalmente construidos en acero.

En el dimensionamiento del diámetro de la tubería de presión se consideran los siguientes requerimientos:

- Para el caudal de diseño o caudal máximo turbinable, se debe conducir el agua bajo presión con velocidades inferiores a los 9 m/s,
- Resistir las presiones hidrostáticas e hidrodinámicas interiores que se presentaren, durante la operación con flujo permanente y con flujo no permanente en el sistema,
- Resistir la presión exterior del medio, cuando ocurra un vaciado violento de la tubería, y,
- Optimizar el tamaño del diámetro mediante un análisis económico.

De conformidad con los resultados del análisis técnico comparativo y de la evaluación económica se selecciona tubería de acero comercial para la conducción a presión desde el tanque de carga hasta la casa de máquinas.

Selección del diámetro

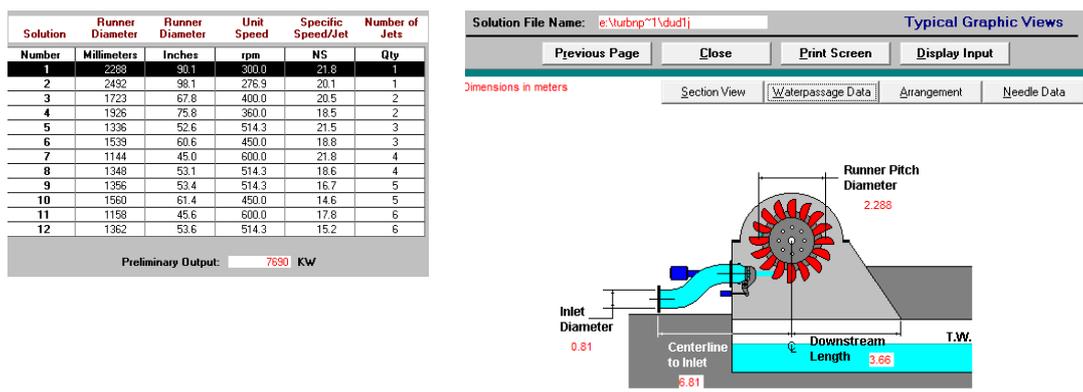
El tamaño del diámetro de la tubería de presión es el resultado de un análisis económico, mediante el cual se determina el diámetro que genera el mínimo de la suma del costo anual de construcción más el costo de las pérdidas de potencia y de energía.

Las pérdidas de energía o de carga que se producen en la tubería (ΔH_f) representan pérdidas de potencia y de energía. Este valor es menor según sea el incremento del diámetro de la tubería, lo que a su vez conduce a un mayor costo de construcción y a un incremento en la potencia de la Central Hidroeléctrica.

Después que el ingeniero mecánico desarrollo algunos ensayos en los programas de diseño de turbinas, como simple información la turbina escogida para cada aprovechamiento:

a) Aprovechamiento Hidroeléctrico Dudas es:

FIGURA N° 3: POSIBILIDADES DE SELECCIÓN Y DISPOSICIÓN DE LA TURBINA PELTON



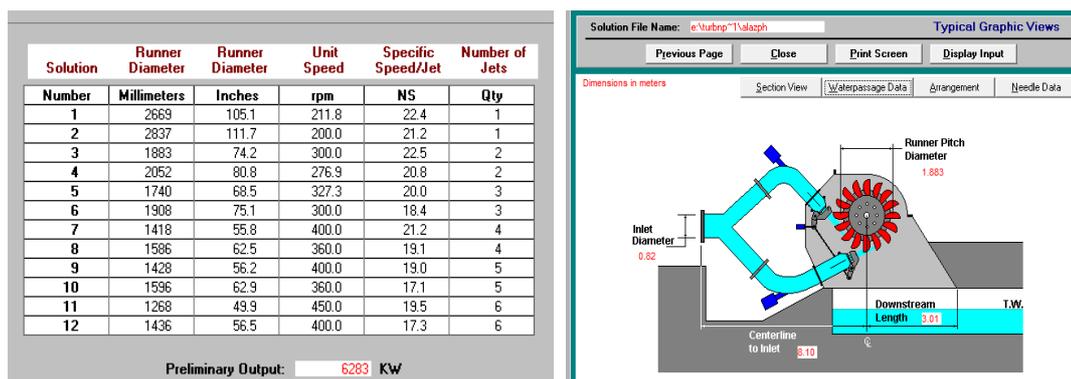
FUENTE: DOCUMENTO SELECCIÓN DEL TIPO DE TURBINAS HIDRÁULICAS, PAG. 26 -27

Para DUDAS es una turbina de eje horizontal de impulso tipo Pelton de dos inyectores de 400 rpm y 7690 kW. La figura N°4 muestra una de las posibilidades

de turbina que tuvo el aprovechamiento Dudas, que después de un análisis se escogió la mencionada anteriormente.

b) Aprovechamiento Hidroeléctrico Alazán:

FIGURA Nº 4: POSIBILIDADES DE SELECCIÓN Y DISPOSICIÓN DE LA TURBINA PELTON

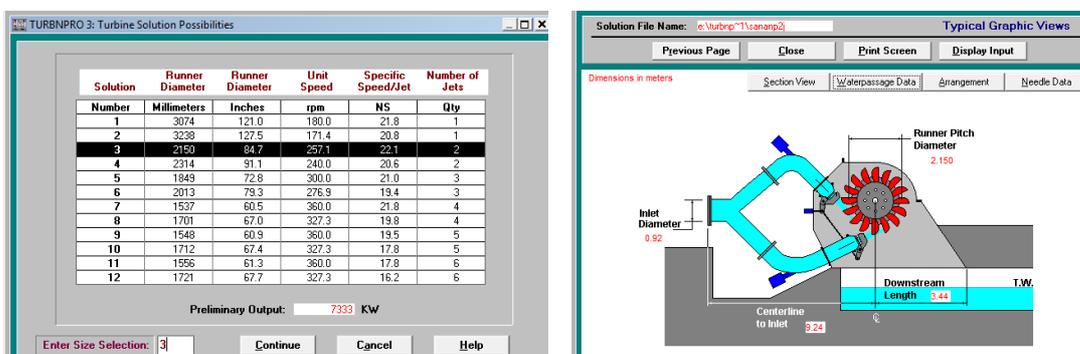


FUENTE: DOCUMENTO SELECCIÓN DEL TIPO DE TURBINAS HIDRÁULICAS, PAG. 39-40

La tendencia de aplicación del tipo de turbina dadas las condiciones de altura, caudales, velocidades específicas y de rotación sincrónicas, en el aprovechamiento ALAZÁN corresponde a una turbina tipo Pelton de 6283 kW, eje horizontal de 300 rpm, dos inyectores.

c) Aprovechamiento Hidroeléctrico San Antonio:

FIGURA Nº 5: POSIBILIDADES DE SELECCIÓN Y DISPOSICIÓN DE LA TURBINA PELTON



FUENTE: DOCUMENTO SELECCIÓN DEL TIPO DE TURBINAS HIDRÁULICAS, PAG. 33-34

La opción principal para el aprovechamiento SAN ANTONIO es una turbina de eje horizontal de impulso tipo Pelton de dos inyectores de 7333 kW, 257.1 rpm.

3.4.- DESCRIPCIÓN DE LAS TRES TUBERÍAS DE PRESIÓN A SER UTILIZADAS EN EL PROYECTO DE TITULACIÓN: CENTRAL DUDAS, CENTRAL ALAZÁN, Y CENTRAL SAN ANTONIO.

El material escogido para el diseño de la conducción para los aprovechamientos hidroeléctricos en este proyecto es acero, con un peso específico 7.85 ton/m^3 , un esfuerzo de 1400 kg/cm^2 , y un costo por tonelada de 3092 dólares (estos valores son obtenidos de la tabla de diseño que se utilizó para este proyecto). Se puede observar con más claridad la disposición de la tubería en los planos que se encuentran ubicados en los anexos.

A continuación se presenta una breve descripción de la tubería, para cada uno de los Aprovechamientos Hidroeléctricos.

3.4.1.- APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO DUDAS

✓ Tubería de presión en la Central Dudas¹⁹

La tubería tiene las siguientes características:

Caudal de diseño (Q) = $3.00 \text{ m}^3/\text{s}$

Caída Bruta (H) = 294.42 m

Longitud de la tubería (L) = 489.46 m

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) = 15

Viscosidad cinemática (μ) = $1.20\text{E}-06 \text{ m}^2/\text{s}$

Peso específico del agua = 1.00 ton/m^3

Material = Acero ASTM512-GRADO70

Tipo de unión = Soldada

¹⁹ ING. DALGO, DISEÑO DE TUBERÍA A PRESIÓN – APROVECHAMIENTO DUDAS – TABLA N°1

Longitud estándar de la tubería = 10.00 m

Valor de la rugosidad (ϵ) = 0.3 mm

TABLA N° 1: DATOS DE LOS TRAMOS DE TUBERÍA EN EL APROVECHAMIENTO DUDAS

Tubería	Longitud (m)	Caída (m)	Diámetro (m)	espesor (mm)
Tramo 1	114.83	59.47	1.00	8.00
Tramo 2	56.94	87.05	1.00	8.00
Tramo 3	244.66	241.74	1.00	13.00
Tramo 4	73.02	294.42	1.00	15.00

FUENTE: PLANOS-PROYECTO HIDROELECTRICO MAZAR DUDAS - DUDAS

Número de anclajes = 6 que indican el inicio y el final de cada tramo, excepto en el tramo tres que tiene tres anclajes, 3,4 y 5.

Apoyos = ubicados cada 10 m

3.4.2.- APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO ALAZÁN

✓ *Tubería de presión en la Central Alazán*²⁰

La tubería tiene las siguientes características:

Caudal de diseño (Q) = 3.60 m³/s

Caída Bruta (H) = 204.96 m

Longitud de la tubería (L) = 393.91 m

Temperatura (°C) = 15

Viscosidad cinemática (μ) = 1.20E-06 m²/s

Peso específico del agua = 1.00 ton/m³

Material = Acero ASTM512-GRADO70

²⁰ ING. DALGO, DISEÑO DE TUBERÍA DE PRESIÓN, APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO ALAZÁN, TABLA N°1

Longitud estándar de la tubería = 10.00 m

Valor de la rugosidad (ϵ) = 0.3 mm

TABLA N° 2: DATOS DE LOS TRAMOS DE TUBERÍA EN EL APROVECHAMIENTO ALAZÁN

Tubería	Longitud (m)	Caída (m)	Diámetro (m)	espesor (mm)
Tramo 1	72.23	25.13	1.20	8.00
Tramo 2	117.9	102.57	1.20	8.00
Tramo 3	101.44	156.81	1.20	13.00
Tramo 4	102.38	204.96	1.20	13.00

FUENTE: PLANOS-PROYECTO HIDROELECTRICO MAZAR DUDAS - ALAZÁN

Número de anclajes = 5, que indican el inicio y el final de cada tramo

Apoyos = ubicados cada 10 m

3.4.3.- APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO SAN ANTONIO

✓ *Tubería de presión en la Central San Antonio*²¹

La tubería tiene las siguientes características:

Caudal de diseño (Q) = 4.40 m³/s

Caída Bruta (H) = 195.48 m

Longitud de la tubería (L) = 369.89 m

Temperatura (°C) = 15

Viscosidad cinemática (μ) = 1.20E-06 m²/s

Peso específico del agua = 1.00 ton/m³

Material = Acero ASTM512-GRADO70

Longitud estándar de la tubería = 10.00 m

Valor de la rugosidad (ϵ) = 0.3 mm

²¹ ING. DALGO, DISEÑO DE TUBERÍA A PRESIÓN – APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO SAN ANTONIO

TABLA N° 3: DATOS DE LA TUBERÍA DE PRESIÓN EN EL APROVECHAMIENTO SAN ANTONIO

Tubería	Longitud (m)	Caída (m)	Diámetro (m)	espesor (mm)
Tramo 1	80.18	42.17	1.20	8.00
Tramo 2	64.01	65.95	1.20	8.00
Tramo 3	205.06	183.37	1.20	13.00
Tramo 4	20.65	195.48	1.20	13.00

FUENTE: PLANOS-PROYECTO HIDROELECTRICO MAZAR DUDAS – SAN ANTONIO

Número de anclajes = 6 que indican el inicio y el final de cada tramo, excepto en el tramo tres tiene 3 anclajes, 3, 4 y 5.

Apoyos = ubicados cada 10 m

3.5.- BASES PARA LA FORMULACIÓN DEL PROBLEMA NUMÉRICO EN CADA UNA DE LOS EJEMPLOS: DUDAS, ALAZÁN Y SAN ANTONIO

Ya conociendo la información básica de las Centrales Hidroeléctricas, que es útil para la formulación del problema.

Los principales datos que se necesita para formular el problema del flujo no permanente en tuberías a presión son:

1. Todos los datos a utilizarse deben de estar con las unidades escogidas, por el usuario, en el programa la unidades se escogen en función del programa que se va a utilizar, para este caso el surge. Se debe de escoger una de estas unidades: pies cúbicos por segundo (CFS), galones por minuto (GPM), millones de galones por día (MGD), litros por segundo (L/S), metros cúbicos por segundo (CMS), libras por segundo (Lb/s), bares por hora (BPH), kilogramos por segundo (kg/s), o también existe la posibilidad que el usuario defina las propias unidades. Para estos ensayos lo más conveniente es utilizar las unidades más conocidas en el medio; en

este caso CMS. Por ejemplo a continuación se mostrara las unidades que se utilizo para el desarrollo del proyecto:

- Cota posición (m)
- Cota piezométrica (m)
- Viscosidad cinemática (m^2/s)
- Diámetro (mm)
- Rugosidad (mm)
- Temperatura ($^{\circ}C$)
- Tiempo de simulación (s)
- Tiempo de cierre o apertura (s)
- Caudal o demanda (m^3/s)
- Velocidad de onda (m/s)

2. Las ecuaciones para el calcula de las pérdidas de carga, mencionadas en el programa son: Hazen Williams, y Darcy Weisbach; para el análisis se debe de escoger la que este más adecuada porque las variables que se utilizan provienen de parámetros conocidos; en este caso se usa la ecuación de Darcy Weisbach.
3. Se recomienda que el tiempo de simulación para el análisis sea mayor de 1 minuto, para observar cómo actúa el flujo normalmente y después de ese tiempo programar el tiempo de apertura o cierre de la válvula.
4. Para las cuadrículas de la escala o comúnmente conocido como el grid, se recomienda utilizar las mismas que están indicadas en los plano topográficos, en la planimetría. O una escala de tal manera que facilite la inserción del todos los elementos.
5. En el programa surge las líneas representan tuberías, y los nodos el tramo inicial o final de esta, cada una de ellas se les asignan nombres, colores que se relacionen con el trabajo que se esté desarrollando o que identifique los puntos o lugares de mayor importancia.
6. Los nodos tiene la facilidad de ser cambiados a elementos que se necesiten en ese análisis por ejemplo el nudo o unión se lo puede cambiar a reservorio, tanque, válvula, bomba, etc.

7. El formato de los reservorios, válvulas, bombas y otros componentes; debe tener un nombre que lo identifique, el tamaño debe ser mayor al de los nodos.
8. La demanda o caudal es asignada en los nudos, es positiva si el caudal está saliendo la demanda es negativa si entra, esto es importante en el caso de que se desee considerar un aumento o disminución de caudal en alguno de los tramos de tubería
9. Es necesario revisar, observar e interpretar los elementos del proyecto, cuales se deben de ingresar en el programa, y como van a ser tomados en cuenta.
10. Se tiene como primer elemento real un tanque de carga pero para la simulación un reservorio, ese cambio fue posible porque el nivel de agua del tanque de carga va permanecer constante al igual que el caudal que ingresa al sistema.
11. Para ingresar los datos del reservorio, conviene asignar el componente después de haber creado toda o parte de la tubería; es necesario conocer su posición (la cota de la base del reservorio), este valor usualmente se lo encuentra en los planos topográficos del sistema, además es muy útil conocer la altura piezométrica ya que en este tipo de análisis se desea observar que sucede cuando el reservorio se encuentra en su nivel máximo y mínimo en el momento del cierre de la válvula. Pero hay que tomar en cuenta que la altura de agua va a permanecer constante y si se desea ver la variación de presión se debe de analizar el nudo que se encuentra a continuación del reservorio.

Los datos que se ingreso para los aprovechamientos son los siguientes:

Cota 1 = Base del reservorio

Cota 2 = Cota piezométrica mínima

Cota 3 = Cota piézométrica máxima

Aprovechamiento Hidroeléctrico Dudas

Tabla No.4: Niveles del reservorio – Aprovechamiento Hidroeléctrico Dudas*

Reservorio	
Cota (1) =	2462.15
Cota (2) =	2465.09
Reservorio	
Cota (1) =	2462.15
Cota (3) =	2468.59

Aprovechamiento Hidroeléctrico Alazán

Tabla No.5: Niveles del reservorio – Aprovechamiento Hidroeléctrico Alazán*

Reservorio	
Cota (1) =	2467.82
Cota (2) =	2472.00
Reservorio	
Cota (1) =	2467.82
Cota (3) =	2475.86

Para el siguiente aprovechamiento se enfoco en desarrollar el ensayo con la cota máxima.

Aprovechamiento Hidroeléctrico San Antonio

Tabla No.6: Niveles del reservorio – Aprovechamiento Hidroeléctrico San Antonio*

Reservorio	
Cota (1) =	2245.85
Cota (3) =	2251.98

12. Las tuberías está representada por dos nudos y una línea; en la que se debe asignar las características de las tuberías, cada uno de los nudos se debe de indicar la posición, y según sea el caso necesario se debe de asignar el caudal.
13. Para las tuberías se debe de asignar uno de los materiales que se encuentren en la lista o según sea el caso se debe de crear un material con las condiciones requeridas.

14. Para las tuberías la longitud que se va a insertar depende de la longitud comercial o se recomienda que sea de esa longitud, para una mejor aproximación del valor de las pérdidas. Para obtener los valores de las elevaciones de cada punto, se desarrollo el siguiente proceso: En el plano del perfil topográfico, se fue colocando en la tubería cada diez metros una señal, desde ese punto se trazo una línea vertical, hasta la división que indica a que elevación se encuentra, y eso ayuda a que el cálculo de la elevación sea más fácil. Los datos de la elevación que se ingresaron para cada una de las tuberías son los siguientes:

*Aprovechamiento hidroeléctrico Dudas (1)**

Tabla No.7: Datos para la modelación 1

Punto	Descripción	Elevación (m)
1	Salida del reservorio	2462,61
2	tubería	2462,61
AC-1	anclaje- codo	2462,61
3	tubería	2457,02
4	tubería	2451,50
5	tubería	2445,99
6	tubería	2440,47
7	tubería	2434,90
8	tubería	2429,44
9	tubería	2423,92
10	tubería	2418,39
11	tubería	2412,89
AC-2	anclaje- codo	2409,29
12	tubería	2404,38
13	tubería	2399,54
14	tubería	2394,70
15	tubería	2389,85
16	tubería	2385,01
AC-3	anclaje- codo	2381,71
17	tubería	2375,20
18	tubería	2368,88
19	tubería	2362,56
20	tubería	2356,23
21	tubería	2349,90
22	tubería	2343,58
23	tubería	2337,26
24	tubería	2330,96

Continuación Tabla N° 7

25	tubería	2324,66
26	tubería	2318,29
27	tubería	2311,97
28	tubería	2305,70
AC-4	anclaje- codo	2304,52
29	tubería	2299,32
30	tubería	2293,00
31	tubería	2286,68
32	tubería	2280,36
33	tubería	2274,03
34	tubería	2267,71
35	tubería	2261,39
36	tubería	2255,06
37	tubería	2248,76
38	tubería	2242,42
39	tubería	2236,09
40	tubería	2229,78
AC-5	anclaje- codo	2227,02
41	tubería	2218,86
42	tubería	2210,49
43	tubería	2202,13
44	tubería	2193,77
45	tubería	2185,42
46	tubería	2177,05
AC-6	anclaje	2174,45
47	tubería	2174,43
48	tubería	2174,43

*Aprovechamiento hidroeléctrico Alazán (2)**

Tabla No.8: Datos para la modelación 2

Punto	Descripción	Elevación (m)
1	Salida del reservorio	2468,42
2	tubería	2468,42
AC-1	anclaje- codo	2467,82
3	tubería	2465,14
4	Tubería	2461,92
5	tubería	2458,69
6	tubería	2455,45
7	tubería	2452,22
AC-2	anclaje- codo	2450,83
8	tubería	2444,08
9	tubería	2437,51
10	tubería	2430,95
11	tubería	2424,38

Continuación Tabla N° 8

12	tubería	2417,81
13	tubería	2411,24
14	tubería	2404,67
15	tubería	2398,11
16	tubería	2392,53
17	tubería	2384,97
18	tubería	2378,40
AC-3	anclaje- codo	2373,39
19	tubería	2367,91
20	tubería	2362,57
21	tubería	2357,22
22	tubería	2351,87
23	tubería	2346,53
24	tubería	2341,18
25	tubería	2335,83
26	tubería	2330,48
27	tubería	2325,14
AC-4	anclaje- codo	2319,15
28	tubería	2313,99
29	tubería	2309,23
30	tubería	2304,46
31	tubería	2299,70
32	tubería	2294,94
33	tubería	2290,18
34	tubería	2285,42
35	tubería	2280,66
36	tubería	2275,90
AC-5	anclaje- codo	2271,00
37	tubería	2271,00

*Aprovechamiento hidroeléctrico San Antonio (3)**

Tabla No.9 Datos para la modelación (3)

Punto	Descripción	Elevación (m)
1	Salida del reservorio	2246,45
AC-1	anclaje- codo 18.87	2246,45
2	tubería	2241,38
3	tubería	2236,30
4	tubería	2231,23
5	tubería	2226,16
6	tubería	2221,08
7	tubería	2216,01

Continuación Tabla N°9

AC-2	anclaje- codo	2209,81
8	tubería	2206,09
9	tubería	2202,38
10	tubería	2198,66
11	tubería	2194,95
12	tubería	2191,23
AC-3	anclaje- codo	2186,01
13	tubería	2179,81
14	tubería	2173,59
15	tubería	2167,34
16	tubería	2161,15
17	tubería	2154,92
18	tubería	2148,70
19	tubería	2142,48
20	tubería	2136,26
AC-4	anclaje- codo	2126,41
21	tubería	2121,11
22	tubería	2115,82
23	tubería	2110,53
24	tubería	2105,24
25	tubería	2110,00
26	tubería	2094,66
27	tubería	2089,36
28	tubería	2084,07
29	tubería	2078,78
30	tubería	2073,49
AC-5	anclaje- codo	2068,60
31	tubería	2061,56
AC-6	anclaje- codo	2056,50
32	tubería	2056,50

*Fuente: ASTEC, Planos, Aprovechamiento Dudas, Alazán y San Antonio

En cada uno de los anclajes se encuentran ubicados codos con ángulos de deflexión vertical, que se encuentran indicados en las tablas 10, 11 y 12. Con más claridad se puede apreciar en los planos 1, 2 y 3 de los anexos; indicando cada uno de los anclajes y giros.

15.A lo largo de la tubería se colocan elementos que generan pérdidas, pueden existir codos por los cambios de dirección, uniones para unir tramos de tubería, depende mucho del tipo de unión o conexión que se utilice; y otros accesorios como codos, tees, yees que generan pérdidas de carga en el sistema, en este proyecto no van a ser utilizadas codos comunes y corrientes cada uno va a tener su propia dirección. Para cada uno de los aprovechamientos hidroeléctricos utilizados como ejemplo se utilizo un diagrama que depende del valor del ángulo de codo, y ayuda al cálculo de los coeficientes de pérdidas.

Coeficientes de los accesorios (codos) de los anclajes (estos valores fueron obtenidos a través de diagramas con diferentes ángulos, para cada uno de los aprovechamientos:

Aprovechamiento Dudas (1)

Tabla No.10: Datos de los codos (1)*

Anclaje	K	Deflexión vertical (α)
AC-1	0,09	33.48°
AC-2	0,01	4.51°
AC-3	0,02	10.25°
AC-4	0,00	0.00°
AC-5	0,03	17.42°
AC-6	0,08	56.63°
Uniones	0,00	-

Aprovechamiento Alazán (2)

Tabla No.11: Datos de los codos (2)*

Anclaje	K	Deflexión vertical (α)
AC-1	0,01	18.87°
AC-2	0,02	22.19°
AC-3	0,00	8.73°
AC-4	0,00	3.79°
AC-5	0,06	28.53°
Uniones	0,00	-

Aprovechamiento San Antonio (3)

Tabla No.12: Datos de los codos (3)*

Anclaje	K	Deflexión vertical (α)
AC-1	0,07	30.50°
AC-2	0,00	8.69°
AC-3	0,01	16.66°
AC-4	0,00	6.52°
AC-5	0,09	12.56°
AC-6	0,07	18.87°
Uniones	0,00	-

*FUENTE: TABLAS Y PLANOS DE DISEÑO DE CADA APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO MAZAR.

16. En el tramo de salida se debe de tomar en cuenta la válvula que se encuentra antes de la turbina en la casa de máquinas, se recomienda colocar la tipo compuerta; para la válvula se necesita conocer la apertura que se le puede dar a la compuerta, y la ubicación.
17. El caudal o demanda se debe de asignar después de la válvula, para observar un completo y adecuado funcionamiento, los ensayos fueron hechos con dos opciones cada una, la primera con el caudal total (Q_T), y la segunda con un caudal medio (Q_M) y esto se debe a que en la turbina tiene dos fuentes en donde salen el cauda como un chorro, y este caudal es la mitad de la demanda total, se desea analizar como funciona el sistema cuando se activan los dos inyectores o solamente uno.

Dudas:

$$Q_T = 3.00 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_M = 1.50 \text{ m}^3/\text{s}$$

Alazán:

$$Q_T = 3.60 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_M = 1.80 \text{ m}^3/\text{s}$$

San Antonio:

$$Q_T = 4.40 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_M = 2.20 \text{ m}^3/\text{s}$$

18. Es conveniente generar el problema de sobrepresión con ayuda de la válvula; de tal manera que después de haber pasado cierto tiempo de que el sistema fluya normalmente, se cierre después de algunos segundos. El tiempo de cierre que se utiliza para comprobar el funcionamiento de la tubería, cuando ocurre el fenómeno del golpe de ariete, por eso se puede escoger tiempos cortos y largos. Estos datos se utilizaron para cada uno de los casos.

VÁLVULA

Datos de la válvula

Tiempo de simulación (s): 180

Tiempo de cierre 1 (s): 1, 2, 3, 4 y 5

Tiempo de cierre 2 (s): 10, 15, 20, 25, y 30

Inicio de cierre (s): 60

El grupo 1 de los tiempos de cierre fueron ensayados con el caudal medio; y el grupo 2 para el caudal total.

19. El análisis principal de los resultados de la modelación son, el caudal, que no existan una sobrepresión con valores negativos, y en especial el lugar en donde las sobrepresiones son máximas.

3.6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Las razones para que exista el interés de desarrollar el problema real en numérico de los fenómenos transitorios es que los tipos de proyectos de gran importancia necesitan de mayor análisis y control para evitar los efectos de sobrepresión en la estructura que pueden dañar el sistema.
- Con la ayuda del programa se puede crear alternativas de modelación en donde se puede simular el efecto de onda en el sistema.
- El material de la tubería a presión más adecuado para los proyectos de aprovechamientos hidroeléctricos es el acero ya que es un material muy resistente, más liviano y tiene mayor flexibilidad.
- En el Ecuador hay que tomar en cuenta que las zonas en donde se desarrolla la conducción de los aprovechamientos hidroeléctricos pueden atravesar depresiones topográficas que requieren elementos de cruce como sifones o acueductos.
- Las obras civiles para proyectos de pequeñas centrales hidroeléctricas tienen varias posibilidades para su diseño, ubicación; y cada aprovechamiento tendrá su propia solución que se ajuste a su característica particular. La aplicación de metodologías para el diseño hidráulico busca una solución económica, a la vez segura, y adaptable de los varios problemas que aparecen al aprovechamiento de caídas hidroeléctricas.
- Para el trazado del sistema hídrico existen varias posibilidades. La mejor alternativa se enfoca en la longitud de la tubería de presión y de la conducción, y cuáles son sus rutas. La construcción de la tubería de presión es considerada la más cara; y por esta razón se trata de que la tubería de presión sea lo más corta posible.
- El problema en el presente en los aprovechamientos hidroeléctricos se genera cuando se cierra la válvula compuerta que controla la salida del flujo, y eso hace que ocurra una sobrepresión que afecte a todo el sistema.
- El coeficiente de pérdida de la unión para todas las tuberías se lo asigno cero porque, se asume que la forma en que van a unir las tuberías en el proyecto, va a ser lo más cuidadosa posible.

- Para tener una adecuada selección de los datos de los aprovechamientos, es importante suponer mentalmente en qué condiciones, tramos o zonas en donde el efecto del golpe de ariete es más considerable ya que de esa manera ayudara a que la interpretación de los resultados sea más fácil, o si alguno de ellos es errado.
- Se tomo el tanque de carga como un reservorio, porque el volumen de agua que ingresa al tanque de carga es el mismo al igual que la cota piezométrica.
- Como se puede ver la turbina tiene dos inyectores, por esta fluye medio caudal para cada uno, por eso fue conveniente ensayar el modelo cuando solo funcione una y cuando funcionen las dos.
- Con este modelo numérico se pretende mostrar el comportamiento del flujo no permanente en conductos a presión a través del fenómeno de golpe de ariete.

CAPÍTULO 4

SÍNTESIS DEL MANUAL BÁSICO DEL USUARIO PARA EL MODELO SURGE

4.1.- PRESENTACIÓN DEL MODELO SURGE

En el análisis (de flujo no permanente) de transitorios hidráulicos generados por el cierre de una válvula ubicada al final de la conducción en el aprovechamiento hidroeléctrico, se ha utilizado el programa PIPE 2008-Surge; el cual ha sido desarrollado por el Dr. Don Wood quien es profesor emeritus en el Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Kentucky en Lexington.

PIPE 2008 es un programa graficador de gran alcance, para el desarrollo y la simulación de los modelos de sistemas hidráulicos. Con este programa se puede apoyar los cálculos para flujos incompresibles, el flujo compresible, el flujo transitorio, de los hidrantes (GoFlow), y los modelos de precipitación excesiva (SWMM), Para todos los usos, hay serie de operaciones necesarias para desarrollar un modelo de sistemas de tuberías, para incorporar datos, y para analizar el modelo de sistema de tuberías.

Para el análisis, el programa PIPE 2008_Surge requiere que el sistema a analizarse este integrado de varios componentes conectados por tramos de tubería. Las ondas de presión se generan en sitios específicos del sistema donde las características de flujo u otras condiciones, varían en el tiempo.

El sistema a analizarse consiste de varios componentes conectados por tramos de tuberías. Las ondas de presión se originan en sitios específicos del sistema donde las características del flujo u otras condiciones, varían con el tiempo.

El análisis del golpe de ariete tradicionalmente no ha recibido la atención que debería de parte de los estudiantes e ingenieros civiles, y las consideraciones requeridas para cuidar, diseñar y operar efectivamente el sistema de tuberías. La principal razón para estas situaciones es que el análisis ha sido presentado a los ingenieros de una manera muy compleja y difícil de aplicar en el diseño hidráulico de un sistema de tuberías, en efecto este punto puede ser presentado de una

manera fácil, intuitiva y manejable. Este programa presenta una forma práctica y comprensible de entender el fenómeno, y adicionalmente provee al ingeniero una forma de entender el fenómeno hidráulico de los transitorios que dará como resultado un correcto diseño y operación del sistema.

El programa surge es un programa que nos ayuda a el análisis de flujo no permanente en tuberías a presión, a través del estudio de los fenómenos transitorios.

4.2.- ANÁLISIS DE LOS DATOS DE ENTRADA REQUERIDOS

Previamente es necesario tener con claridad las unidades con las que se va a utilizar para la modelación, el análisis de cada uno de los datos se lo desarrolla a continuación:

TABLA N° 1: CUADRO DE UNIDADES

Caudal	Longitud	diámetro	rugosidad (Darcy Weisbach)	viscosidad (Darcy Weisbach)	Cota posición, piezométrica,	presión	velocidad	Perdida de carga
cms	m	mm	mm	m*m/s	m	kpa (gage)	m/s	m
l/s	m	mm	mm	m*m/s	m	kpa (gage)	m/s	m
cfs	ft	in	mft	ft*ft/s	ft	psi (gage)	ft/s	ft
mgd	ft	in	mft	ft*ft/s	ft	psi (gage)	ft/s	ft
gpm	ft	in	mft	ft*ft/s	ft	psi (gage)	ft/s	ft

FUENTE: PROGRAMA SURGE- MENÚ HERRAMIENTAS

- **Tipo de sistema:** Surge (se indica este porque el surge es un subprograma que pertenece al paquete Kypipe)
- **Las unidades para este caso son:** SI – CMS
Se escoge las unidades que más se utilizan en nuestro medio, y de esa manera los resultados se podrá tener una apreciación más clara.
- **Densidad específica del fluido:** 1.00 ton/m³
Se escoge este valor porque en los desarrollo de ejercicios es el que más se utiliza, y si desarrollara un análisis los valores de densidad serian muy cercanas a uno.
- **Ecuación:** Darcy Weisbach

Es una ecuación ampliamente usada en la hidráulica, que gracias a los avances tecnológicos se la puede utilizar en la actualidad con mayor frecuencia. Se la utiliza porque es una ecuación semi empírica y los datos que necesita se los puede encontrar con ayuda de otras ecuaciones.

- **Viscosidad cinemática:** $1.20E-06 \text{ m}^2/\text{s}$
Esta característica fue obtenida de los datos de diseño, o sea que es la que se utilizo para el dimensionamiento de la tubería.
- **Tiempo de simulación:** 180 s
Este tiempo puede variar según como se quiera analizar el fenómeno transitorio.
- **Tiempo en cada incremento:** 0.1s
Este tiempo es el que indica a cada que intervalo va a ser analizado o cálculo el programa de la simulación.
- **Velocidad de onda:** 995.1 m/s,
Este valor se cálculo en el programa, los parámetros que se necesitaron para el cálculo se obtuvo tomando en cuenta, el diámetro, el menor espesor, y escogiendo una de las tres restricciones de movimiento mencionadas en capítulos anteriores. Este parámetro es diferente en cada uno de los aprovechamientos.

Los demás parámetros requeridos en el datos del sistema de datos se los considero los mismos que el programa se impone.

Los datos para ingresar en el gráfico son:

Al inicio de la conducción se coloco un reservorio que está considerado como elemento de flujo permanente, porque se diseño de tal manera que el tanque siempre tenga ese nivel y sus datos son:

Reservorio:

Elevación: 2462.15 msnm

Grado 1 (elevación + altura de agua) = 2468.76 msnm (elevación máxima)

Grado 2 (elevación + altura de agua) = 2465.09 msnm (elevación mínima)

Después de un cauteloso análisis económico y de diseño se debe de escoger el material, diámetro y espesor más adecuado para el aprovechamiento.

El material: Acero

Diámetro: 1000 mm

Espesores: 8, 10, 13,15 mm

Valor de la rugosidad (ϵ) = 0.3 mm

Valor tomado de los datos de diseño, que depende del material, para ingresar los datos fue necesario crear un material que tenga las características necesarias ya mencionadas.

Longitud: 10 m (longitud asumida como valor comercial de la tubería que se va a utilizar)

Los anclajes se les indica con el nombre (A-N), en donde A de anclaje y N el número de anclaje que corresponde, porque en estos anclajes se encuentran ubicados diferentes codos que van cambiando de dirección a la tubería.

Cada uno de los puntos de intersección, se los considera como uniones.

Las uniones y los codos (tiene su respectiva elevación y demanda) que varia la dirección son considerados como generadores de pérdidas (los coeficientes pueden ser asignados o tomados los que automáticamente genera el programa).

Coefficiente uniones: 0.00

Anclaje 1: 0.09

Anclaje 2: 0.01

Anclaje 3: 0.02

Anclaje 4:0.00

Anclaje 5:0.03

Anclaje 6:0.08

Al final de la conducción se coloco una válvula y después un nudo:

Válvula activa

Tipo de válvula: compuerta (que es el principal elemento que nos ayuda a observa con más claridad el fenómeno de golpe de ariete).

Elevación: m

Radio inicial: calor en números decimales (0 si está cerrada y 1 si está totalmente abierta).

Tiempo de cierre: 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 25, 30 s

Estos tiempos son asignados uno por uno en la tabla de programación de la válvula, es el tiempo en que se desea que la válvula este cerrada.

En esta tabla debe de indicarse el momento en que se debe cerrar la válvula, se escogió 60 s, para observar como funciona el flujo si la válvula está totalmente abierta.

Nudo final: es el que nos indica la demanda necesaria para que el sistema funcione:

Demanda: 3.00 m³/s

Pero los datos generales de cada aprovechamiento hidroeléctrico se los puede encontrar en los cuadros siguientes, que están divididos, en los datos del reservorio, de la tubería y de la velocidad de onda (este elemento es una de las aplicaciones del programa).

**TABLA Nº 2: DATOS GENERALES: APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO
DUDAS**

DATOS:

Reservorio

Cota (1) = 2462,15 msnm

Cota (2) = 2465,09 msnm

Cota (3) = 2468,09 msnm

Tubería

Se utilizo la ecuación de = Darcy Weisbach

Temperatura = 15°C

Viscosidad cinemática = 1,20E-06 m²/s

***n* =** 3,00E-01 mm

Material = Acero

	Longitud (m)	D interno (mm)	espesor (mm)
TRAMO 1	80,60	1000	8,00
TRAMO 2	49,82	1000	8,00
TRAMO 3	189,54	1000	13.00
TRAMO 4	34,75	1000	15,00

Perdidas:

Cada uno de los tramos está delimitado o compuesto por anclajes en cada uno de ellos tienen codos que generan perdidas, los factores utilizados para cada uno

son:

Coeficientes de perdida	
Anclaje	K
1	0,09
2	0,01
3	0,02
4	0,00
5	0,03
6	0,08
	K
Uniones	0

Velocidad de onda : Se puede utilizar una aplicación del software, asignando ciertas características:

Material: Acero Inoxidable

Diámetro: 1000 mm

espesor: 8 mm

La velocidad de onda es: 995,1 m/s

La velocidad se calcula como se muestra en la figura N° 1, se debe de ingresar los datos en el cual se muestra la situación más desfavorable del sistema.

FIGURA N° 1: CUADRO DE CÁLCULO DE VELOCIDAD DE ONDA

Wave Speed in Circular Pipes

Unit: SI

Liquid: Water Bulk Modulus: 2.19 GN/m²
Mass Density: 998.00 kg/m³

Pipe Material: Stainless Steel Young's Modulus: 207.50 GN/m²
Poissons Ratio: 0.28

Pipe Internal Dia: 1000
Pipe Wall Thickness: 8 Thin Wall

Pipe Restraint: Pipeline is anchored against longitudinal movement

Wave Speed: 995.1 m/s
3264.9 ft/sec

Compute Close

View presence of air Vs wave propagation

Copyright 2004 KYPIPE LLC.

FUENTE: PROGRAMA SURGE 2008

**TABLA N°3: DATOS GENERALES: APROVECHAMIENTO HIDROÉLECTRICO
ALAZÁN**

DATOS:**Reservorio:**

Cota (1) = 2467,82 msnm
 Cota (2) = 2472 msnm
 Cota (3) = 2475,96 msnm

Tubería: Son los mismos datos de la tubería de Dudas

Caudal : 3.6 m³/s

	PUNTO	Longitud (m)	D interno (mm)	espesor (mm)
	TRAMO 1	72,21	1200	8,00
	TRAMO 2	117,89	1200	8,00
	TRAMO 3	101,44	1200	10,00
	TRAMO 4	102,38	1200	13,00

Perdidas:

Cada uno de los tramos está delimitado o compuesto por anclajes en el cual se forman codos y se generan perdidas por cambios de dirección, los factores utilizados para cada uno son:

Anclaje	K
AC-1	0,01
AC-2	0,02
AC-3	0,00
AC-4	0,00
AC-5	0,06
Uniones	0.00

Velocidad de onda

Para el cálculo de la velocidad de onda se tomo en cuenta el material de la tubería, el diámetro, el espesor en el caso más desfavorable, y la influencia de los anclajes.

Material: Acero Inoxidable
Diámetro: 1200 mm
espesor: 8 mm
Restricción de la tubería: La tubería es anclada contra el movimiento longitudinal

FIGURA Nº 2: CUADRO DE CÁLCULO DE VELOCIDAD DE ONDA

FUENTE: PROGRAMA SURGE 2008

TABLA Nº 4: DATOS GENERALES: APROVECHAMIENTO HIDROÉLECTRICO SAN ANTONIO

DATOS:

Reservorio:

Cota (1) = 2245,85 msnm

Cota (3) = 2251,98 msnm

Tubería

Las mismas características de la tubería de Dudas

Caudal = 4.40 m³/s

	Longitud (m)	D interno (mm)	espesor (mm)
TRAMO 1	80.18	1200.00	8.00
TRAMO 2	64.01	1200.00	8.00
TRAMO 3	205.06	1200.00	13.00
TRAMO 4	20.65	1200.00	13.00

Perdidas:

Anclaje	K
AC-1	0,07
AC-2	0,00
AC-3	0,01
AC-4	0,00
AC-5	0,09
AC-5	0,07
Uniones	0,00

Velocidad de onda

Para el cálculo de la velocidad de onda se tomo en cuenta el material de la tubería, el diámetro, el espesor en el caso más desfavorable, y la influencia de los anclajes.

Los datos para el cálculo son las mismas que se utilizan en Alazán.

FIGURA Nº 3: CUADRO DE CÁLCULO DE VELOCIDAD DE ONDA

FUENTE: PROGRAMA SURGE 2008

La fuente de la información de las tablas 2, 3 y 4, las tablas de diseño para la conducción a presión, de los planos 1, 2 y 3 respectivamente; los coeficientes k de los codos fueron obtenidos de tablas y esquemas desarrollados por los

ingenieros que intervinieron en el proyecto; el coeficiente de la unión fue considerado ese valor después de un breve análisis.

4.3.- ANÁLISIS DE LOS DATOS SUJETOS A UN ESTUDIO DE SENSIBILIDAD DE LOS RESULTADOS

Los datos que están más sujetos a variaciones sensibles y afectan a las respuestas, son los coeficientes de pérdidas ya que si se los va variando poco a poco la respuesta también van variando, por ejemplo en un sistema en donde existan dos reservorios que están unidos por una tubería con un caudal de diseño de $3.00 \text{ m}^3/\text{s}$, tenía algunos coeficientes de pérdidas entre ellos las uniones, se obtuvo un caudal de $2.82 \text{ m}^3/\text{s}$, se volvió a ensayar con valores de los coeficientes en los codos menores y el de la unión cero, se obtuvo el caudal de $3.00 \text{ m}^3/\text{s}$.

El valor de los coeficientes de pérdidas localizadas son muy pequeños que si en el sistema existiera un solo accesorio o elemento que genere esta disminución, el valor del caudal obtenido no variaría de gran manera, pero como en un sistema de tuberías no se tiene solo un elemento que genere pérdidas (codos, uniones), y la suma de todas estas pérdidas ya es un valor considerable e influye bastante en la simulación que se hace al modelo especialmente en el caudal.

Otro valor que es importante considerar es el valor de la rugosidad que se asigna al material de la tubería, este valor es muy pequeño que si se lo va aumentando lentamente su variación no es significativa.

4.4.- SÍNTESIS DEL PROCESAMIENTO Y DE LA EVALUACIÓN DE RESULTADOS NUMÉRICOS

Para desarrollar la síntesis del procesamiento de los datos es necesario conocer con claridad los datos que se ingresaron, como se indico anteriormente, después de que se desarrolle el analizar del modelo numérico, se genera varios archivos de datos, en los que se muestra que es lo que cálculo el programa. También se observa los gráficos para cada uno de los nudos, por ejemplo gráfico de caudal (m^3/s) vs. tiempo (s) y este me sirve para observar cómo va variado el caudal durante el tiempo de simulación, presión (kPa) vs. Tiempo (s) (la unidad de la

presión para este gráfico es seleccionada automáticamente por el programa) sirve para saber cómo son las fluctuaciones de la onda de presión, otro gráfico que se genera es el de carga estática (m) vs. Tiempo (s), que nos da una idea de cómo va variando en la simulación.

Existen otros gráfico que es posible generarlos, que se muestran sobre la conducción que se dibujo en el mapa para la simulación, a través de curvas de colores, y que se muestra como va variado la energía en los diferentes nodos y elementos. Esto sirve para tener una idea en que rangos y zonas donde hay más problema, este gráfico se genera en una fracción del tiempo de toda la simulación. Es posible generar un video en el que se ve cómo va variando la presión durante toda la simulación, para eso es necesario colocar en vez de líneas divisorias, colores sólidos porque en el video va cambiando la tonalidad o aumentando o disminuyendo de tamaño de esa manera se ve con más claridad la variación de la sobre presión; se sugiere hacer este video en el caso de que se pueda percibir con más claridad los valores de sobre presión.

También se genera un archivo en el que se puede observar todos los resultados que genera el programa, en el que muestra el número de nudos, tuberías y elementos ingresados, tablas con valor de las pérdidas de carga, el valor de la carga de presión antes y después del momento en que se empieza a cerrar la válvula, además indica la demanda, en cual punto fue asignada si es de entrada o salida; describe los elementos en que se hizo una programación específica para este caso la válvula, la que tuvo que variar de funcionar completamente abierta a cerrada después de ciertos segundos. Algunos de los valores que emiten el programa no son útiles para la presente evaluación, se procede a seleccionar datos y gráficos, según las necesidades, porque lo que más se va a enfocar son los puntos en donde la sobre elevación es máxima, y el punto después del reservorio.

Ya obtenido los resultados, se procede a revisar y tomar la información más importante, la cual nos va ayuda a chequear en qué puntos acurren la mayor y menor sobrepresión.

Previo a la evaluación de los resultados es necesario, verificar que los valores obtenidos estén de acuerdo con los ingresados, se puede revisar, las unidades, la ecuación escogida sea la correcta, el tiempo de simulación sea el mismo en el

que se programa, este tiempo puede variar según el modelador, el número de tuberías sea igual al que se ingreso, y otros.

Para la evaluación de los resultados se hizo:

1.- De los siguientes puntos: reservorio, punto 1 que se encuentra después del reservorio, cada uno de los anclajes, y el punto que represente a la válvula, se tomo los siguientes valores:

- Los datos de carga de presión en cada uno de los puntos
- La carga de presión máxima (considerada cuando ocurre el fenómeno de golpe de ariete cuando la onda de presión esta dirigiéndose al reservorio)
- La carga de presión mínima (considerada cuando ocurre el fenómeno de golpe de ariete cuando la onda está saliendo del reservorio o dirigiéndose a la válvula).

2.- Con estos resultados ya conocidos se procede a hacer dos cálculos:

- El primero es el que indica la variación de sobre presión, que es el valor que se obtiene al restar la sobre presión máxima menos la sobre presión mínima.
- El segundo es la variación máxima de la sobre elevación, que se calcula al restar el valor máximo de la sobre presión con el valor de los datos de la carga de presión.

4.5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Para procesar los datos es necesario tener un claro conocimiento de cómo está desarrollado el proyecto; porque de eso depende la precisión de los ensayos que se generan.
- Es importante tener un adecuado procesamiento de los datos para facilitar el ingreso de los valores, en especial para los nudos, por eso se sugiere crear un sistema para la obtención de la elevación de cada nudo con la ayuda de otros programas.
- Se recomienda tener un claro mecanismo de utilización y de ingreso de los datos para agilizar el trabajo.

- Es muy importante asignar nombres a cada uno de los nudos o elementos, nombres que sea fáciles de identificar y que nos faciliten encontrarlos.
- La ventaja de utilizar este programa es que el Surge puede calcular ciertos parámetros que son importantes para la modelación por ejemplo la velocidad de onda.
- Se puede observar que para tener un mejor análisis se prevé algunos escenarios cada uno de ellos ayuda a tener un mejor control y entendimiento de las tablas que se generaron de los resultados obtenidos en la modelación.
- La principal variable para este análisis es el cierre de la válvula, y es interesante porque se presentan las diferentes variaciones que tiene a través de una tabla. Y esto nos indica que el cierre de la válvula es como un proceso que se desarrolla paulatinamente.
- Para un uso adecuado de programa además de revisar el presente capítulo, revisar los manuales del programa y otros documentos que son muy útiles para el mejor entendimiento de los resultados.

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA MODELACIÓN NUMÉRICA

5.1.- PROBLEMA FÍSICO DE LOS APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS

Los aprovechamientos hidroeléctricos son sistemas que se encargan de transformar la energía hidráulica en energía eléctrica; que están compuesta básicamente de una captación, desarenador, sifón, conducción, tanque de carga, tubería a presión (con codos, anclajes, y apoyos), y la casa de máquinas, (para el análisis no se tomo en cuenta la turbina porque el que controla el flujo de entrada a esta es la válvula).

Para el proyecto de titulación los elementos que se consideran para la modelación son el tanque de carga, la tubería a presión y la válvula, porque en este sistema se presenta el flujo no permanente a presión.

El problema físico en un aprovechamiento hidroeléctrico se genera cuando ocurre variación de los niveles de agua en el tanque de carga (en el reservorio en el caso de épocas de verano), ingreso o disminución de caudal en la tubería, un cierre inesperado de las válvulas, en caso de emergencia (cuando sea absolutamente necesario apagar las turbinas por ejemplo en tormentas eléctricas, incendios), etc. Esto hace que se genera una onda de presión que es transmitido por la tubería hacia el tanque de carga. De tal manera que todo el sistema se ve afectado por esta onda que recorre el sistema a altas velocidades, pudiendo dañar toda la estructura, los anclajes, apoyos el tanque de carga y hasta la misma tubería.

Este problema físico se lo puede generar con ayuda del programa, esta simulación se lo hace considerando que el sistema funcione normalmente durante cierto tiempo, y después de ese tiempo se programa el cierre de la válvula: A continuación se puede presentar otros casos en que se puede presentar los fenómenos transitorios:

- Diferentes aperturas de la válvula en diferentes tiempos
- La variación de la cota del tanque de carga del nivel máximo al nivel mínimo.
- Disminuir el caudal de ingreso a la conducción.
- Cambiar las características de la tubería, (el material, diámetro, coeficiente de fricción, etc.)

5.2.- CONDICIONES HIDRÁULICAS PARA LA ENTRADA Y LA SALIDA DE ESTAS ESTRUCTURAS

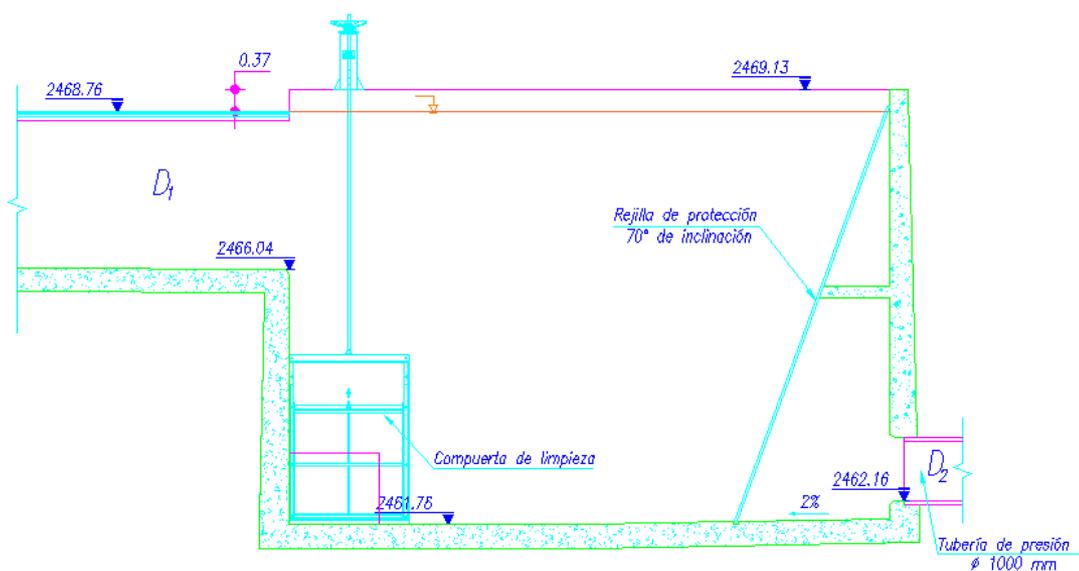
Los aprovechamientos hidroeléctricos en análisis están compuestos por:

- Tanque de carga
- Tuberías
- Casa de máquinas (se toma en cuenta solo la válvula, y se la considera como parte de la tubería).

Condiciones hidráulicas para la entrada y salida del tanque de carga son:

Para la entrada:

FIGURA N°1: ESQUEMA TANQUE DE CARGA



FUENTE: ASTEC, PLANO APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO DUDAS

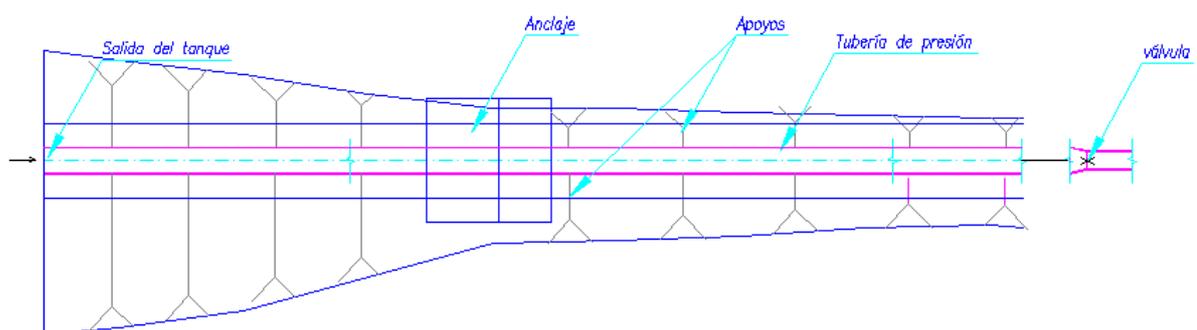
1. Entra el flujo de una tubería de diámetro (D_1) mayor al diámetro de salida, el agua viaja en la tubería parcialmente lleno.
2. Llega al reservorio (R) como una descarga sumergida. El flujo entra con esta ecuación.
3. En nivel de agua en el reservorio no debe de ser menos que el nivel superior de la tubería de agua de entrada.
4. El diámetro $D_1 > D_2$, y se encuentra ubicado a $4D_2$ de la base de tanque de carga, para evitar los problemas de ingreso de sedimentos y el efecto de succión.
5. Se considera el tanque de carga como un reservorio, porque se desarrollo el diseño basándose en que la cota piezométrica (3), va a permanecer constante para que el sistema funcione adecuadamente.

Para la salida

1. Tiene una rejilla para evitar el ingreso de sedimentos que pueden dañar la turbina, el espaciamiento entre barras va a depender de la turbina.
2. El flujo sale del reservorio por la tubería de diámetro (D_2), totalmente lleno.

Condiciones hidráulicas para la entrada y salida de la tubería de presión son:

FIGURA N°2: ESQUEMA TUBERÍA DE PRESIÓN



FUENTE: ASTEC, PLANO APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DUDAS

Para la entrada

1. El flujo entra totalmente lleno a la tubería sin ningún tipo de sedimentos.

Para la salida

ya que para la comparación se desarrollaron algunos casos o ensayos que son muy extensos, y se lo podrá revisar en CD adjunto.

MODELACIÓN: APROVECHAMIENTO HIDROÉLECTRICO DUDAS

Primer ensayo desarrollado:

Análisis de flujo no permanente

Escenario 1-2

Tiempo de cierre de la válvula: 3.0 s

Caudal: 3.00 m³/s

Cota 1: 2462.15 msnm

Cota 2: 2465.09 msnm

Max/Min Summary

SUMMARY OF MAXIMUM AND MINIMUM HEADS:

Position MinTime	no (sec)	MaxHead (m)	MinHead (m)	Time Reverse	MaxPressure Grad.	MinPressure (kPa)	MaxTime (kPa)
1	5.06	-0.06	2.210		49.621	-0.569	61.60567
64.60539							
2	7.63	-2.60	44.918		74.862	-25.498	
61.59567	64.59539						
3	18.34	-2.10	30.431		179.885	-20.632	
61.57567	64.57539						
4	26.41	0.87	0.000		259.069	8.507	
61.56567	64.56538						
5	34.49	3.85	0.000		338.321	37.744	
61.55568	64.55538						
6	42.56	6.83	0.000		417.555	66.991	
61.54568	64.54538						
7	50.69	9.86	0.000		497.256	96.742	
61.53568	64.53538						
8	58.70	12.79	0.000		575.854	125.427	
61.52568	64.52538						
9	66.77	15.77	0.000		655.023	154.717	
61.51568	64.51537						
10	74.85	18.77	0.000		734.263	184.123	
61.50568	64.50537						
11	82.89	21.74	0.000		813.186	213.244	
61.49569	64.49537						
12	96.49	25.19	0.000		946.553	247.113	
61.47569	64.47536						
13	103.87	27.50	0.000		1018.938	269.805	
61.46569	64.46536						
14	111.24	29.82	0.000		1091.307	292.518	
61.45569	64.45536						
15	118.63	32.14	0.000		1163.747	315.341	
61.44569	64.44536						

16	126.08	34.54	0.000	1236.859	338.879
61.43570	64.43536				
17	140.87	39.24	0.000	1381.910	384.908
61.41570	64.41535				
18	149.71	43.04	0.000	1468.682	422.216
61.40570	64.40535				
19	158.55	46.84	0.000	1555.422	459.541
61.39570	64.39535				
20	167.40	50.66	0.000	1642.235	496.980
61.38570	64.38535				
21	176.25	54.48	0.000	1729.028	534.443
61.37571	64.37534				
22	185.09	58.29	0.000	1815.697	571.827
61.36571	64.36534				
23	193.92	62.10	0.000	1902.342	609.228
61.35571	64.35534				
24	202.75	65.92	0.000	1988.965	646.649
61.34571	64.34534				
25	211.54	69.69	0.000	2075.169	683.697
61.33571	64.33533				
26	220.41	73.56	0.000	2162.231	721.650
61.32571	64.32533				
27	229.23	77.38	0.000	2248.773	759.136
61.31572	64.31533				
28	238.00	81.16	0.000	2334.800	796.148
61.30572	64.30533				
29	249.40	82.55	0.000	2446.570	809.813
61.28572	64.28532				
30	258.21	86.38	0.000	2533.041	847.405
61.27572	64.27532				
31	267.02	90.21	0.000	2619.451	884.986
61.26572	64.26532				
32	275.81	94.04	0.000	2705.743	922.500
61.25573	64.25532				
33	284.64	97.89	0.000	2792.306	960.331
61.24573	64.24532				
34	293.44	101.73	0.000	2878.662	998.010
61.23573	64.23531				
35	302.24	105.58	0.000	2964.982	1035.703
61.22573	64.22531				
36	311.04	109.43	0.000	3051.338	1073.471
61.21573	64.21531				
37	319.84	113.27	0.000	3137.624	1111.226
61.20573	64.20531				
38	328.63	117.62	0.000	3223.857	1153.882
61.19574	64.19530				
39	337.42	123.37	0.000	3310.108	1210.240
61.18574	64.19530				
40	346.20	129.67	0.000	3396.236	1272.079
61.17574	64.18530				
41	362.05	140.56	0.000	3551.691	1378.935
61.15574	64.16530				
42	372.87	148.92	0.000	3657.897	1460.888
61.14574	64.15530				
43	383.69	157.26	0.000	3763.973	1542.727
61.13575	64.14529				

44	394.50	165.60	0.000	3870.018	1624.551
61.12575	64.13529				
45	405.29	173.93	0.000	3975.931	1706.261
61.11575	64.12529				
46	416.10	182.28	0.000	4081.976	1788.123
61.10575	64.11529				
47	423.58	184.83	0.000	4155.349	1813.200
61.08575	64.09528				
48	425.55	184.81	0.000	4174.643	1812.948
61.07576	64.08528				
AC_3	131.83	35.24	0.000	1293.252	345.751
61.42570	64.42535				
AC-1	10.19	-5.15	45.978	99.919	-50.522
61.58567	64.58539				
AC-2	89.04	22.81	0.000	873.452	223.748
61.48569	64.48537				
AC-4	241.69	79.84	0.000	2371.024	783.251
61.29572	64.29533				
AC-5	351.43	132.42	0.000	3447.518	1299.033
61.16574	64.17530				
AC-6	421.15	184.86	0.000	4131.439	1813.451
61.09575	64.10529				
R-1	2.93	2.93	0.000	28.745	28.745
0.01000	0.01000				

=====

Análisis de flujo no permanente

Escenario 1-3

Tiempo: 3.0 s

Caudal: 3.00 m³/s

Cota 1: 2462.15 msnm

Cota 3: 2468.59 msnm

Max/Min Summary

SUMMARY OF MAXIMUM AND MINIMUM HEADS:

Position no.	MaxHead (m)	MinHead (m)	MaxTime (sec)	MinTime (sec)
1	8.73	3.61	61.60567	64.60539
2	11.30	1.07	61.59567	64.59539
3	22.01	1.57	61.57567	64.57539
4	30.08	4.54	61.56567	64.56538
5	38.16	7.52	61.55568	64.55538
6	46.23	10.50	61.54568	64.54538
7	54.36	13.53	61.53568	64.53538
8	62.37	16.46	61.52568	64.52538
9	70.44	19.44	61.51568	64.51537
10	78.52	22.44	61.50568	64.50537

11	86.56	25.41	61.49569	64.49537
12	100.16	28.86	61.47569	64.47536
13	107.54	31.17	61.46569	64.46536
14	114.91	33.49	61.45569	64.45536
15	122.30	35.82	61.44569	64.44536
16	129.75	38.21	61.43570	64.43536
17	144.54	42.91	61.41570	64.41535
18	153.38	46.71	61.40570	64.40535
19	162.22	50.51	61.39570	64.39535
20	171.07	54.33	61.38570	64.38535
21	179.92	58.15	61.37571	64.37534
22	188.76	61.96	61.36571	64.36534
23	197.59	65.77	61.35571	64.35534
24	206.42	69.59	61.34571	64.34534
25	215.21	73.36	61.33571	64.33533
26	224.08	77.23	61.32571	64.32533
27	232.90	81.05	61.31572	64.31533
28	241.67	84.83	61.30572	64.30533
29	253.07	86.22	61.28572	64.28532
30	261.88	90.05	61.27572	64.27532
31	270.69	93.88	61.26572	64.26532
32	279.48	97.71	61.25573	64.25532
33	288.31	101.56	61.24573	64.24532
34	297.11	105.40	61.23573	64.23531
35	305.91	109.25	61.22573	64.22531
36	314.71	113.10	61.21573	64.21531
37	323.51	116.95	61.20573	64.20531
38	332.30	121.29	61.19574	64.19530
39	341.09	127.04	61.18574	64.19530
40	349.87	133.34	61.17574	64.18530
41	365.72	144.24	61.15574	64.16530
42	376.54	152.59	61.14574	64.15530
43	387.36	160.93	61.13575	64.14529
44	398.17	169.27	61.12575	64.13529
45	408.96	177.60	61.11575	64.12529
46	419.77	185.95	61.10575	64.11529
47	427.25	188.50	61.08575	64.09528
AC_3	135.50	38.91	61.42570	64.42535
AC-1	13.85	-1.48	61.58567	64.58539
AC-2	92.71	26.48	61.48569	64.48537
AC-4	245.36	83.51	61.29572	64.29533
AC-5	355.10	136.09	61.16574	64.17530
AC-6	424.82	188.53	61.09575	64.10529
J-48	429.22	188.48	61.07576	64.08528
R-1	6.60	6.60	0.01000	0.01000

MODELACIÓN: APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICO ALAZÁN

Escenario 1-3

Tiempo: 1.0 s

Caudal: 1.80 m³/s

Cota 1: 2457.82 msnm

Cota 3: 2475.86 msnm

Max/Min Summary

SUMMARY OF MAXIMUM AND MINIMUM HEADS:

Position no.	MaxHead (m)	MinHead (m)	MaxTime (sec)	MinTime (sec)
1	10.69	4.19	61.17429	62.04357
2	13.98	0.98	61.21669	62.06477
3	23.72	-2.29	61.31210	62.10718
4	30.22	-2.31	61.31210	62.12838
5	36.71	-2.32	61.30150	62.13898
6	43.20	-2.34	61.29090	62.13898
7	49.69	-2.35	61.28030	62.14958
8	64.37	-0.67	61.25909	62.13898
9	74.19	2.65	61.24849	62.13898
10	84.02	5.97	61.23789	62.13898
11	93.84	9.28	61.22729	62.13898
12	103.65	12.60	61.21669	62.12838
13	113.47	15.92	61.20609	62.11778
14	123.29	19.24	61.19549	62.10718
15	133.11	22.56	61.18489	62.09658
16	142.92	25.88	61.17429	62.08598
17	152.74	29.20	61.16368	62.07537
18	162.56	32.53	61.15308	62.06477
19	179.58	36.58	61.13188	62.04357
20	188.17	38.68	61.12128	62.03297
21	196.77	40.79	61.11068	62.02237
22	205.36	42.90	61.10008	62.01177
23	213.95	45.01	61.08948	62.00117
24	222.55	47.12	61.07888	61.99057
25	231.14	49.24	61.06828	61.97997
26	239.73	51.35	61.05767	61.96936
27	248.32	53.47	61.04707	61.95876
28	265.91	58.12	61.02587	61.93756
29	273.91	59.66	61.01527	61.92696
30	281.92	61.21	61.00467	61.91636
31	289.92	62.75	60.99407	61.90576
32	297.92	64.29	60.98347	61.89516
33	305.92	65.84	60.97287	61.88456
34	313.92	67.39	60.96227	61.87395
35	321.92	69.85	60.95166	61.86335
36	329.93	74.24	60.94106	61.87395
37	341.22	79.02	60.91986	61.89516
38	344.00	78.93	60.90926	61.90576
AC-1	17.20	-2.30	61.30150	62.07537
AC-2	54.37	-4.17	61.26970	62.12838
AC-3	170.86	34.34	61.14248	62.05417
AC-4	257.53	56.21	61.03647	61.94816
AC-5	338.02	79.08	60.93046	61.88456
R-1	8.04	8.04	0.01060	0.01060

=====

MODELACIÓN: APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO SAN ANTONIO

Escenario 1-3

Tiempo: 3.0 s

Caudal: 2.20 m³/s

Cota 1: 2245.85 msnm

Cota 3: 2251.98 msnm

Max/Min Summary

SUMMARY OF MAXIMUM AND MINIMUM HEADS:				
Position no.	MaxHead	MinHead	MaxTime	MinTime
	(m)	(m)	(sec)	(sec)
1	6.85	4.21	61.25909	63.80334
2	14.56	6.64	62.93406	63.78214
3	20.96	10.40	62.92346	63.77154
4	27.35	14.16	62.91286	63.76094
5	33.74	17.91	62.90226	63.75034
6	40.14	21.67	62.89165	63.73974
7	46.54	25.43	62.88105	63.72914
8	59.08	32.70	62.85985	63.70794
9	64.11	35.10	62.84925	63.69733
10	69.14	37.51	62.83865	63.68673
11	74.17	39.90	62.82805	63.67613
12	79.21	42.31	62.81745	63.66553
13	93.26	51.10	62.79625	63.64433
14	100.79	56.00	62.78564	63.63373
15	108.34	60.92	62.77504	63.62313
16	115.86	66.46	62.76444	63.62313
17	123.40	72.67	62.75384	63.63373
18	130.94	78.87	62.74324	63.64433
19	138.47	85.07	62.73264	63.6549
20	146.00	91.27	62.72204	63.66553
21	165.08	106.37	62.69024	63.69733
22	171.68	111.64	62.67963	63.70794
23	178.28	116.92	62.66903	63.71854
24	184.88	122.19	62.65843	63.72914
25	191.43	127.41	62.64783	63.73974
26	198.08	132.74	62.63723	63.75034
27	204.68	138.02	62.62663	63.76094
28	211.28	143.30	62.61603	63.7715
29	217.88	148.58	62.60543	63.78214
30	224.47	153.85	62.59483	63.79274
31	241.80	168.55	62.57362	63.81395
32	246.68	170.79	62.55242	63.83515
AC1	8.17	2.89	62.94466	63.79274
AC2	54.03	30.29	62.87045	63.71854
AC3	85.79	46.26	62.80685	63.65493
AC4	158.46	101.08	62.70084	63.68673
AC5	230.67	158.73	62.58422	63.80334
AC6	244.98	170.41	62.56302	63.82455
R1	6.13	6.13	0.01060	0.01060
VLV	247.83	170.78	62.54182	63.84575

=====

Los valores que se encuentran resaltados con color amarillo, son los que se toman mayor importancia porque el punto 1 se encuentra después del reservorio (punto R1) y es el que va a indicar como va a oscilar el flujo dentro del tanque, además se encuentra subrayado el punto en donde se encuentra ubicado la válvula, que es el punto en donde el valor de la sobrepresión es el máximo.

5.4. - ANÁLISIS DE RESULTADOS:

Los análisis de resultados se desarrollaron de la siguiente manera:

De cada uno de los ensayos se busca la información de los puntos estratégicos, el reservorio, uno después del reservorio, los anclajes, donde la presión sea la máxima, y la válvula, en cada uno de esos puntos se indico la presión en el nodo, la presión mínima y máxima durante el fenómeno transitorio, la variación que existe entre estos valores y la sobrepresión máxima que existe; todo este análisis se lo hizo para los diferentes escenarios, con un caudal medio y máxima; los tiempos fueron escogidos según las diferentes necesidades.

Además el análisis se lo hace como se indico en el capítulo anterior, las tablas a continuación nos muestra los resultados:

APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO DUDAS

Este resumen es de el primer ensayo que se desarrollo :

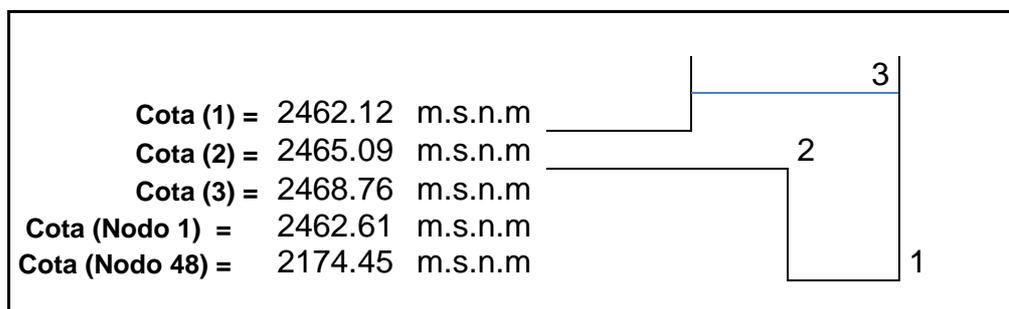
RESUMEN DE RESULTADOS:

Para una mejor comprensión y agilidad en la anotación de los nombres de cada uno de los aprovechamientos se ha decidido dar abreviaciones a cada uno, como se indica a continuación:

- Aprovechamiento Hidroeléctrico Dudas – AHD
- Aprovechamiento Hidroeléctrico Alazán – AHA
- Aprovechamiento Hidroeléctrico San Antonio - AHSA

ESQUEMA DEL RESERVORIO

FIGURA Nº 4:ESQUEMA DEL TANQUE DE CARGA



FUENTE:ANEXOS – PLANO 1 - AHD

TABLA Nº 0 DE RESULTADOS*

Q= 3m ³ /s
Tiempo de cierre VLV= 3 s

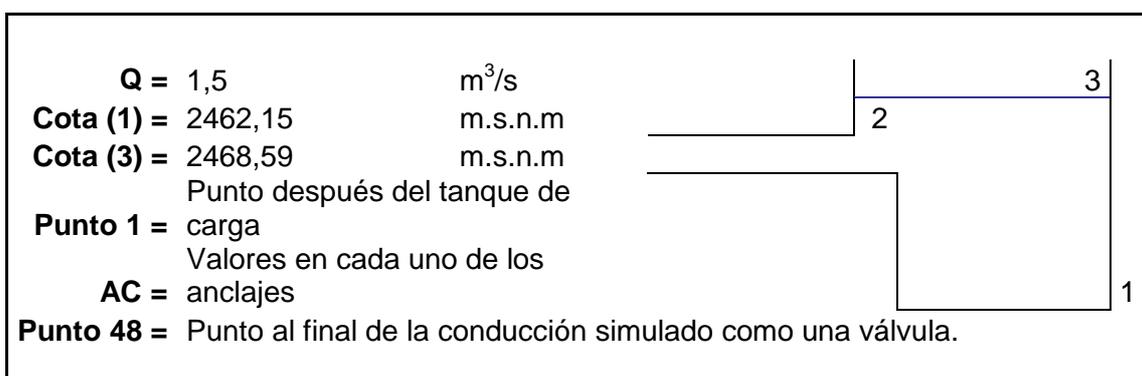
Puntos	Presión Nodo (m)	Max. Presión (Surge) (m)	Min. Presión (Surge) (m)	Δ Presión (m)	Sobre Presión (m)
ESCENARIO 1-2					
1	2.48	5.06	-0.06	5.12	2.58
48	285.24	425.55	184.81	240.74	140.31
ESCENARIO 1-3					
1	6.15	8.73	3.61	5.12	2.58
48	288.81	429.22	188.48	240.74	140.41

ENSAYOS ENTREGADOS EN EL INFORME FINAL APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DUDAS

Escenario 1-3(se encuentra descrito en el numeral 5.3).

Caudal = 1.50 m³/s

FIGURA N° 5: DATOS Y ESQUEMA DE TANQUE DE CARGA



FUENTE: ANEXOS - PLANO 1 DE AHD

TABLA N°1 DE RESULTADOS TIEMPO DE CIERRE DE LA VÁLVULA 1S*

Puntos	Presión Nodo (Surge) (m)	Max. Presión Surge (m)	Min. Presión Surge (m)	D Presión (m)	Sobre Presión (m)
R-1	6,44	6,44	6,44	0,00	0,00
1	5,99	9,87	2,13	7,74	3,88
AC_1	5,92	17,65	-5,6	23,25	11,73
AC_2	58,95	109,84	9,08	100,76	50,89
AC_3	86,35	160,71	13,49	147,22	74,36
AC_4	163,18	288,19	40,61	247,58	125,01
AC_5	240,32	415,68	68,39	347,29	175,36
AC_6	292,68	487,44	101,91	385,53	194,76
48	292,65	487,47	101,88	385,59	194,82

TABLA N°2 DE RESULTADOS TIEMPO DE CIERRE DE LA VÁLVULA 2 S*

Puntos	Presión Nodo (Surge) (m)	Max. Presión (m)	Min. Presión (m)	D Presión (m)	Sobre Presión (m)
R-1	6,44	6,44	6,44	0,00	0,00
1	5,99	7,93	4,05	3,88	1,94
AC_1	5,92	11,81	0,17	11,64	5,89
AC-2	58,95	84,51	43,68	40,83	25,56
AC_3	86,35	123,69	71,09	52,60	37,34
AC_4	163,18	225,89	148,01	77,88	62,71
AC_5	240,32	328,25	225,36	102,89	87,93
AC_6	292,68	394,13	277,9	116,23	101,45
48	292,65	397,54	277,9	119,64	104,89

TABLA N°3 DE RESULTADOS TIEMPO DE CIERRE DE LA VÁLVULA 3 s*

Puntos	Presión Nodo (Surge) (m)	Max. Presión (m)	Min. Presión (m)	D Presión (m)	Sobre Presión (m)
R-1	6,44	6,44	6,44	0,00	0,00
1	5,99	7,28	4,71	2,57	1,29
AC_1	5,92	9,85	2,15	7,70	3,93
AC_2	58,95	76,01	42,67	33,34	17,06
AC_3	86,35	111,27	62,59	48,68	24,92
AC_4	163,18	205,02	123,24	81,78	41,84
AC_5	240,32	298,97	188,04	110,93	58,65
AC_6	292,68	360,34	240,58	119,76	67,66
48	292,65	362,60	240,57	122,03	69,95

TABLA N°4 DE RESULTADOS TIEMPO DE CIERRE DE LA VÁLVULA 4 s*

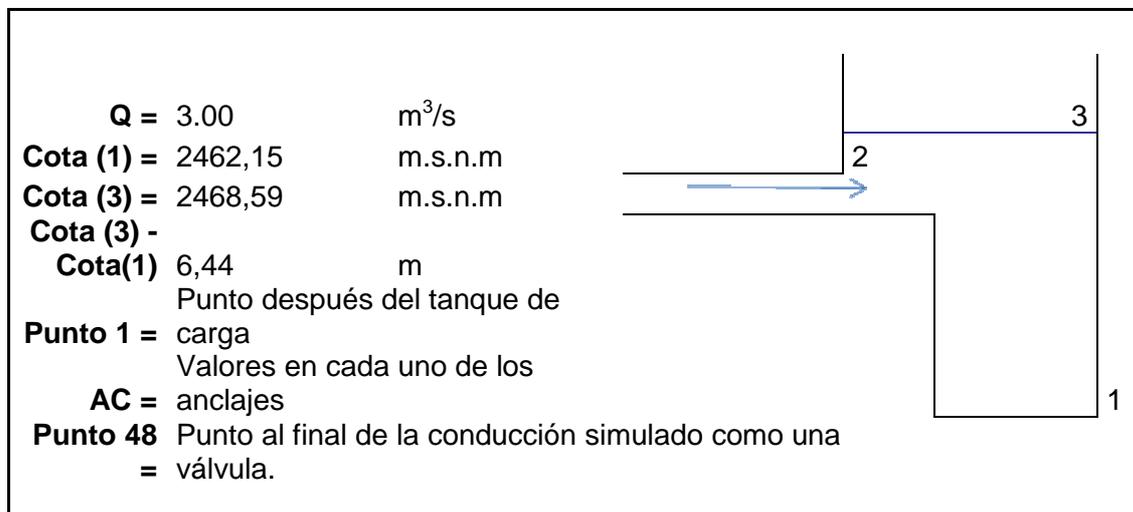
Puntos	Presión Nodo (Surge) (m)	Max. Presión (m)	Min. Presión (m)	D Presión (m)	Sobre Presión (m)
R-1	6,44	6,44	6,44	0,00	0,00
1	5,99	6,96	5,03	1,93	0,97
AC_1	5,92	8,88	3,1	5,78	2,96
AC_2	58,95	71,82	46,81	25,01	12,87
AC_3	86,35	105,15	71,48	33,67	18,80
AC_4	163,18	194,76	148,41	46,35	31,58
AC_5	240,32	284,62	225,71	58,91	44,30
AC_6	292,68	343,81	278,19	65,62	51,13
48	292,65	345,51	278,17	67,34	52,86

TABLA N°5 DE RESULTADOS TIEMPO DE CIERRE DE LA VÁLVULA 5 s*

Puntos	Presión Nodo (Surge) (m)	Max. Presión (m)	Min. Presión (m)	D Presión (m)	Sobre Presión (m)
R-1	6,44	6,44	6,44	0,00	0,00
1	5,99	6,76	5,23	1,53	0,77
AC_1	5,92	8,29	3,7	4,59	2,37
AC_2	58,95	69,27	49,42	19,85	10,32
AC_3	86,35	101,43	72,44	28,99	15,08
AC_4	163,18	188,50	139,81	48,69	25,32
AC_5	240,32	275,83	215,69	60,14	35,51
AC_6	292,68	333,66	268,19	65,47	40,98
48	292,65	335,01	268,16	66,85	42,36

Escenario 1-3 (se encuentra descrito en el numeral 5.3)Caudal = 3.00 m³/s

FIGURA N°6: DATOS Y ESQUEMA DE TANQUE DE CARGA



Fuente: ANEXO- PLANO 1 – Aprovechamiento Hidroeléctrico Dudas (AHD)

TABLA N°6 DE RESULTADOS TIEMPO DE CIERRE DE LA VÁLVULA 10 s*

Puntos	Presión Nodo (Surge) (m)	Max. Presión (m)	Min. Presión (m)	D Presión (m)	Sobre Presión (m)
R-1	6,44	6,44	6,44	0,00	0,00
1	5,98	6,75	5,25	1,50	0,77
AC_1	5,7	8,20	3,78	4,42	2,50
AC-2	57,88	68,85	49,78	19,07	10,97
AC_3	84,77	100,80	72,99	27,81	16,03
AC_4	160,54	187,41	140,77	46,64	26,87
AC_5	236,6	274,24	212,2	62,04	37,64
AC_6	288,37	331,80	264,34	67,46	43,43
48	288,25	333,09	264,23	68,86	44,84

TABLA N°7 DE RESULTADOS TIEMPO DE CIERRE DE LA VÁLVULA 15 s*

Puntos	Presión Nodo (Surge) (m)	Max. Presión (m)	Min. Presión (m)	D Presión (m)	Sobre Presión (m)
R-1	6,44	6,44	6,44	0,00	0,00
1	5,98	6,49	5,52	0,97	0,51
AC_1	5,7	7,41	4,57	2,84	1,71
AC-2	57,88	65,46	56,05	9,41	7,58
AC_3	84,77	95,86	83,29	12,57	11,09
AC_4	160,54	179,12	159,8	19,32	18,58
AC_5	236,6	262,64	236,6	26,04	26,04
AC_6	288,37	318,43	288,37	30,06	30,06
48	288,25	319,27	288,25	31,02	31,02

TABLA N°8 DE RESULTADOS TIEMPO DE CIERRE DE LA VÁLVULA 20 s*

Puntos	Presión Nodo (Surge) (m)	Max. Presión (m)	Min. Presión (m)	D Presión (m)	Sobre Presión (m)
R-1	6,44	6,44	6,44	0,00	0,00
1	5,98	6,36	5,65	0,71	0,38
AC_1	5,7	7,02	4,97	2,05	1,32
AC_2	57,88	63,78	54,91	8,87	5,90
AC_3	84,77	93,41	80,48	12,93	8,64
AC_4	160,54	175,00	154,54	20,46	14,46
AC_5	236,6	256,88	231,46	25,42	20,28
AC_6	288,37	311,79	283,7	28,09	23,42
48	288,25	312,40	283,63	28,77	24,15

TABLA N°9 DE RESULTADOS TIEMPO DE CIERRE DE LA VÁLVULA 25 s*

Puntos	Presión Nodo (Surge) (m)	Max. Presión (m)	Min. Presión (m)	D Presión (m)	Sobre Presión (m)
R-1	6,44	6,44	6,44	0,00	0,00
1	5,98	6,29	5,72	0,57	0,31
AC_1	5,7	6,79	5,19	1,60	1,09
AC_2	57,88	62,78	55,83	6,95	4,90
AC_3	84,77	91,94	81,82	10,12	7,17
AC_4	160,54	172,55	155,58	16,97	12,01
AC_5	236,6	253,45	229,67	23,78	16,85
AC_6	288,37	307,84	281,64	26,20	19,47
48	288,25	308,31	281,54	26,77	20,06

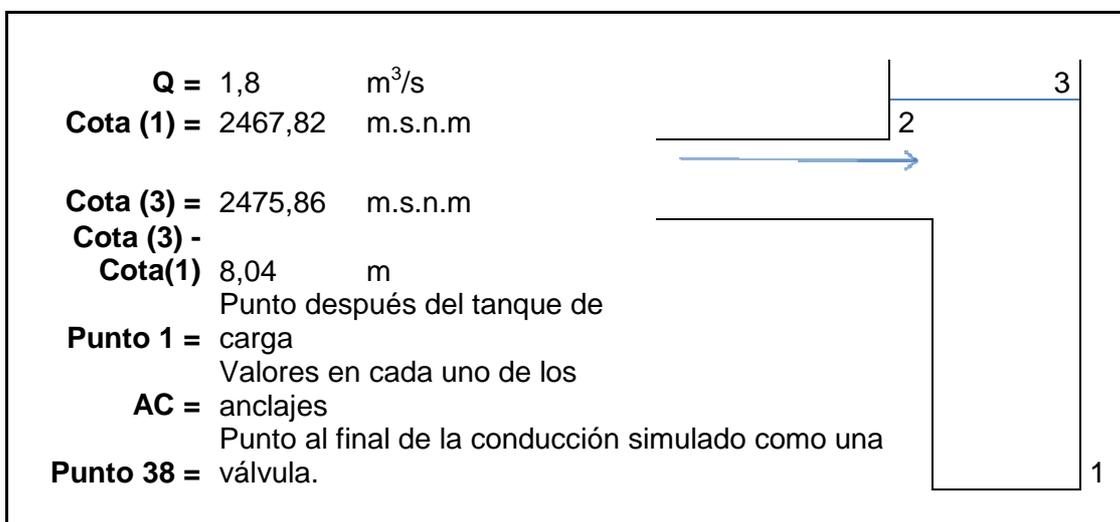
TABLA N°10 DE RESULTADOS TIEMPO DE CIERRE DE LA VÁLVULA 30 s*

Puntos	Presión Nodo (Surge) (m)	Max. Presión (m)	Min. Presión (m)	D Presión (m)	Sobre Presión (m)
R-1	6,44	6,44	6,44	0,00	0,00
1	5,98	6,24	5,77	0,47	0,26
AC_1	5,7	6,64	5,34	1,30	0,94
AC_2	57,88	62,12	56,63	5,49	4,24
AC_3	84,77	90,98	83,92	7,06	6,21
AC_4	160,54	170,94	160,5	10,44	10,40
AC_5	236,6	251,19	236,6	14,59	14,59
AC_6	288,37	305,24	288,37	16,87	16,87
48	288,25	305,62	288,25	17,37	17,37

APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO ALAZÁN

Escenario 1-3(se encuentra descrito en el numeral 5.3)

FIGURA N° 7: DATOS Y ESQUEMA DEL TANQUE DE CARGA



FUENTE: ANEXOS –PLANO 2 – Aprovechamiento Hidroeléctrico Alazán (AHA)

TABLA N°11 DE RESULTADOS PARA TIEMPO DE CIERRE 1 s*.

Puntos	Presión Nodo (m) (Surge)	Max. Presión (m)	Min. Presión (m)	D Presión (m)	Sobre Presión (m)
R-1	8,04	8,04	8,04	0,00	0,00
1	7,44	10,69	4,19	6,50	3,25
AC_1	7,41	17,20	-2,30	19,50	9,79
AC_2	24,91	54,37	-4,17	58,54	29,46
AC_3	102,16	170,86	34,34	136,52	68,70
AC_4	156,24	257,53	56,21	201,32	101,29
AC_5	204,22	338,02	79,08	258,94	133,80
38	204,21	344,00	78,93	265,07	139,79

TABLA N°12 DE RESULTADOS PARA TIEMPO DE CIERRE 3 s*

Puntos	Presión Nodo (m) (Surge)	Max. Presión (m)	Min. Presión (m)	D Presión (m)	Sobre Presión (m)
R-1	8,04	8,04	8,04	0,00	0,00
1	7,44	8,52	6,35	2,17	1,08
AC_1	7,41	10,68	4,20	6,48	3,27
AC_2	24,91	34,79	15,34	19,45	9,88
AC_3	102,16	125,18	79,87	45,31	23,02
AC_4	156,24	190,17	123,89	66,28	33,93
AC_5	204,22	249,07	171,94	77,13	44,85
38	204,21	250,99	171,83	79,16	46,78

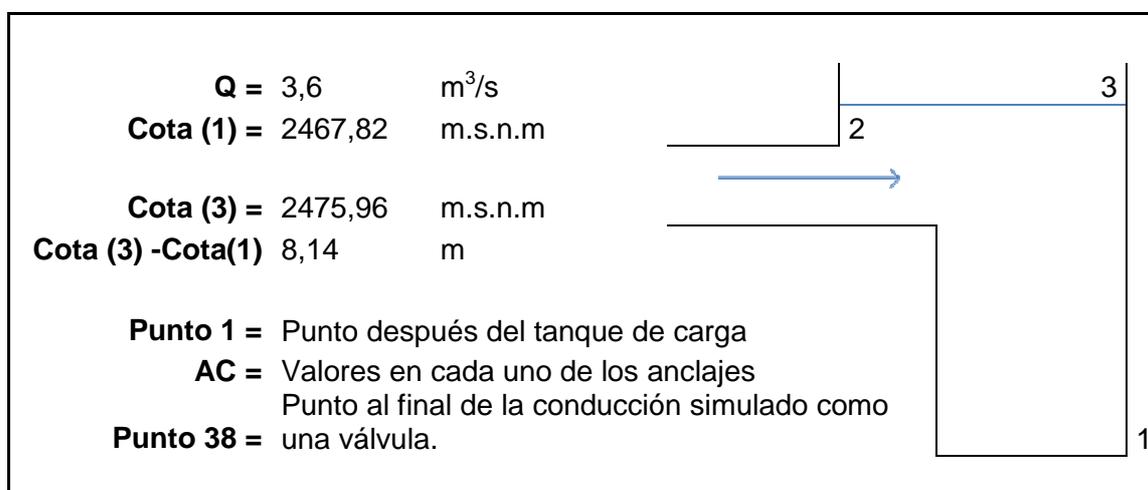
TABLA N°13 DE RESULTADOS PARA TIEMPO DE CIERRE 4 s*.

Puntos	Presión Nodo (m) (Surge)	Max. Presión (m)	Min. Presión (m)	D Presión (m)	Sobre Presión (m)
R-1	8,04	8,04	8,04	0,00	0,00
1	7,44	8,24	6,63	1,61	0,80
AC_1	7,41	9,86	5,03	4,83	2,45
AC-2	24,91	32,34	17,83	14,51	7,43
AC_3	102,16	119,46	89,13	30,33	17,30
AC_4	156,24	181,74	143,32	38,42	25,50
AC_5	204,22	237,92	191,42	46,50	33,70
38	204,21	239,34	191,32	48,02	35,13

TABLA N°14 DE RESULTADOS PARA TIEMPO DE CIERRE 5 s*.

Puntos	Presión Nodo (m) (Surge)	Max. Presión (m)	Min. Presión (m)	D Presión (m)	Sobre Presión (m)
R-1	8,04	8,04	8,04	0,00	0,00
1	7,44	8,08	6,79	1,29	0,64
AC_1	7,41	9,37	5,50	3,87	1,96
AC-2	24,91	30,87	19,26	11,61	5,96
AC_3	102,16	116,05	88,99	27,06	13,89
AC_4	156,24	176,70	142,40	34,30	20,46
AC_5	204,22	231,28	190,49	40,79	27,06
38	204,21	232,39	190,38	42,01	28,18

FIGURA N°8: DATOS Y ESQUEMA DE TANQUE DE CARGA



FUENTE:ASTEC- PLANO 2 -AHA

TABLA N°15 DE RESULTADOS PARA TIEMPO DE CIERRE 10 s*.

Puntos	Presión Nodo (m) (Surge)	Max. Presión (m)	Min. Presión (m)	D Presión (m)	Sobre Presión (m)
R-1	8,04	8,04	8,04	0,00	0,00
1	7,43	8,08	6,80	1,28	0,65
AC_1	7,32	9,31	5,55	3,76	1,99
AC-2	24,56	30,64	19,38	11,26	6,08
AC_3	101,26	115,56	89,35	26,21	14,30
AC_4	154,85	175,96	137,36	38,60	21,11
AC_5	202,32	230,26	179,35	50,91	27,94
38	202,29	231,44	178,92	52,52	29,15

TABLA N°16 DE RESULTADOS PARA TIEMPO DE CIERRE 15 s*.

Puntos	Presión Nodo (m) (Surge)	Max. Presión (m)	Min. Presión (m)	D Presión (m)	Sobre Presión (m)
R-1	8,04	8,04	8,04	0,00	0,00
1	7,43	7,86	7,03	0,83	0,43
AC_1	7,32	8,65	6,22	2,43	1,33
AC-2	24,56	28,68	21,37	7,31	4,12
AC_3	101,26	110,99	94,51	16,48	9,73
AC_4	154,85	169,23	148,46	20,77	14,38
AC_5	202,32	221,39	196,34	25,05	19,07
38	202,29	222,20	196,33	25,87	19,91

TABLA N°17 DE RESULTADOS PARA TIEMPO DE CIERRE 20 s*.

Puntos	Presión Nodo (m) (Surge)	Max. Presión (m)	Min. Presión (m)	D Presión (m)	Sobre Presión (m)
R-1	8,04	8,04	8,04	0,00	0,00
1	7,43	7,75	7,13	0,62	0,32
AC_1	7,32	8,33	6,70	1,63	1,01
AC-2	24,56	27,70	24,09	3,61	3,14
AC_3	101,26	108,71	101,17	7,54	7,45
AC_4	154,85	165,86	154,78	11,08	11,01
AC_5	202,32	216,93	202,24	14,69	14,61
38	202,29	217,54	202,26	15,28	15,25

TABLA N°18 DE RESULTADOS PARA TIEMPO DE CIERRE 25 s*.

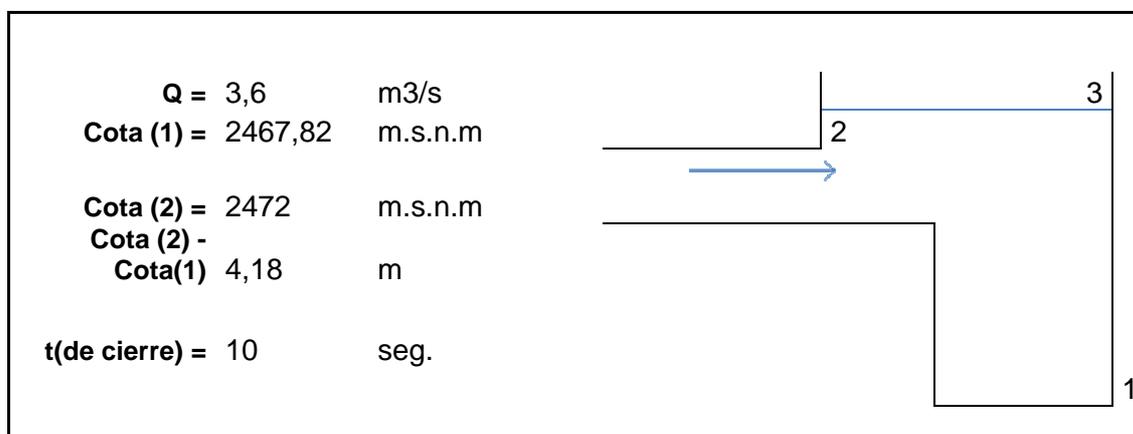
Puntos	Presión Nodo (m) (Surge)	Max. Presión (m)	Min. Presión (m)	D Presión (m)	Sobre Presión (m)
R-1	8,04	8,04	8,04	0,00	0,00
1	7,43	7,69	7,19	0,50	0,26
AC_1	7,32	8,13	6,72	1,41	0,81
AC-2	24,56	27,12	22,90	4,22	2,56
AC_3	101,26	107,37	97,56	9,81	6,11
AC_4	154,85	163,90	150,78	13,12	9,05
AC_5	202,32	214,38	198,66	15,72	12,06
38	202,29	214,86	198,65	16,21	12,57

TABLA N°19 DE RESULTADOS PARA TIEMPO DE CIERRE 30 s*.

Puntos	Presión Nodo (m) (Surge)	Max. Presión (m)	Min. Presión (m)	D Presión (m)	Sobre Presión (m)
R-1	8,04	8,04	8,04	0,00	0,00
1	7,43	7,64	7,24	0,40	0,21
AC_1	7,32	8,01	6,85	1,16	0,69
AC-2	24,56	26,73	23,27	3,46	2,17
AC_3	101,26	106,45	98,43	8,02	5,19
AC_4	154,85	162,57	150,77	11,80	7,72
AC_5	202,32	212,62	197,32	15,30	10,30
38	202,29	213,03	197,32	15,71	10,74

Escenario 1-2(se encuentra descrito en el numeral 5.3

FIGURA N°9: DATOS Y ESQUEMA DE TANQUE DE CARGA



FUENTE: ANEXOS – PLANO 2 - AHA

TABLA N°20 DE RESULTADOS TIEMPO DE CIERRE 10s*

Puntos	Presión Nodo (m) (Surge)	Max. Presión (m)	Min. Presión (m)	D Presión (m)	Sobre Presión (m)
R-1	4,18	4,18	4,18	0,00	0,00
1	3,57	4,22	2,94	1,28	0,65
AC_1	3,46	5,45	1,69	3,76	1,99
AC-2	20,70	26,78	15,52	11,26	6,08
AC_3	97,40	111,70	85,49	26,21	14,30
AC_4	150,99	172,10	133,50	38,60	21,11
AC_5	198,46	226,40	175,49	50,91	27,94
38	198,43	227,58	175,06	52,52	29,15

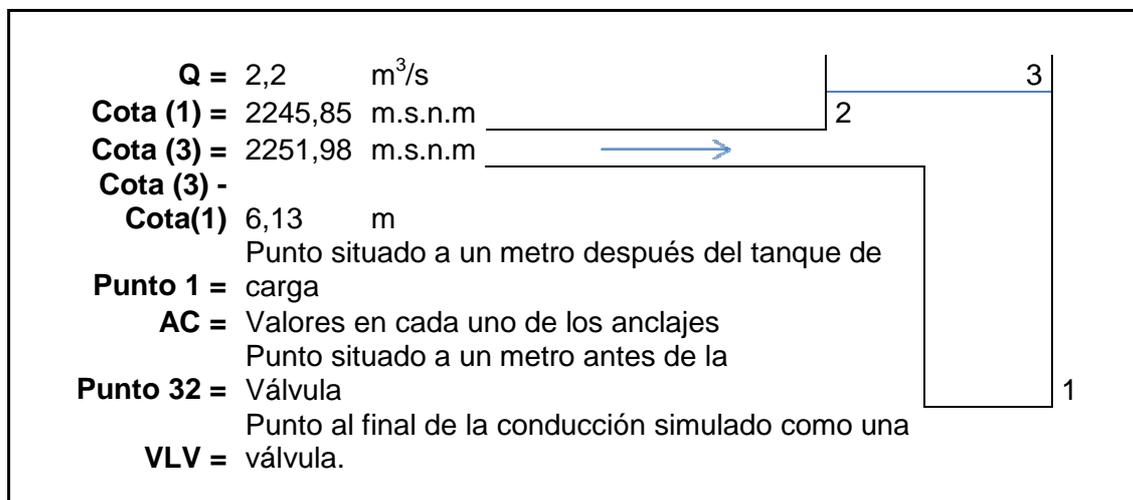
TABLA N° 21 DE RESULTADOS TIEMPO DE CIERRE 15 s*

Puntos	Presión Nodo (m) (Surge)	Max. Presión (m)	Min. Presión (m)	D Presión (m)	Sobre Presión (m)
R-1	4,18	4,18	4,18	0,00	0,00
1	3,57	4,00	3,17	0,83	0,43
AC_1	3,46	4,79	2,36	2,43	1,33
AC-2	20,70	24,82	17,51	7,31	4,12
AC_3	97,40	107,13	90,65	16,48	9,73
AC_4	150,99	165,37	144,60	20,77	14,38
AC_5	198,46	217,53	192,48	25,05	19,07
38	198,43	218,34	192,47	25,87	19,91

APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO SAN ANTONIO

Escenario 1-3(se encuentra descrito en el numeral 5.3)

FIGURA N° 10: DATOS Y ESQUEMA DE TANQUE DE CARGA



FUENTE: ANEXOS-PLANO 3 – APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO SAN ANTONIO (AHSA)

TABLA N°22 DE RESULTADOS PARA TIEMPO DE CIERRE 1 s*.

Puntos	Presión Nodo (m) (Surge)	Max. Presión (m)	Min. Presión (m)	D Presión (m)	Sobre Presión (m)
R-1	6,13	6,13	6,13	0,00	0,00
1	5,53	9,51	1,56	7,95	3,98
AC_1	5,50	13,49	-2,41	15,90	7,99
AC_2	41,95	78,00	6,43	71,57	36,05
AC_3	65,66	125,72	6,48	119,24	60,06
AC_4	124,97	224,92	26,45	198,47	99,95
AC_5	182,49	326,18	53,28	272,90	143,69
AC_6	194,14	345,76	64,91	280,85	151,62
32	194,53	350,09	65,28	284,81	155,56
VLV	194,53	353,57	65,25	288,32	159,04

TABLA N° 23 DE RESULTADOS PARA TIEMPO DE CIERRE 2 s*.

Puntos	Presión Nodo (m) (Surge)	Max. Presión (m)	Min. Presión (m)	D Presión (m)	Sobre Presión (m)
R-1	6,13	6,13	6,13	0,00	0,00
1	5,53	7,52	3,56	3,96	1,99
AC_1	5,50	9,50	1,59	7,91	4,00
AC_2	41,95	60,01	24,45	35,56	18,06
AC_3	65,66	95,74	37,85	57,89	30,08
AC_4	124,97	175,00	97,35	77,65	50,03
AC_5	182,49	254,40	155,07	99,33	71,91
AC_6	194,14	270,01	166,74	103,27	75,87
32	194,53	272,37	167,13	105,24	77,84
VLV	194,53	274,10	167,11	106,99	79,57

TABLA N°24 DE RESULTADOS PARA TIEMPO DE CIERRE 3 s*.

Puntos	Presión Nodo (m) (Surge)	Max. Presión (m)	Min. Presión (m)	D Presión (m)	Sobre Presión (m)
R-1	6,13	6,13	6,13	0,00	0,00
1	5,53	6,85	4,21	2,64	1,32
AC_1	5,50	8,17	2,89	5,28	2,67
AC_2	41,95	54,03	30,29	23,74	12,08
AC_3	65,66	85,79	46,26	39,53	20,13
AC_4	124,97	158,46	101,08	57,38	33,49
AC_5	182,49	230,67	158,73	71,94	48,18
AC_6	194,14	244,98	170,41	74,57	50,84
32	194,53	246,68	170,79	75,89	52,15
VLV	194,53	247,83	170,78	77,05	53,30

TABLA N° 25 DE RESULTADOS PARA TIEMPO DE CIERRE 4 s*.

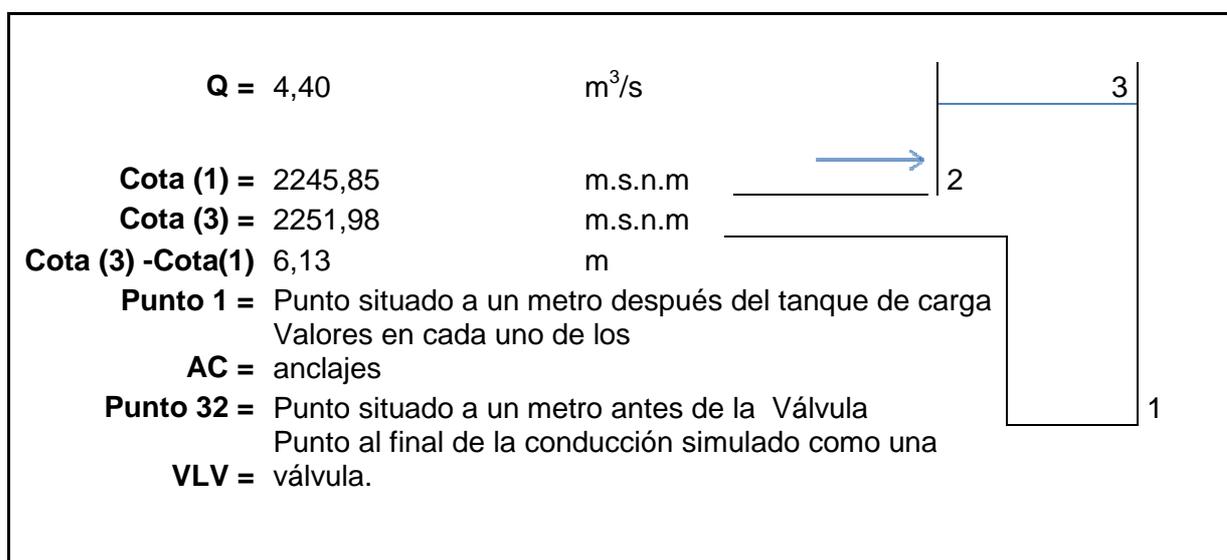
Puntos	Presión Nodo (m) (Surge)	Max. Presión (m)	Min. Presión (m)	D Presión (m)	Sobre Presión (m)
R-1	6,13	6,13	6,13	0,00	0,00
1	5,53	6,52	4,55	1,97	0,99
AC_1	5,50	7,50	3,56	3,94	2,00
AC_2	41,95	51,03	33,32	17,71	9,08
AC_3	65,66	80,79	51,30	29,49	15,13
AC_4	124,97	150,13	101,06	49,07	25,16
AC_5	182,49	218,68	155,26	63,42	36,19
AC_6	194,14	232,33	166,95	65,38	38,19
32	194,53	233,70	167,34	66,36	39,17
VLV	194,53	234,57	167,33	67,24	40,04

TABLA N° 26 DE RESULTADOS PARA TIEMPO DE CIERRE 5 s*.

Puntos	Presión Nodo (m) (Surge)	Max. Presión (m)	Min. Presión (m)	D Presión (m)	Sobre Presión (m)
R-1	6,13	6,13	6,13	0,00	0,00
1	5,53	6,32	4,74	1,58	0,79
AC_1	5,50	7,10	3,96	3,14	1,60
AC_2	41,95	49,24	38,82	10,42	7,29
AC_3	65,66	77,80	62,59	15,21	12,14
AC_4	124,97	145,17	122,01	23,16	20,20
AC_5	182,49	211,57	179,71	31,86	29,08
AC_6	194,14	224,82	191,40	33,42	30,68
32	194,53	226,00	191,79	34,21	31,47
VLV	194,53	226,69	191,78	34,91	32,16

Escenario 1-3(se encuentra descrito en el numeral 5.3)

FIGURA N° 11: DATOS Y ESQUEMA DE TANQUE DE CARGA



FUENTE: ANEXO: ANEXOS – PLANO 3- AHSA

TABLA N°27 DE RESULTADOS PARA TIEMPO DE CIERRE 10 s*.

Puntos	Presión Nodo (m) (Surge)	Max. Presión (m)	Min. Presión (m)	D Presión (m)	Sobre Presión (m)
R-1	6,13	6,13	6,13	0,00	0,00
1	5,52	6,31	4,77	1,54	0,79
AC_1	5,40	7,04	4,01	3,03	1,64
AC_2	41,35	48,97	35,91	13,06	7,62
AC_3	64,60	77,35	59,46	17,89	12,75
AC_4	123,24	144,38	118,52	25,86	21,14
AC_5	179,88	210,39	175,85	34,54	30,51
AC_6	191,37	223,58	187,47	36,11	32,21
32	191,74	224,72	187,83	36,89	32,98
VLV	191,73	225,38	187,79	37,59	33,65

TABLA N°28 DE RESULTADOS PARA TIEMPO DE CIERRE 15 s*

Puntos	Presión Nodo (m) (Surge)	Max. Presión (m)	Min. Presión (m)	D Presión (m)	Sobre Presión (m)
R-1	6,13	6,13	6,13	0,00	0,00
1	5,52	6,05	5,04	1,01	0,53
AC_1	5,40	6,51	4,54	1,97	1,11
AC_2	41,35	46,57	37,74	8,83	5,22
AC_3	64,60	73,36	59,86	13,50	8,76
AC_4	123,24	137,76	118,93	18,83	14,52
AC_5	179,88	200,91	176,27	24,64	21,03
AC_6	191,37	213,57	187,89	25,68	22,20
32	191,74	214,45	188,25	26,20	22,71
VLV	191,73	214,88	188,21	26,67	23,15

TABLA N°29 DE RESULTADOS PARA TIEMPO DE CIERRE 20 s*.

Puntos	Presión Nodo (m) (Surge)	Max. Presión (m)	Min. Presión (m)	D Presión (m)	Sobre Presión (m)
R-1	6,13	6,13	6,13	0,00	0,00
1	5,52	5,92	5,17	0,75	0,40
AC_1	5,40	6,25	4,81	1,44	0,85
AC_2	41,35	45,37	38,93	6,44	4,02
AC_3	64,60	71,36	60,63	10,73	6,76
AC_4	123,24	134,44	119,28	15,16	11,20
AC_5	179,88	196,12	176,61	19,51	16,24
AC_6	191,37	208,53	188,22	20,31	17,16
32	191,74	209,28	188,58	20,70	17,54
VLV	191,73	209,59	188,54	21,05	17,86

TABLA N°30 DE RESULTADOS PARA TIEMPO DE CIERRE 25 s*.

Puntos	Presión Nodo (m) (Surge)	Max. Presión (m)	Min. Presión (m)	D Presión (m)	Sobre Presión (m)
R-1	6,13	6,13	6,13	0,00	0,00
1	5,52	5,84	5,25	0,59	0,32
AC_1	5,40	6,09	4,97	1,12	0,69
AC_2	41,35	44,66	39,64	5,02	3,31
AC_3	64,60	70,19	61,83	8,36	5,59
AC_4	123,24	132,48	119,64	12,84	9,24
AC_5	179,88	193,32	176,98	16,34	13,44
AC_6	191,37	205,56	188,60	16,96	14,19
32	191,74	206,23	188,95	17,28	14,49
VLV	191,73	206,48	188,91	17,57	14,75

TABLA N°31 DE RESULTADOS PARA TIEMPO DE CIERRE 30 s*.

Puntos	Presión Nodo (m) (Surge)	Max. Presión (m)	Min. Presión (m)	D Presión (m)	Sobre Presión (m)
R-1	6,13	6,13	6,13	0,00	0,00
1	5,52	5,78	5,30	0,48	0,26
AC_1	5,40	5,98	5,07	0,91	0,58
AC_2	41,35	44,20	40,12	4,08	2,85
AC_3	64,60	69,42	62,62	6,80	4,82
AC_4	123,24	131,22	120,01	11,21	7,98
AC_5	179,88	191,53	177,40	14,13	11,65
AC_6	191,37	203,68	189,02	14,66	12,31
32	191,74	204,30	189,38	14,92	12,56
VLV	191,73	204,50	189,34	15,16	12,77

*FUENTE: ING. SOLEDAD AGUIRRE, JESSICA LOZADA

Se nombraron escenarios a las combinaciones que se dieron para la modelación, y tener un mejor entendimiento cuando se desarrolle la modelación. Estos escenarios se basaron en las cotas de deposición y piezométricas del reservorio 1, 2 y 3 para cada uno de los casos.

Como se puede observar se trabajó más con el escenario uno - tres y los diferentes tiempos de cierre en diferentes casos. Estos instantes dependían de cómo se iba a considerar el funcionamiento de la turbina, si se utiliza los dos inyectores o solo uno, que son dos fuentes de ingreso de agua a la turbina; esta demanda se le asignó como Q_M caudal medio y Q_T caudal total.

Se puede observar en cada una de las tablas que los puntos que más van a ser tomados en cuenta cuando se cierra la compuerta, son la válvula (amarillo) último nodo, el punto cercano a esta (celeste), el punto del reservorio (amarillo) y el cercano a este (celeste); se tomó en cuenta estos puntos porque son en donde el fenómeno transitorio golpe de ariete se va a presentar considerablemente o será visible su efecto.

Se ve que esta tendencia se presenta en todos los análisis sean de cortos o largos tiempos de cierre, que el máximo valor de sobrepresión es en el nodo en donde se encuentra la válvula. Se desarrolló algunos análisis para el escenario 1 – 2, pero se lo hizo más como un medio de repaso para la utilización del programa.

En el siguiente ítem se desarrollará un análisis para cada uno de los aprovechamientos hidroeléctricos escogidos para este proyecto de titulación.

5.5.- CONCLUSIONES:

- La aplicación del programa surge se enfocó en los sistemas que trabajan con flujo no permanente a presión, eso no quiere decir que no sea posible utilizar en sistema de tuberías parcialmente llenas.
- Es importante, cuando se empieza a hacer la modelación numérica tener un archivo base en el constaría el modelo a simular sin ningún tipo de variación, por ejemplo en este caso ingresado la válvula sin la programación del tiempo de cierre; ya que esto ayudara a que se agilite el trabajo.

- El flujo de salida del tanque de carga es sumergido para evitar que entre aire en la tubería a presión ya que esto puede generar problemas en toda la conducción.
- Se recomienda analizar los elementos que afectan a la tubería, desde afuera; por ejemplo los anclajes ya que de estos interfieren en el cálculo de la velocidad de onda.
- (Velocidad de onda en Dudas = 995.1 m/s). (Velocidad de onda Alazán = 944.7 m/s).

CONCLUSIONES PARA EL APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO DUDAS:

- Los resultados del análisis se han realizado comparando las presiones máximas y mínimas originadas por los transitorios hidráulicos en los nodo 1 (después del reservorio) ya que la presión en donde se encuentra ubicado el reservorio no varía y en el nodo 48 (nodo que se encuentra ubicado la válvula), para observar como varía la presión.
- Para el ingreso de datos se debe de tener como información los niveles del reservorio, las cotas en cada unión, la longitud de cada tubería, los diámetros, espesores, el material, los accesorios, si existe o no anclajes (esto afecta en el cálculo de la velocidad de onda).
- Es importante antes de programar el tiempo de cerrado de la válvula, que esta se encuentre completamente abierta y el flujo circule sin ningún problema ya que colocar este elemento no interfiere en la salida del flujo.
- Se observa en los gráficos de resultados de los transitorios hidráulicos que hasta los 60 segundos el agua fluye con normalidad, hasta que es cerrada bruscamente la válvula en los tiempos 63 segundos y 65 segundos respectivamente. Después del tiempo de cierre en los nodos 1 y nodo 48 (representativos del análisis) ocurre una variación de onda que conforme pasa el tiempo se trata de estabilizar.
- Para los escenarios 1-2 y 1-3, explicados en la sección 5.3, ensayados dentro de un mismo tiempo de cierre de válvula, se observa que los resultados de las sobrepresiones obtenidos en el nodo 1 y nodo 48 son

semejantes, observándose ligeras variaciones (ver tabla N° 0 de resultados). Esto da razón a que el análisis hecho para el escenario 1-2 no es necesario. Por eso el escenario permanece constante lo que cambia son el tiempo de cierre y los caudales.

- En función de los resultados obtenidos en el escenario 1-3 con un tiempo de duración de cierre de la válvula de 10 y 15 segundos, se observa que el nivel del espejo de agua aumenta en 31 y 4 centímetros respectivamente del nivel inicial; es decir que el nivel de agua pasa del nivel 2468.59 m.s.n.m a 2468.90 msnm en 10 s, y al nivel 2468.63 en 15 s, con lo cual se tiene una variación de la carga de agua de 6.44 metros inicial a 6.75 en 10 s y a 6.48 metros en 15 s al final, determinada con respecto al nivel del fondo del reservorio correspondiente a 2462.15 m.s.n.m.; y teniéndose una holgura en niveles de agua de 31 centímetros. esta holgura considera todos los tiempos de cierre ensayados con un caudal de 3.00 m³/s.
- Si se compara idénticos escenarios en diferentes tiempos de cierre de la válvula (3 s y 5 s), se concluye que mientras el tiempo de cierre de la válvula aumenta, se generan menores valores de sobrepresiones en los nodos analizados. Para el análisis los menores valores de sobrepresiones se obtienen para el tiempo de cierre de 5 segundos (ver tabla N°0 de resultados).
- A continuación se pueden presenta los diferentes gráficos que genera el programa que son muy útiles para observar cómo va variando el caudal, y la onda de presión durante el cierre de una válvula en cada punto. Se escogió información de algunos de los escenarios porque se considera innecesario colocar de cada uno de los modelos ensayados. La grafica uno, dos, tres y cuatro muestran información acerca de uno del ensayo hecho con el escenario 1-3 a los 10 s.
- Las gráfica uno y dos presentan la presión (kPa) vs. el tiempo en segundos. Se asume que el agua fluye normalmente hasta 60 s. y que a la válvula (nodo 48) cierre en 70 s; para un tiempo de funcionamiento total del sistema de 180 s, que es el tiempo de simulación asignado.

GRÁFICO N° 1: PRESIÓN VS. TIEMPO EN EL PUNTO 1 (DESPUÉS DEL RESERVORIO), A LOS 10 S.*

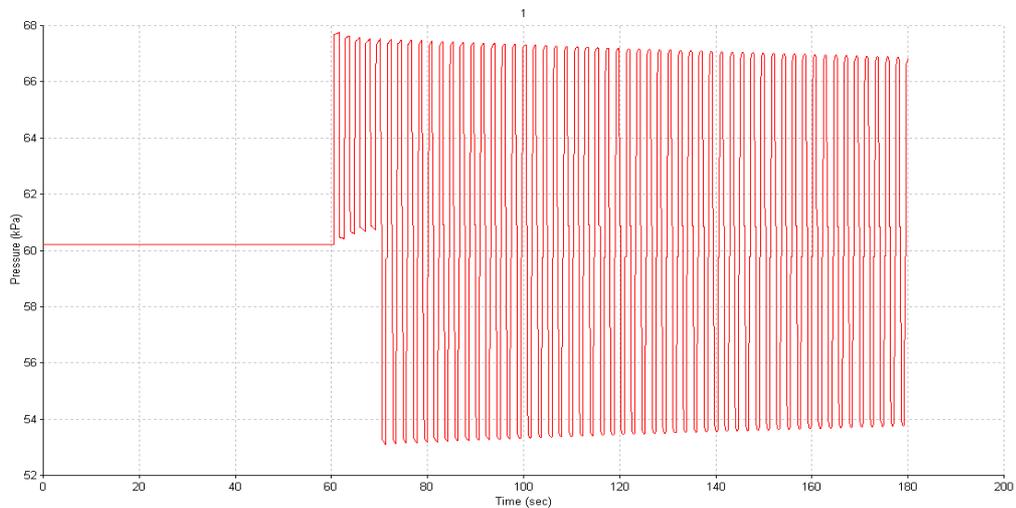
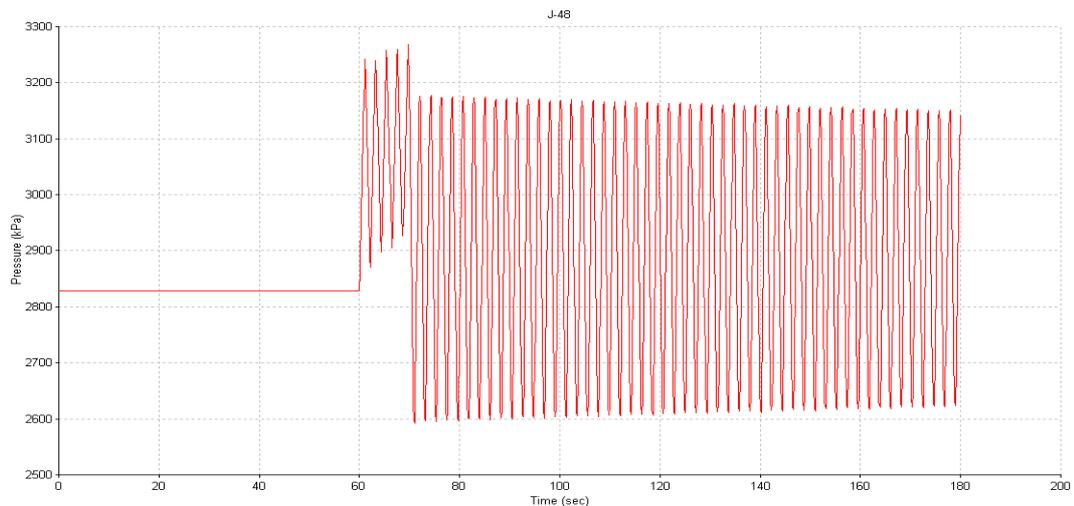


GRÁFICO N° 2: NODO 48 (NODO UBICADO AL FINAL DE LA CONDUCCIÓN SIMULADO COMO UNA VÁLVULA) A LOS 10 S.*



- El gráfico N°3 muestra que el caudal fluye normalmente durante los 60 s y empieza a disminuir hasta llegar a cero durante el tiempo en que se cierra la válvula que en este caso es de 10 s porque, al cerrar la válvula el orificio de salida va disminuyendo al igual que el caudal que sale, hasta llegar al punto de que se cierra totalmente y no puede salir el caudal. El caudal es negativo porque el programa asigna de esa manera al caudal que está saliendo.

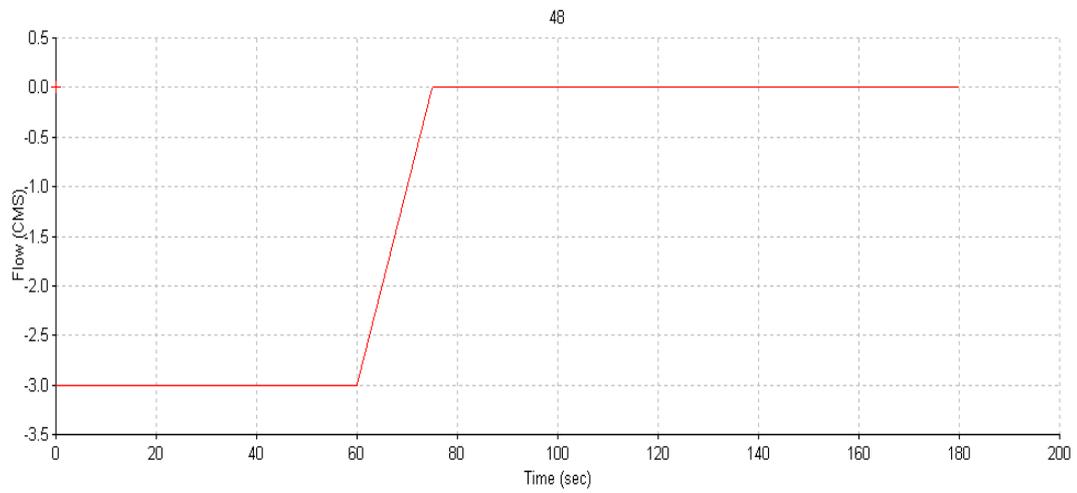
GRÁFICO N° 3: ESTE GRÁFICO ES DEL CAUDAL (m^3/s) VS. TIEMPO (s)*

GRÁFICO N° 4: GRAFICA QUE MUESTRA LA VARIACIÓN DE LA LÍNEA HGL *

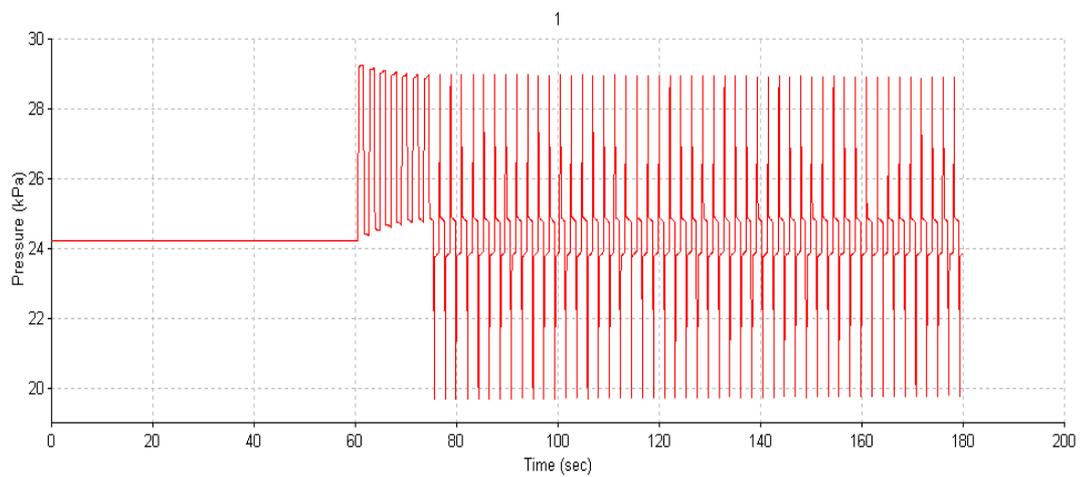


GRÁFICO N° 5: PRESIÓN VS. TIEMPO EN EL PUNTO 1 (DESPUÉS DEL RESERVORIO), A LOS 15 s.*

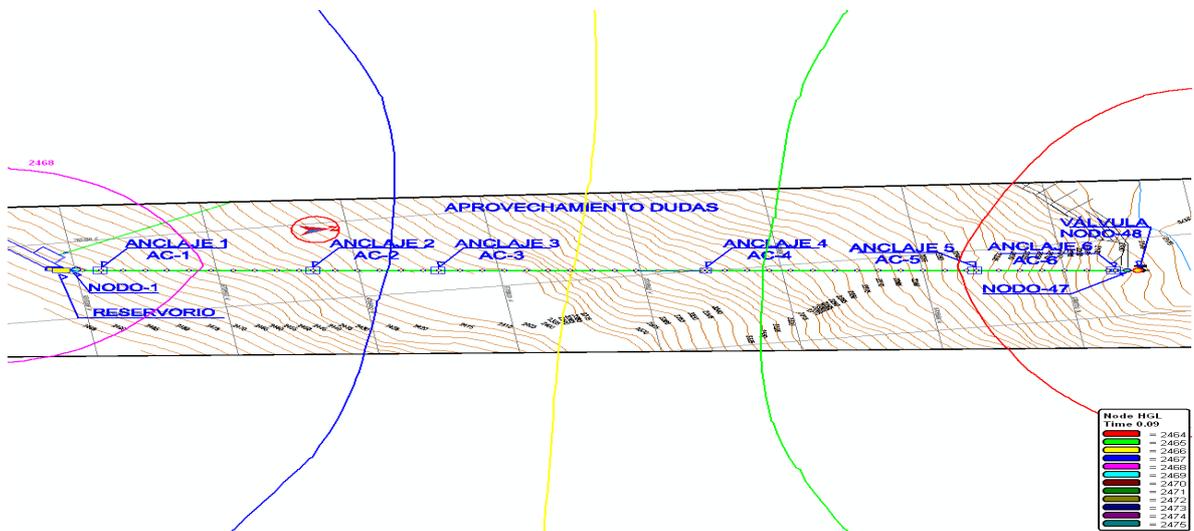
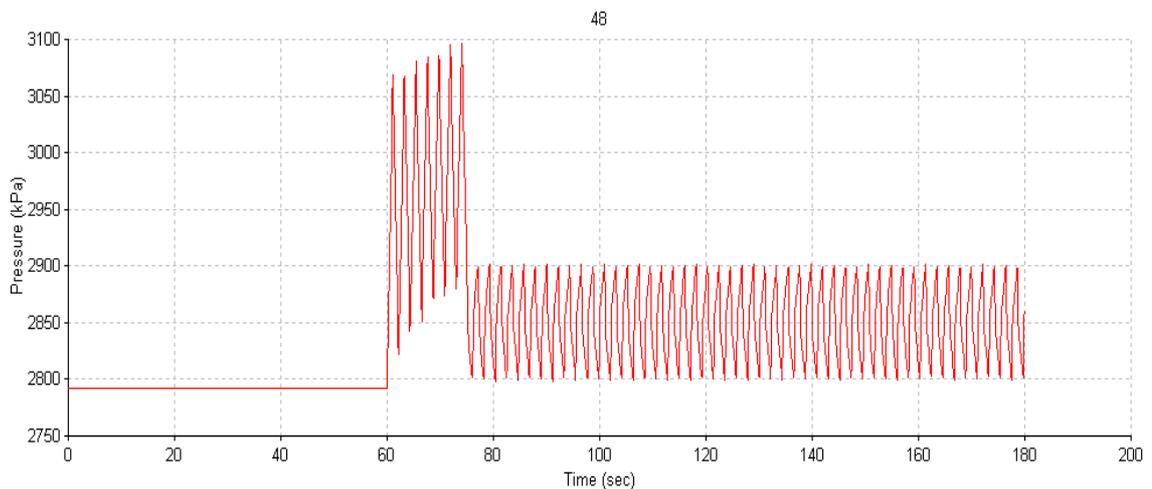


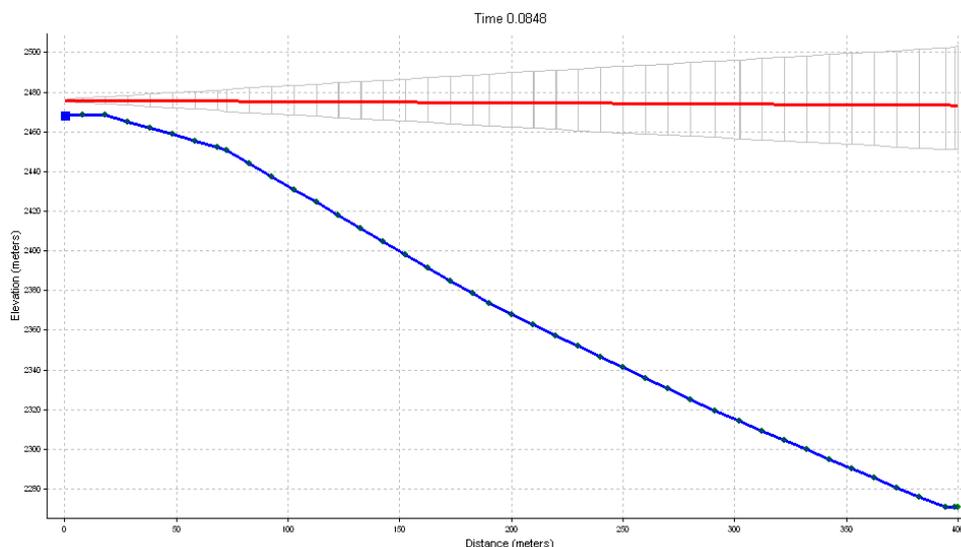
GRÁFICO N° 6: NODO 48 (NODO UBICADO AL FINAL DE LA CONDUCCIÓN SIMULADO COMO UNA VÁLVULA) A LOS 15 s.*



*FUENTE: PROGRAMA SURGE 2008 - RESULTADO

- Desde el momento en que se empieza a cerrar la compuerta las ondas tienen mayor amplitud que las ondas que se genera después de la válvula ya completamente cerrada, estas se empiezan a uniformizar e ir disminuyendo.

GRÁFICO N° 7: NODO 48 NODO UBICADO AL FINAL DE LA CONDUCCIÓN SIMULADO COMO UNA VÁLVULA) A LOS 15 s.*



- Al comparar los mismos escenarios 1-3, el mismo caudal de $3.00 \text{ m}^3/\text{s}$, y un tiempo de cierre de 10 s y 15 s, se puede ver como indica el gráfico N°6 que la máxima sobrepresión es menor que en los 10 s, como indica en el gráfico 2. Y como muestra en las tablas N° 6 y N° 7, todos los nodos considerados tienen esa misma tendencia.
- En el gráfico 4 se puede observar una vista en planta de todo el esquema del modelo y unas líneas de colores que muestran en que rango se encuentran las presiones para cada uno de los nodos ingresados.
- Si se compara el escenario 1-3, con el caudal medio de $1.50 \text{ m}^3/\text{s}$, con los diferentes tiempos de cierre de 1, 2, 3, 4 y 5 s se puede observar que donde se genera el mayor efecto es el nudo en donde se encuentra la válvula y en el tiempo 1 s del cierre de la válvula como se observar en la Tabla N° 1. El efecto de sobrepresión es mayor en estos menores tiempos de cierre; por ejemplo en el nudo 48 la presión máxima para 1s es 487.47 m como se puede ver en la tabla N°1, y para los 5 s es 335.01 m como se puede ver en la tabla N°5.
- Si se sigue la comparación con el mismo escenario pero con los resultados obtenidos en la modelación para un caudal de $3.00 \text{ m}^3/\text{s}$, con los diferentes tiempos de cierre de 10, 15, 20, 25, y 30 s, tiene la misma tendencia que los

valores anteriores pero con la gran diferencia de que la sobrepresión que se genera es mucho menor.

- Es importante observar que la conducción y los anclajes son los que mayormente soportan esta sobrepresión que se genera, ya que la sobre elevación que recibe o disipa el tanque está entre los rangos de 0.26 a 0.80 m; siendo el menor cuando se cierra la válvula en 30 s; como se indica en la Tabla N° 10.
- En conclusión el tiempo de cierre de una válvula debe de ser lo mayor posible para evitar complicaciones en todo el sistema, la válvula, la conducción - anclajes y el reservorio.

CONCLUSIONES PARA EL APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO ALAZÁN:

- Los resultados del análisis se han realizado comparando las presiones máximas y mínimas originadas por los transitorios hidráulicos en el nodo 1 (punto ubicado después del reservorio) y en el nodo 38 (el punto en donde se encuentra ubicado la válvula).
- Se observa en los gráficos de resultados de los transitorios hidráulicos que hasta los 60 s. el agua fluye con normalidad, hasta que es cerrada bruscamente la válvula en los tiempos 70 segundos y 75 segundos respectivamente. Después del tiempo de cierre en los nodos 1 y nodo 38 (representativos del análisis) ocurre una variación de onda que conforme pasa el tiempo se trata de estabilizar.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en el escenario 1-2 con un tiempo de duración de cierre de la válvula de 10 s se observa que el nivel del espejo de agua se eleva en 4 cm del nivel inicial; es decir que el espejo de agua pasa del nivel 2472.00 m.s.n.m al nivel 2472.04, con lo cual se tiene una variación de la carga de agua de 4.18 m inicial a 4.22 m final, determinada con respecto al nivel del fondo del reservorio correspondiente a 2467.82 m.s.n.m.

- De acuerdo a los resultados obtenidos en el escenario 1-3 con un tiempo de duración de cierre de la válvula de 10 s, se observa que no existe una variación en el nivel del espejo de agua; ya que la presión máxima obtenía en el nodo 1 tiene el mismo valor a la carga de agua en el reservorio que correspondiente al valor de 8.14 m.
- En función de los resultados obtenidos en el escenario 1-3 con un tiempo de duración de cierre de la válvula de 15 s, se observa que el nivel del espejo de agua disminuye en 18 cm del nivel inicial; es decir que el espejo de agua pasa del nivel 2475.96 m.s.n.m al nivel 2475.78 , con lo cual se tiene una variación de la carga de agua de 8.04 m inicial a 7.86 m final, determinada con respecto al nivel del fondo del reservorio correspondiente a 2467.82 m.s.n.m.; y teniéndose una holgura en niveles de agua 40 cm esta holgura considera todos los tiempos de cierre ensayados con un caudal de 3.60 m³/s.
- En función de los resultados obtenidos en el escenario 1-2 como medio de información con un tiempo de duración de cierre de la válvula de 15 s, se observa que el nivel del espejo de agua disminuye en 18 cm del nivel inicial; es decir que el espejo de agua pasa del nivel 2472.00 m.s.n.m al nivel 2471.82, con lo cual se tiene una variación de la carga de agua de 4.00 m inicial a 4.18 m final, determinada con respecto al nivel del fondo del reservorio correspondiente a 2467.82 m.s.n.m.; y teniéndose una holgura en niveles de agua de 18 cm.
- Mientras el tiempo de cierre de la válvula aumenta, se generan menores valores de sobrepresiones en los nodos analizados. Para el análisis los menores valores de sobrepresiones se obtienen para el tiempo de cierre de 15 s.

GRÁFICO N° 8: PRESIÓN VS. TIEMPO EN EL PUNTO 1 (DESPUÉS DEL RESERVORIO), A LOS 10 s.*

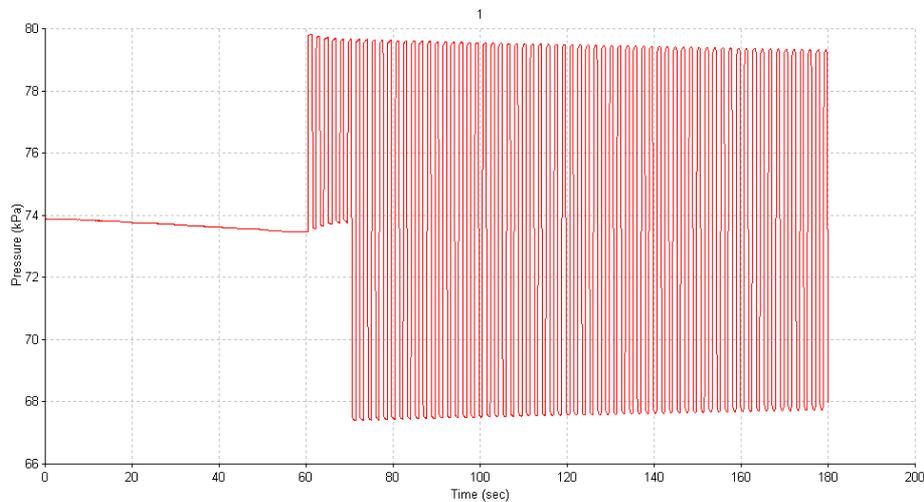
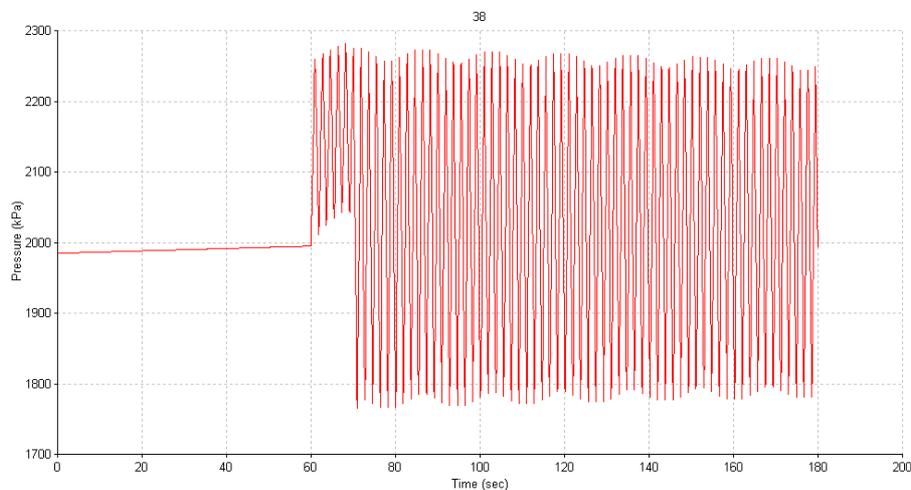


GRÁFICO N° 9: NODO 38 NODO UBICADO AL FINAL DE LA CONDUCCIÓN SIMULADO COMO UNA VÁLVULA) A LOS 10 s.*



- El gráfico N° 8 y N° 9 se muestra como va variando la presión en el punto 1 que es el que se encuentra después del reservorio y el punto de la válvula. Se puede observar que durante los 60 primeros s no hay ningún problema en el flujo, pero desde el momento que se empieza a cerrar la válvula surgen las sobrepresiones, en el nodo 1 menor que el 38, ya cuando la compuerta de la válvula está completamente cerrado, la onda empieza a uniformizarse y a disminuir.

GRÁFICO Nº 10: GRAFICA QUE MUESTRA LA VARIACIÓN DE LA LÍNEA HGL*

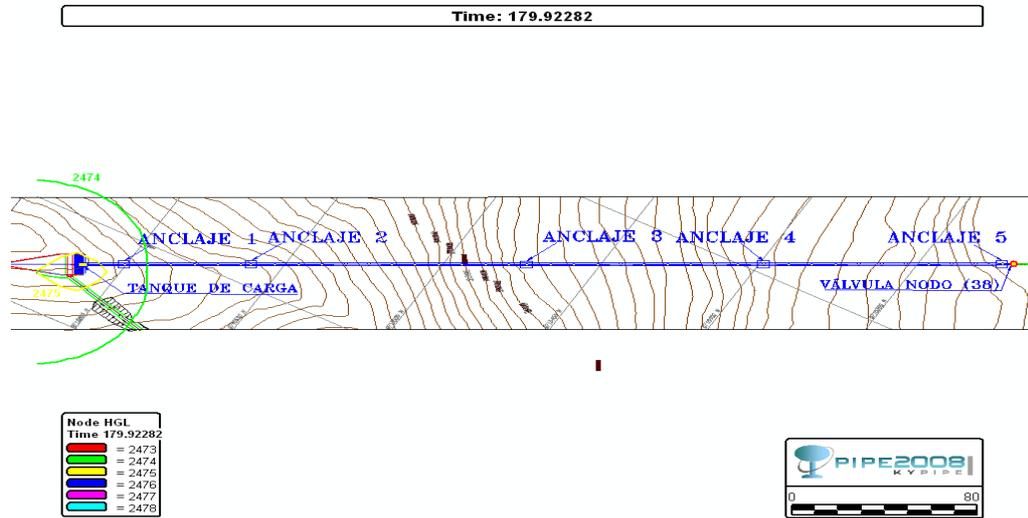


GRÁFICO Nº11: PERFIL DE LA CONDUCCIÓN Y LA LÍNEA DE ENERGÍA*

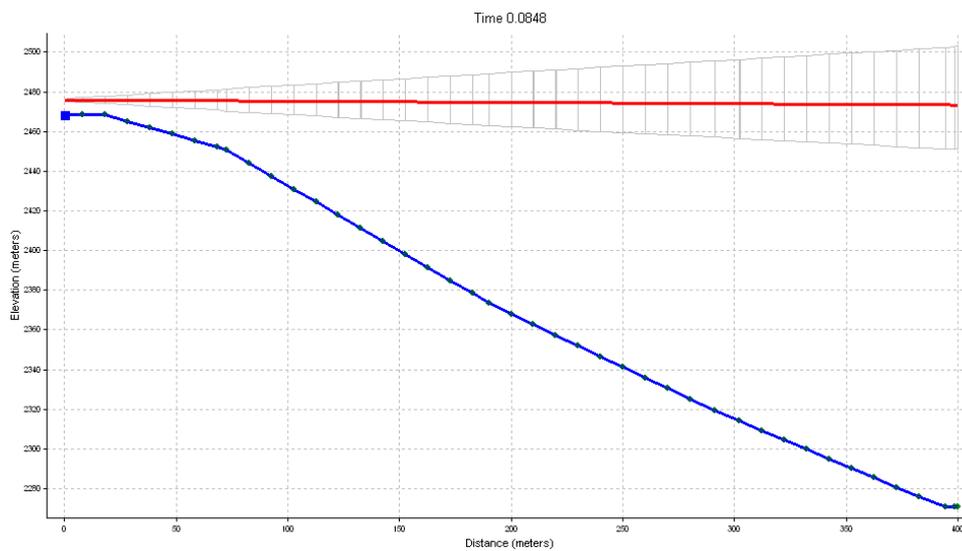


GRÁFICO N° 12: PRESIÓN VS. TIEMPO EN EL PUNTO 1 (DESPUÉS DEL RESERVORIO), A LOS 15 s.*

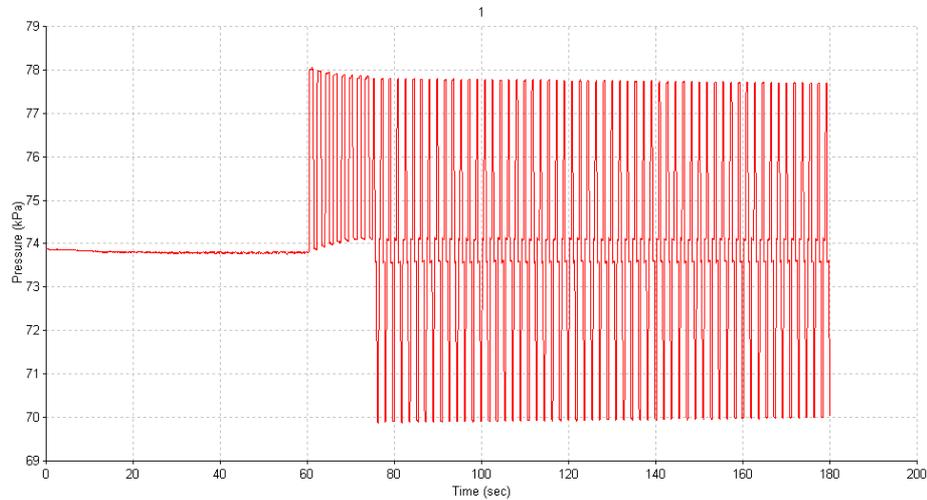
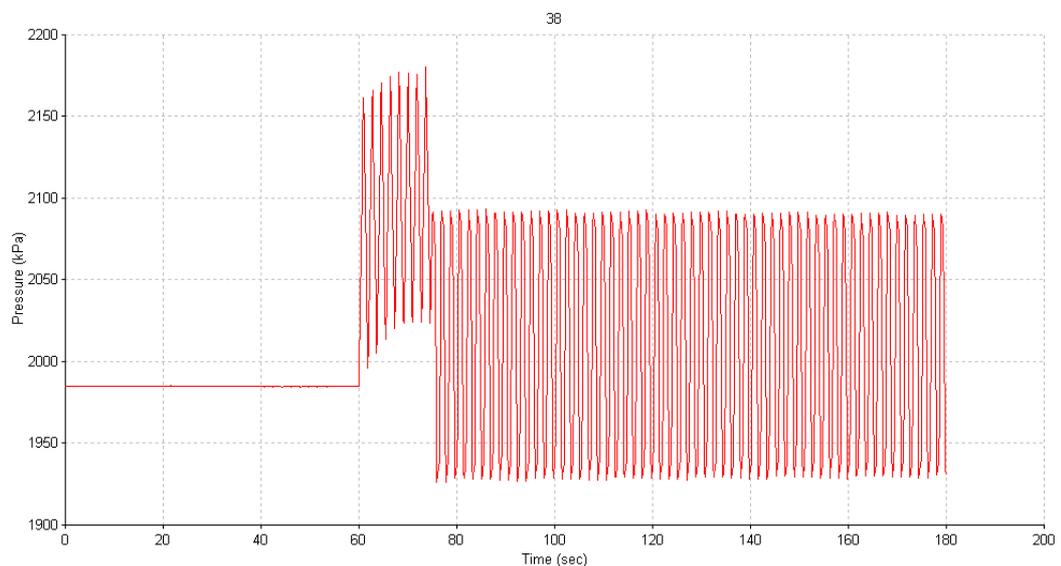


GRÁFICO N° 13: NODO 38 NODO UBICADO AL FINAL DE LA CONDUCCIÓN SIMULADO COMO UNA VÁLVULA A LOS 15 s.*



*FUENTE: PROGRAMA SURGE 2008 - RESULTADOS

- Al comparar los mismos escenarios 1-3, el mismo caudal de $3.60 \text{ m}^3/\text{s}$, y un tiempo de cierre de 10 s y 15 s, se puede ver como indica el gráfico N°9 que la máxima sobrepresión es mayor que en los 10 s que en los 15 s, como

indica en el gráfico N°12 y 13. Y como muestra en las tablas N° 15 y N° 16, todos los nodos considerados tienen esa misma tendencia.

- Otra característica que hay que considerar es que las ondas en que la oscilación de onda son mucho más pequeñas cuando el tiempo de cierre es mayor que cuando es menor.
- En el gráfico 10 se observa una vista en planta de todo el esquema del modelo y unas líneas de colores que muestran en que rango se encuentran las presiones para cada uno de los nodos ingresados. Pero como el tiempo en el que se generó el gráfico es mayor se empieza a uniformizar la carga en todo los nodos.
- Si se compara el escenario 1-3, con el caudal medio de $1.80 \text{ m}^3/\text{s}$, con los diferentes tiempos de cierre de 1, 2, 3, 4 y 5 s se puede observar que donde se genera el mayor efecto es el nudo en donde se encuentra la válvula y en el tiempo 1 s del cierre de la válvula como se puede observar en la Tabla N° 11. El efecto de sobrepresión es mucho mayor en estos menores tiempos de cierre; por ejemplo en el nudo 38 la presión máxima para 1s es 344.00 m como se puede ver en la tabla N°11, y para los 5 s es 232.39 m como se puede ver en la tabla N°14.
- Si se sigue la comparación con el mismo escenario pero con los resultados obtenidos en la modelación para un caudal de $3 \text{ m}^3/\text{s}$, con los diferentes tiempos de cierre de 10, 15, 20, 25, y 30 s, tiene la misma tendencia que los valores anteriores pero con la gran diferencia de que la sobrepresión que se genera es mucho menor.
- El gráfico 12 ayuda a revisar si los datos ingresados de las elevaciones no pierden la tendencia, también se observa la línea de energía que tiene el sistema.
- Es importante observar que la conducción y los anclajes son los que mayormente soportan esta sobrepresión que se genera, ya que la sobre elevación que recibe o disipa el tanque está entre los rangos de 2.65 m a 0.40 m; siendo el menor cuando se cierra la válvula en 30 s; como se indica en la Tabla N°19.

- En conclusión el tiempo de cierre de una válvula debe de ser lo mayor posible para evitar complicaciones en todo el sistema, en la válvula, la conducción - anclajes y el reservorio.

CONCLUSIONES PARA EL APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO SAN ANTONIO:

- Los resultados del análisis se han realizado comparando las presiones máximas y mínimas originadas por los transitorios hidráulicos en el nodo 1 (nodo ubicado después del tanque de carga), nodo 32 (el nodo ubicado cerca de la válvula) y en la válvula (nodo en donde está ubicada la válvula).
- El agua fluye con normalidad hasta los 60 s, una vez que es cerrada bruscamente la válvula en los tiempos 61, 62, 63, 64, 65, 70, 75, 80, 85 y 90 segundos respectivamente, en todos ocurre una variación de onda que conforme pasa el tiempo se trata de estabilizar.
- A continuación se pueden presentar los diferentes gráficos que genera el programa que son muy útiles para observar cómo va variando el caudal, y la onda de presión durante el cierre de una válvula. Se escogió información de alguno de los escenarios porque se considera innecesario colocar de cada uno de los modelos ensayados. Se mostrara gráficos con los ensayos de caudal medio y el caudal total.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en el escenario 1-3 con un tiempo de duración de cierre de la válvula de 10 s se observa que el nivel del espejo de agua se eleva en 18 cm del nivel inicial; es decir que el espejo de agua pasa del nivel 2251.98 m.s.n.m al nivel 2252.16, con lo cual se tiene una variación de la carga de agua de 6.13 m inicial a 6.31 m final, determinada con respecto al nivel del fondo del reservorio correspondiente a 2245.85 m.s.n.m.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en el escenario 1-3 con un tiempo de duración de cierre de la válvula de 10 s, se observa que no existe una variación en el nivel del espejo de agua; ya que la presión máxima obtenía en el nodo 1 tiene el mismo valor a la carga de agua en el reservorio que correspondiente al valor de 6.31 m, es por eso que se toma de referencia a los valores obtenidos en el punto 1.

- En función de los resultados obtenidos en el escenario 1-3 con un tiempo de duración de cierre de la válvula de 15 s, se observa que el nivel del espejo de agua disminuye en 8 cm del nivel inicial; es decir que el espejo de agua pasa del nivel 2251.98 m.s.n.m al nivel 2251.90 , con lo cual se tiene una variación de la carga de agua de 6.13 m inicial a 6.05 m final, determinada con respecto al nivel del fondo del reservorio correspondiente a 2245.85 m.s.n.m.
- De los resultados obtenidos se observa que mientras el tiempo de cierre de la válvula aumenta, se generan menores valores de sobrepresiones en los nodos analizados. Para el análisis los menores valores de sobrepresiones se obtienen con tiempos de cierre mayores o iguales 15 s. También que la onda tiene mayor amplitud cuando el tiempo de cierre es pequeño como se ve en el gráfico N° 14.

GRÁFICO N° 14: PRESIÓN VS. TIEMPO EN EL PUNTO 1 (DESPUÉS DEL RESERVORIO), A LOS 1 s.*

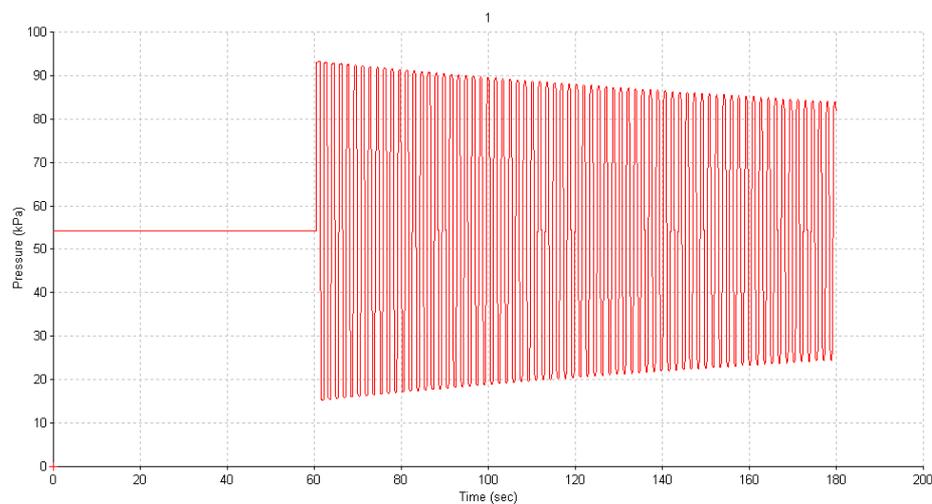
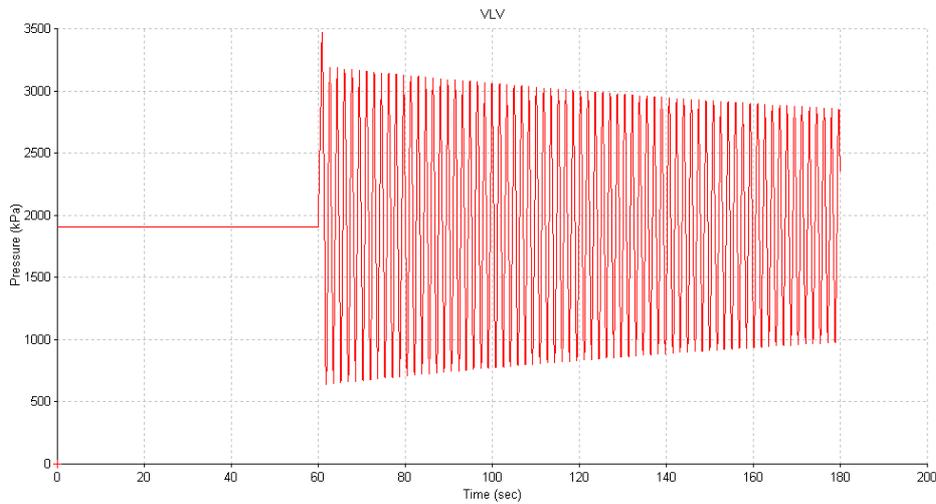


GRÁFICO N° 15: NODO 32 NODO UBICADO AL FINAL DE LA CONDUCCIÓN SIMULADO COMO UNA VÁLVULA) A LOS 1 s.*



- El gráfico N°16 muestra que el caudal de $2.20 \text{ m}^3/\text{s}$ fluye normalmente durante los 60 s y empieza a disminuir hasta llegar a cero durante el tiempo en que se cierra la válvula que en este caso es de 10 s porque, al cerrar la válvula el orificio de salida va disminuyendo al igual que el caudal que sale, hasta llegar al punto de que se cierra totalmente y no puede salir el caudal. El caudal es negativo porque el programa asigna de esa manera al caudal que está saliendo.

GRÁFICO N° 16: ESTE GRÁFICO ES DEL CAUDAL (m^3/s) VS. TIEMPO (s)*

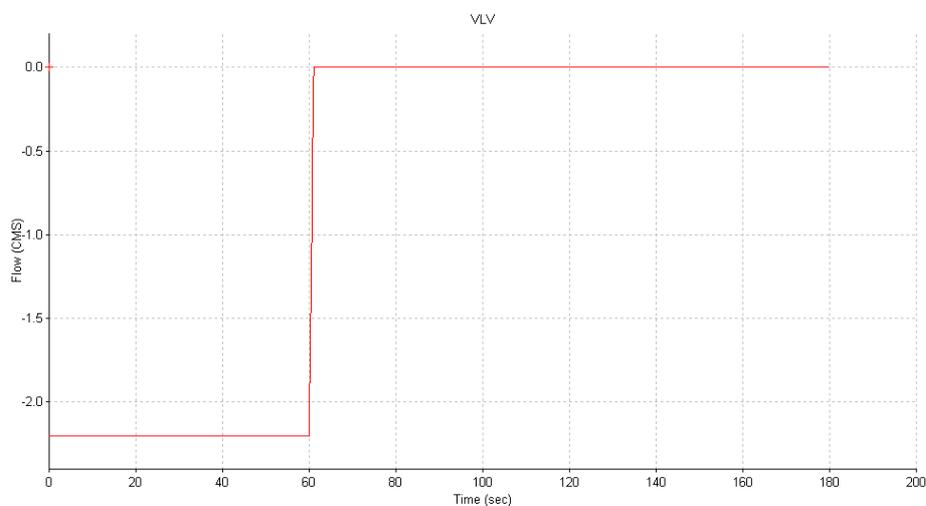


GRÁFICO Nº 17: PERFIL DE LA CONDUCCIÓN Y LA LÍNEA DE ENERGÍA*

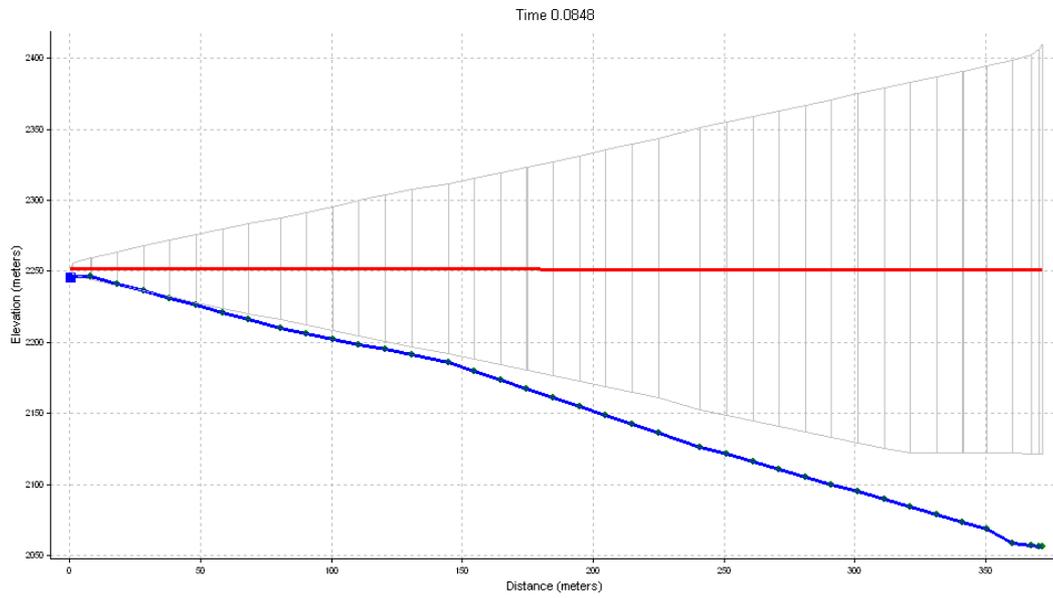


GRÁFICO Nº 18: PRESIÓN VS. TIEMPO EN EL PUNTO 1 (DESPUÉS DEL RESERVORIO), A LOS 5 s.*

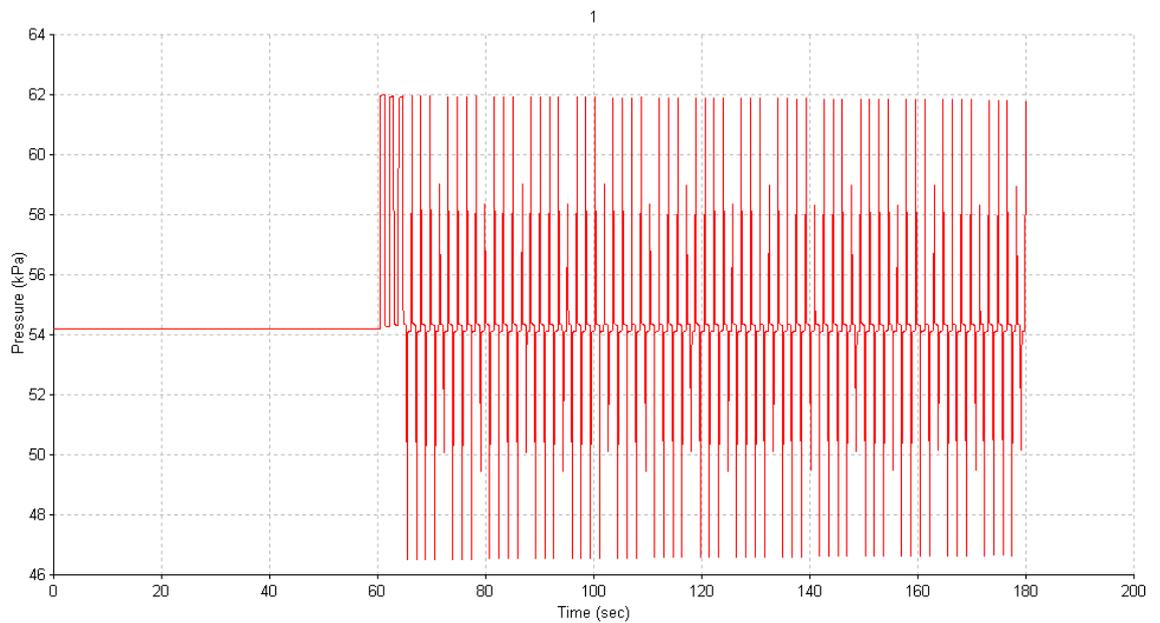


GRÁFICO N° 19: NODO 32 NODO UBICADO AL FINAL DE LA CONDUCCIÓN SIMULADO COMO UNA VÁLVULA) A LOS 5 s.*

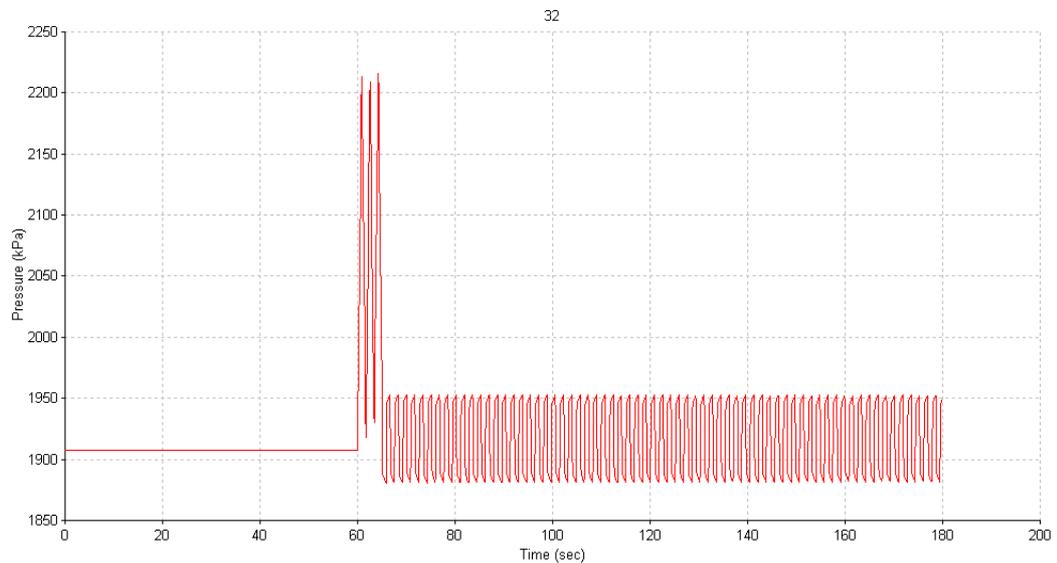
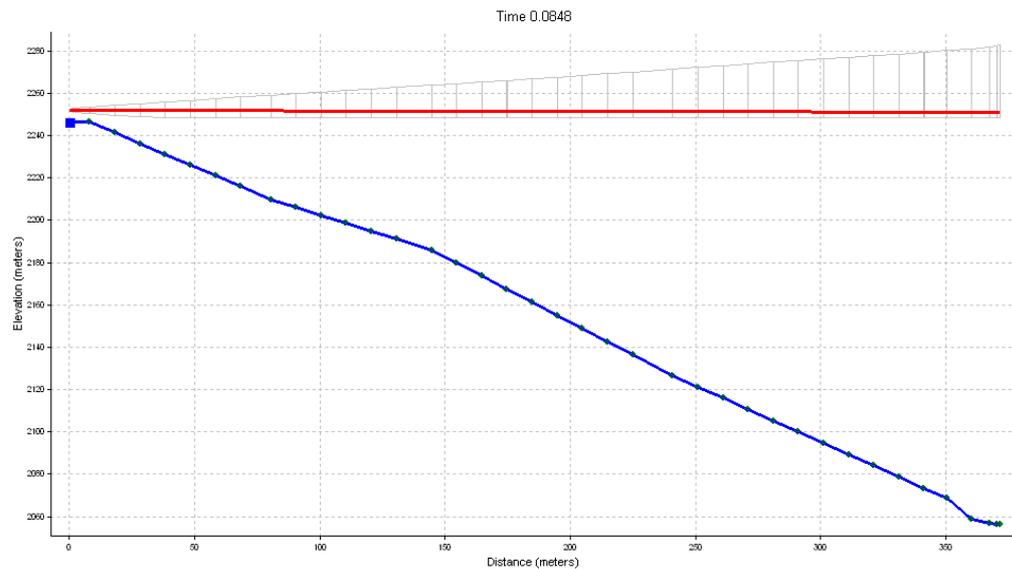


GRÁFICO N° 20: PERFIL DE LA CONDUCCIÓN Y LA LÍNEA DE ENERGÍA EN 5 s*



- De acuerdo a los resultados obtenidos en el escenario 1-3 con un tiempo de duración de cierre de la válvula de 1 s se observa que el nivel del espejo de agua se eleva en 3.38 m del nivel inicial; es decir que el espejo de agua pasa del nivel 2251.98 m.s.n.m al nivel , 2255.36 con lo cual se tiene una variación de la carga de agua de 6.13 m inicial a 9.51 m final, determinada con respecto al nivel del fondo del reservorio correspondiente a 2245.85 m.s.n.m.

GRÁFICO N° 21: PRESIÓN VS. TIEMPO EN EL PUNTO 1 (DESPUÉS DEL RESERVORIO), A LOS 10 s.*

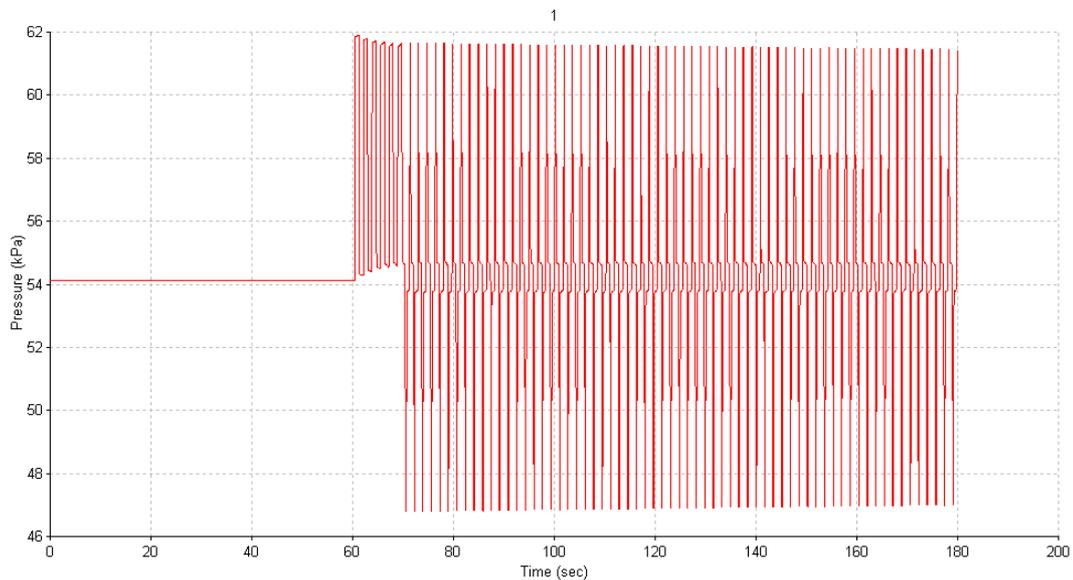
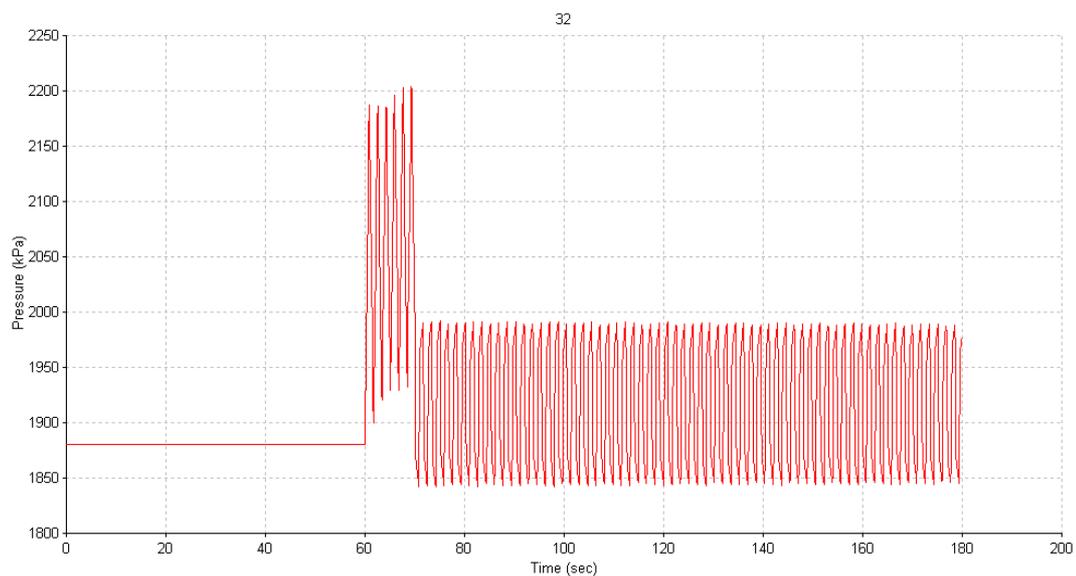


GRÁFICO N° 22: NODO 32 NODO UBICADO AL FINAL DE LA CONDUCCIÓN SIMULADO COMO UNA VÁLVULA) A LOS 10 s.*



- El gráfico N°23 muestra que el caudal fluye normalmente durante los 60 s y empieza a disminuir hasta llegar a cero durante el tiempo en que se cierra la válvula que en este caso es de 10 s porque, al cerrar la válvula el orificio de salida va disminuyendo al igual que el caudal que sale, hasta llegar al punto

de que se cierra totalmente y no puede salir el caudal. El caudal es negativo porque el programa asigna de esa manera al caudal que está entrando.

GRÁFICO Nº 23: ESTE GRÁFICO ES DEL CAUDAL (m³/s) VS. TIEMPO (s)*

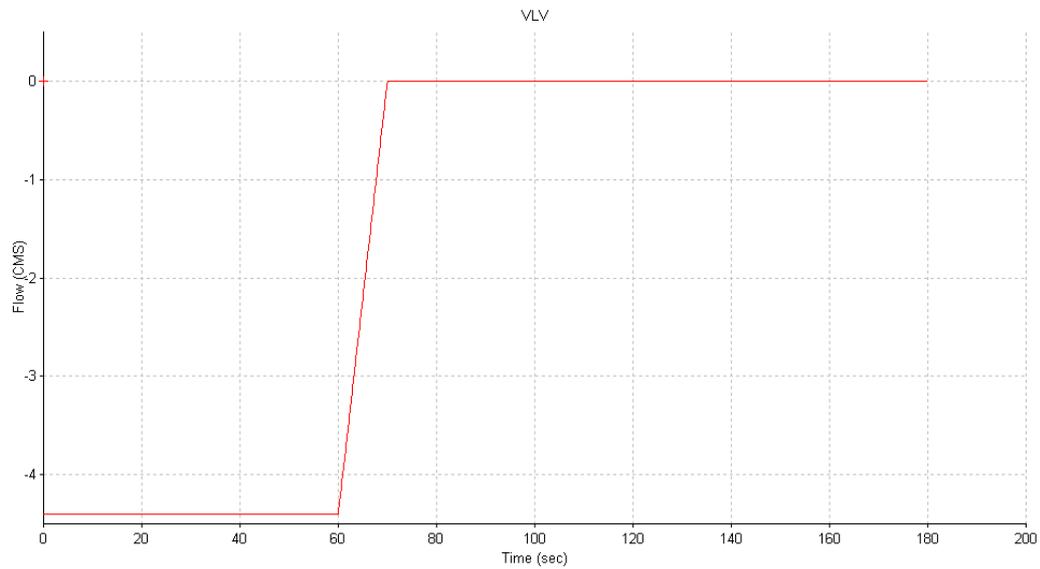


GRÁFICO Nº 24: PERFIL DE LA CONDUCCIÓN Y LA LÍNEA DE ENERGÍA*

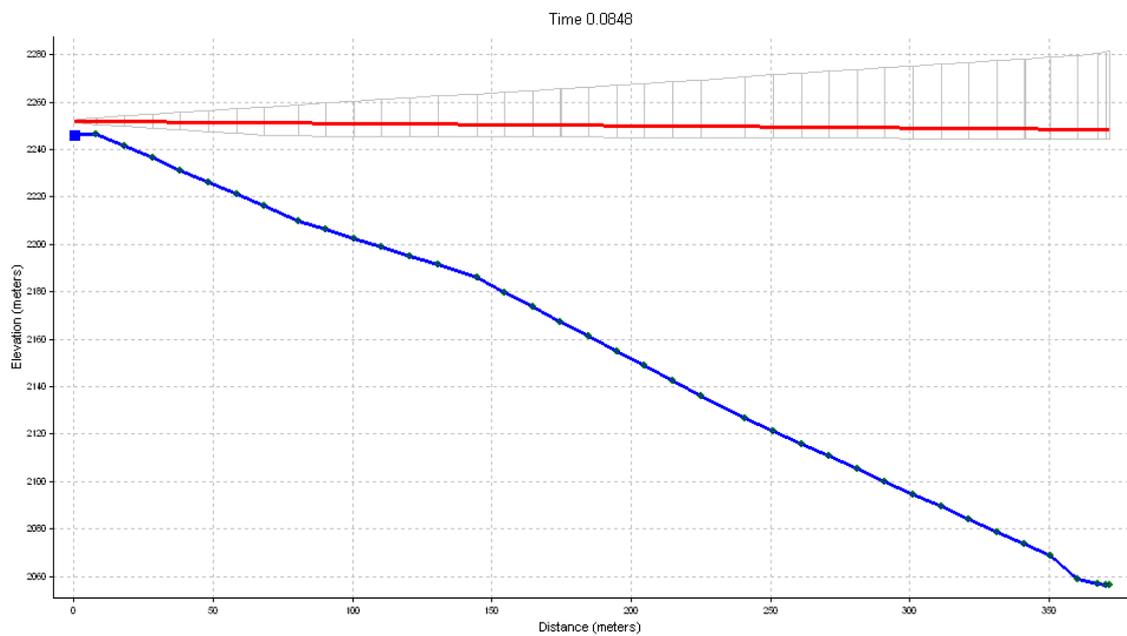


GRÁFICO N° 25: PRESIÓN VS. TIEMPO EN EL PUNTO 1 (DESPUÉS DEL RESERVORIO), A LOS 30 s.*

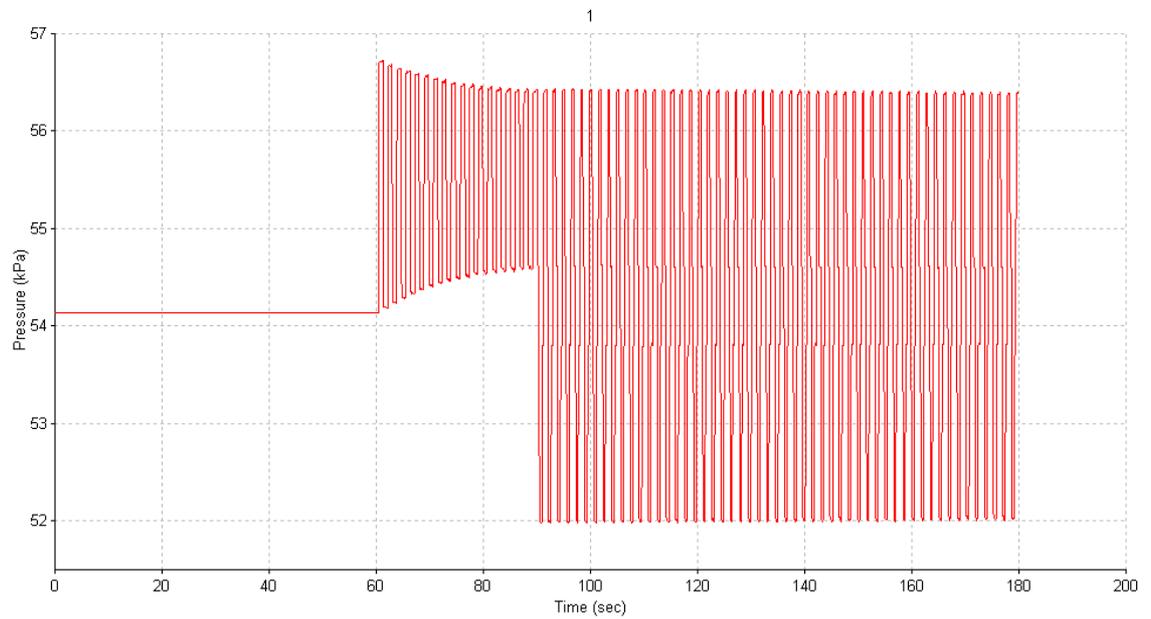


GRÁFICO N° 26: NODO 32 (NODO UBICADO AL FINAL DE LA CONDUCCIÓN SIMULADO COMO UNA VÁLVULA) A LOS 30 s.*

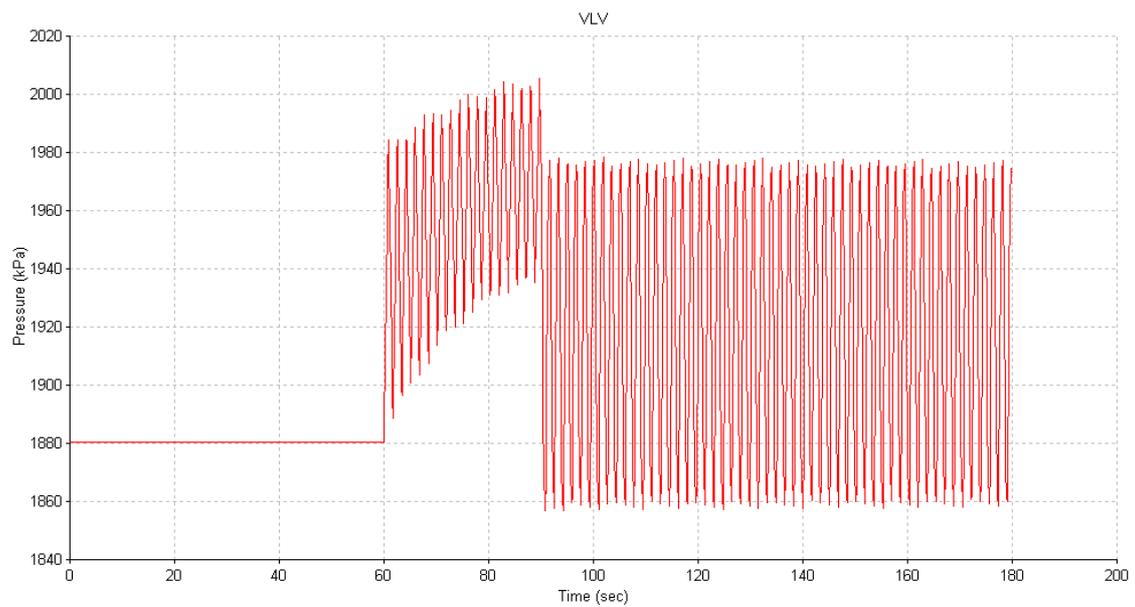
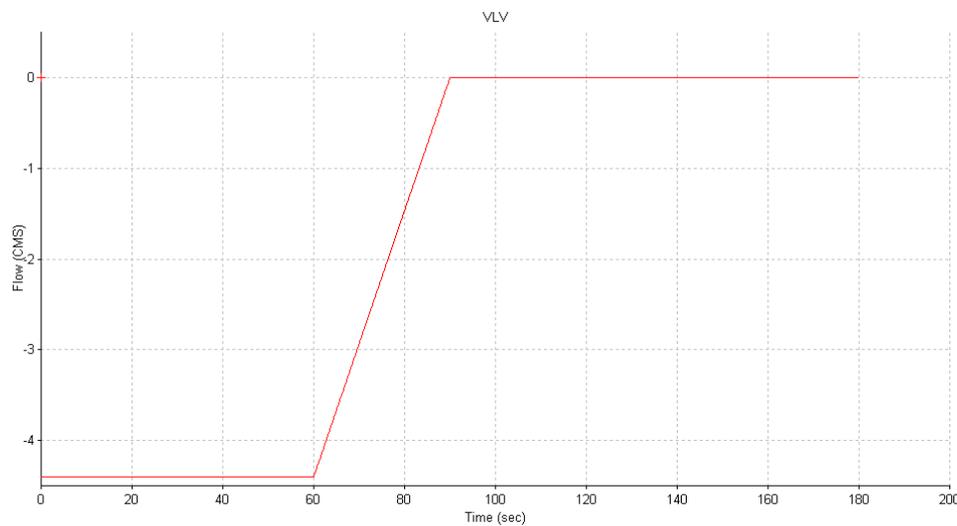
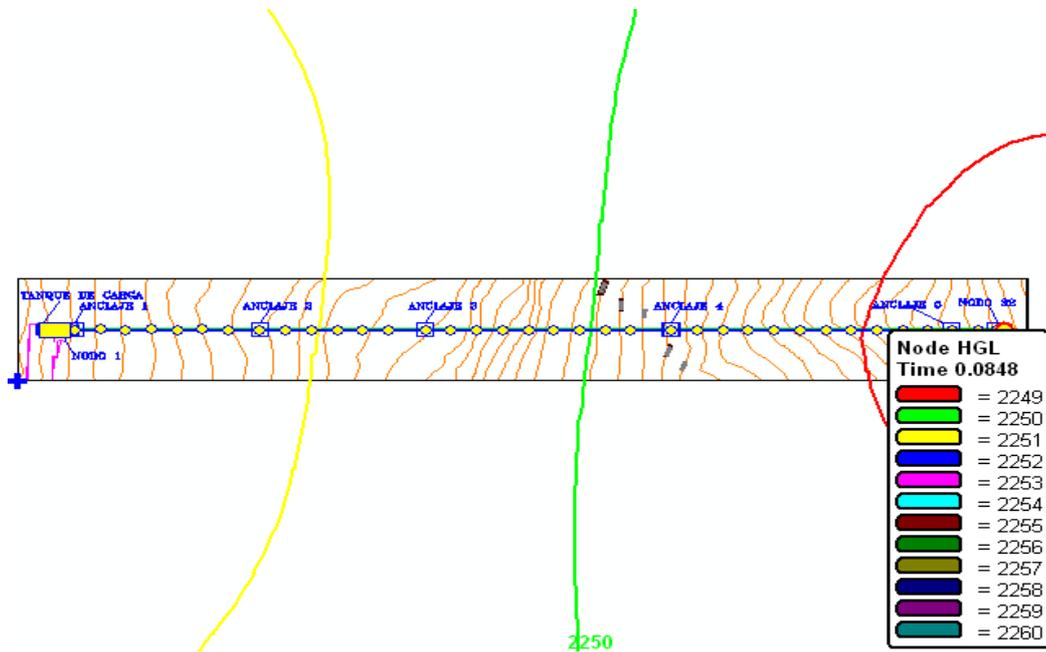


GRÁFICO N° 27: ESTE GRÁFICO ES DEL CAUDAL (m^3/s) VS. TIEMPO (s)*

*FUENTE: PROGRAMA SURGE 2008- RESULTADOS

- El gráfico N°27 muestra que el caudal de $4.40 m^3/s$ fluye normalmente durante los 60 s y empieza a disminuir hasta llegar a cero durante el tiempo en que se cierra la válvula que en este caso es de 30 s porque, al cerrar la válvula el orificio de salida va disminuyendo al igual que el caudal que sale, hasta llegar al punto de que se cierra totalmente y no puede salir el caudal.
- Se puede ver que al comparar los gráficos N°16 y N° 26, se puede ver que en el caso uno las va disminuyendo con el tiempo, en cambio en el cierre de válvula de 30 s aparentemente después del cierre de la válvula las ondas son mas uniformes, y esto se puede deber a que como el tiempo de cierre es más largo da tiempo a que se equilibre el sistema.
- Se puede ver que el sistema de mas longitud es el Dudas por esa razón al comparar el sistema que tiene mayor sobrepresión en un tiempo de cierre de 1 s es, el aprovechamiento Dudas porque es el sistema que tiene mayor caída bruta y es el más largo.
- Es importante por eso desarrollar un adecuado análisis de las tuberías a presión y de los ensayos para que las consideraciones que se las haga sea la mejor.

GRÁFICO N° 28: GRAFICA QUE MUESTRA LA VARIACIÓN DE LA LÍNEA HGL*



FUENTE: PROGRAMA SURGE 2008 – RESULTADOS

- El gráfico nos muestra que los nodos se encuentran divididos en cuatro partes o zonas en que la energía está en el rango de valores mayores a 2251.00 m, de 2251.00 – 2250.00 m, la tercera entre 2250.00.00 y 2249 m y la cuarta valores cercanos a 2249.00 m, y nos da una idea de cuánta energía va variando.

CAPÍTULO 6

GUÍA PARA LA EJECUCIÓN DE LA PRACTICA DOCENTE EN EL LABORATORIO DEL DICA

6.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FÍSICO Y DE LA SOLUCIÓN NUMÉRICA

El problema físico en cualquier sistema que funcione con tuberías a presión son los transitorios hidráulicos en este caso el principal es el fenómeno del golpe de ariete, por ejemplo se tiene un tanque de carga, tuberías que funcionan a flujo lleno, y la casa de máquinas (la válvula se encuentra como un elemento adicional de la casa de máquinas) que funciona como control del sistema aguas abajo.

El agua fluye normalmente y en cualquier instante puede ocurrir alguna situación en que sea necesario cerrar la válvula, por ejemplo cuando haya una tormenta eléctrica cerca de las antenas de transmisión, algún incendio, algún daño en el sistema, etc., se necesita que se corte el flujo en ese instante. En el momento de cerrar la válvula se empieza a generar una onda de regreso en que afecta al sistema en forma de sobrepresión.

Para analizar este fenómeno primero se debe de tener claro que el golpe de ariete va a ocurrir en flujo no permanente, por eso es necesario conocer algunas ecuaciones diferenciales fundamentales que ayudaran a desarrollar este análisis de mejor manera, y estas son la ecuación de cantidad de movimiento y de la energía. Como son ecuaciones tienen algunas variables que son muy difíciles de desarrollar que solo personas muy bien capacitadas en el tema la pueden desarrollar y aun así es muy complicado, por eso con ayuda de este programa nos facilita totalmente analizar numéricamente este fenómeno.

El programa nos exige insertar los principales datos como, la ecuación para las pérdidas de carga por fricción, las elevaciones, su altura de agua en el caso del reservorio, las características de la tubería, la velocidad de onda, las válvulas y su variación de apertura.

La solución numérica que nos da el programa se observa a través de un archivo que se crea automáticamente y nos muestra a través de tablas y gráficos, las tablas indican las presiones máximas o mínimas, en cada uno de los elementos del sistema. Se puede ver gráficos ilustrativos que muestran la distribución de energía en el sistema, observar el gráfico de la onda de presión como va variando en función del tiempo en cada uno de los puntos.

6.2 CONDICIONES HIDRÁULICAS PARA LA ENTRADA Y PARA LA SALIDA DE LA APLICACIÓN CON EL MODELO SURGE

Para esta aplicación las condiciones hidráulicas que se utilizan son:

Para la entrada y para la salida:

- * La ecuación que se debe de escoger para el calcula de las perdidas es la de Darcy Weisbach.
- * La densidad del flujo que se va a utilizar en este caso el agua es 1 ton/m³.
- * El tiempo de simulación debe de ser el adecuado, porque se sugiere que se programe el tiempo de cierre de una válvula después de 1 minuto, para que sea como medio de revisión que el flujo este corriendo adecuadamente sin ninguna variación.
- * Otra característica importante es que se debe de escoger en las características de la demanda la opción fixed demand que es la opción en donde se debe de asignar la demanda según el elemento que lo necesite.
- * El cálculo de la velocidad de onda depende del material, espesor y el diámetro de la tubería, este cálculo lo hace con el propio programa utilizando la ecuación indicada en el capítulo II, también es posible utilizar el grafico que se encuentra en el manual denominado velocidad de onda de presión en tuberías. (El grafico está compuesto por las curvas de cada material, en el eje y la velocidad de onda de presión en (pies/s) en el eje x la relación entre el diámetro interno de la tubería con el espesor, se ingresa desde el eje x y choca el valor con la curva del material y sale con el valor de la velocidad de onda).

* Para cada uno de los elementos se debe de asignar ciertos valores que son muy importantes para la modelación:

Para el reservorio: los datos que necesitan son la cota de posición y el valor de la cota pizométrica.

Para la conducción (para cada tubería): Es necesario asignar el diámetro el nomina por que existen elementos en los que la variación del espesor es interna o externa, tipo de material, y los respectivos coeficientes de rugosidad.

Para la válvula: se debe de especificar el tipo, pero en todas se debe de asignar la posición, el coeficiente de apertura que se asignan en porcentajes, y el radio inicial que es el valor con que empieza a funcionar el sistema, uno si está completamente abierta y cero si está cerrada. Existe una tabla en la que es posible programar el tiempo de cerrado de la válvula, por ejemplo la válvula está abierta por 60 s, a partir de ese momento se empieza a cerrar en un tiempo asignado de 5 s.

Existen otras condiciones en cada uno de los elementos para este caso se indica los que se utilizaron en la modelación de los aprovechamientos hidroeléctricos. Si se desea asignar cualquier otro tipo de elemento se recomienda revisar el manual del programa surge.

6.3 GUÍA PARA EL ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS CON EL MODELO NUMÉRICO

Como se puede observar en cualquiera de los ensayos desarrollados, los resultados se encuentran como archivos adicionales, que se los puede pasar a cualquiera de los programas de escritura frecuentemente usados.

Al reporte se lo puede dividir en cuatro partes (estos ensayos se los encuentra en el CD adjunto):

- 1.- Informativo
- 2.- Datos del sistema
- 3.- Datos de la línea de segmentos (datos de cada tubería)

- 4.- Datos de los componentes (características)
- 5.- Datos de cada nudo
- 6.- Datos de la variable
- 7.- Resumen de las condiciones iniciales para cada segmento (tubería)
- 8.- Tabla de resultados

Esta es una breve descripción de resultados que emite el programa, si se desea tener una explicación más clara de estos puntos se debe de ingresar al programa al menú herramientas.

Para el análisis de resultados se debe hacer:

- Buscar los puntos en donde se considere que el sistema se encuentre mayormente afectado (por ejemplo los anclajes, reservorio, y válvulas; como ya se describió anteriormente).
- Desarrollar una tabla en la que contenga los nombres de los puntos, la presión inicial en cada uno de esos nudos, la sobrepresión máxima y mínima.
- La siguiente tabla muestra el proceso que se desarrollo tomando los resultados de la modelación del surge, para cada uno de los aprovechamiento en cada uno de los ensayos.

TABLA N°1: TABLA DESCRIPTIVA DEL PROCESO DE ANÁLISIS

$$Q_1 = Q_M$$

$$t_1 = 1, 2, 3, 4, 5 \text{ s}$$

Puntos	Presión inicial	Máxima Presión	Mínima Presión	Variación de Presión	Sobrepresión
n	a	a+x	a+y	x-y	x
n+1	b	b+x	b+y	x-y	y

FUENTE: JESSICA LOZADA

TABLA N°2: TABLA DESCRIPTIVA DEL PROCESO DE ANÁLISIS

$$Q_2 = Q_T$$

$$t_2 = 15, 20, 25, 30 \text{ S}$$

Puntos	Presión inicial	Máxima Presión	Mínima Presión	Variación de Presión	Sobrepresión
n	a	a+x	a+y	x-y	x
n+1	b	b+x	b+y	x-y	y

FUENTE: JESSICA LOZADA

En donde:

Q_M = caudal medio

Q_T = caudal total

t_n = tiempo en que está programada el cierre de la válvula

La simulación se debe hacer con un caudal y un tiempo de cierre.

Desarrollando la tabla se tornara más fácil el análisis de las presiones en cada uno de los puntos, se recomienda hacer estas tablas para diferentes tiempos y poder comparar y observar que sucede.

6.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS NUMÉRICOS Y PLANTEAMIENTO DE CONSULTA ADICIONAL.

Como ya se indico anteriormente los resultados que se van a revisar son, las posiciones en cada uno de los puntos críticos por ejemplo para este caso analizado en el proyecto de titulación, son; el punto donde se encuentra ubicada la válvula, cada uno de los codos (es en donde se encuentran ubicados los anclajes), y el reservorio, de cada uno de estos puntos se debe de analizar las perdidas, los valores de presión máxima y mínima. También es muy conveniente observar el gráfico de caudal vs. Tiempo, carga piezométrica vs. Tiempo como van variando, ya que es fuente de ayuda para el análisis.

Como se puede observar en general los valores más importante es la variación que existe de presión en los puntos escogidos, ya que esos nos sirven para

redimensionar alguno de los elementos o para ingresar algún elemento que ayude a la disipación de la sobrepresión que se genera al cerrar la válvula. Estos elementos pueden ser como fuente de consulta que no es muy conocido en el medio.

Pero en general se debe de analizar las zonas que se consideren más críticas, en donde haya mayor efecto de las ondas de presión.

Como consultas adicionales podemos variar las características de la tubería, los parámetros del tiempo de cierre de la válvula para ver qué sucede, los valores del nivel del reservorio. O desarrollar el cálculo de las pérdidas por fricción en alguno de los tramos y comparar con los valores obtenidos con el programa.

La práctica mencionada se encuentra como parte de los anexos del presente capítulo.

6.5 CONCLUSIONES:

- Lo que más se va a revisar en el archivo de resultados son los valores de la demanda, el tiempo de simulación, el valor de la presión máxima en cada punto, que deben de ser consecuentes con los datos que se ingrese.
- Es importante mencionar que el análisis que se hizo al los resultados que genera el surge es muy básico, y solo se toma mayor consideración a la presión en cada punto.
- Se debe de mencionar que con ayuda del fenómeno transitorio se puede estudiar de mejor manera el flujo no permanente ya que estos muestran o hacen que las características del flujo sean más notorias con el transcurso del tiempo.
- Esta guía es como un medio informativo de cómo modelar especialmente un aprovechamiento hidroeléctrico, como se puede ver en los anexos se presenta el desarrollo de una práctica simple y sencilla para el mejor entendimiento.
- La interpretación de los resultados se explico con claridad cómo se desarrollo en los capítulos anteriores, por eso este análisis es una sugerencia que se hace para observar si algunos de los elementos necesitan un rediseño.

- Se debe de conocer los datos en función de las características que se utilicen en el medio, por ejemplo las unidades y las ecuaciones que se utilicen para el cálculo.
- Es importante mencionar que muchos de los resultados que genera el programa no son conocidos en este nivel de estudio por eso se recomienda, seguir un curso del programa o un post grado en el cual se da una explicación más profunda.
- Es necesario tener un claro conocimiento del problema físico para hacer un mejor ingreso de datos e interpretar de una manera adecuada los resultados, y de esa manera poder generar unas buenas soluciones al problema físico.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

- Es importante siempre conocer los conceptos, parámetros básicos necesarios que se necesita para hacer un estudio o análisis matemático adecuado y según la necesidad del proyecto. Ya que de esa manera los valores obtenidos para el análisis serán los más aproximados a la realidad.
- La elección del material y diámetro óptimo para un aprovechamiento hidroeléctrico, van unidos al diseño y los aspectos económicos; porque es uno de los rubros más costosos que componen el proyecto; por eso se pone especial cuidado y énfasis en el análisis para escoger un diámetro adecuado. También hay que tomar en cuenta que mucho influye donde va a ser desarrollado, por ejemplo si es un lugar accesible o no, si es un suelo adecuado para la construcción, etc.
- El tanque de carga dispone de un volumen de agua para cubrir los requerimientos de las turbinas durante un aumento brusco de la demanda de energía, manteniendo o restableciendo inmediatamente la estabilidad del sistema.
- La velocidad del flujo de un líquido en un conducto cerrado lleno es muy inferior a la velocidad de propagación de la onda de presión dentro de la tubería cuando ocurre el fenómeno de golpe de ariete.
- La velocidad de desplazamiento de una onda de presión a través de un fluido depende de la densidad del fluido, del modulo de elasticidad del agua y de las características del contorno.
- El programa Surge es un programa que modela flujos permanente y no permanente en conductos cerrados que viajan a presión y libres, el método

que utiliza el programa se base en el método de las características, ya que este tiene la facilidad de ingresar elementos adicionales como las válvulas; este método utiliza un sin número de ecuaciones y trata de buscar la respuesta resolviendo las diferentes ecuaciones diferenciales; en cambio el método que se desarrollo en el programa surge se basa en conocer el fenómeno que ocurre y partiendo de eso busca la solución, de esa manera las ecuaciones se reducen totalmente.

- El método de las características fue originalmente desarrollado para resolver problemas transitorios en canales con lentos movimientos de ondas de presión (comparados con la rápida velocidades de onda en conductos cerrados) y que cuando se aplica el método MOC a los conductos cerrados es ineficiente, porque necesita desarrollar un sin número de cálculos, por ejemplo con el método WCM se demora 1 minuto en cambio con el método MOC se demora 45 minutos en desarrollar algún tipo de modelación.
- Con ayuda del programa surge se puede observar los efectos de sobrepresión a lo largo de la tubería y componentes; y estos resultados nos ayuda a buscar la mejor solución en el que el sistema se vea lo menos afectado por los fenómenos transitorios.
- Se puede observar que los puntos que se encuentran más cerca a la válvula son los más afectados con el efecto de la sobrepresión, la onda se va transmitiendo a lo largo de la tubería hasta llegar al punto o elemento que ayude a la disipación de esa sobre presión.
- Este programa tiene la facilidad de mostrar el gráfico de presión vs. Tiempo, caudal vs. Tiempo, esquemas en donde se puede ver las líneas de presión estática, HGL, y otros., que nos ayuda a desarrollar un mejor análisis.
- En los tres aprovechamientos hidroeléctricos se escogió el tiempo de simulación de 180 s, para poder observar de mejor manera el funcionamiento del sistema.

- Como se puede ver en los gráficos en el capítulo cinco, donde muestra que durante los 60 s el agua fluye normalmente, a partir de ese instante en que empieza a cerrarse la válvula ocurre una variación de presión brusca, que para los tiempos cortos es muy alta y para los tiempos largos menor; que después de cierto tiempo trata de estabilizarse.
- El analizar este tipo de proyectos ayuda a tener una idea más clara de lo que sucede en tuberías a presión, porque en mucho de los casos los fenómenos que ocurren en estos sistemas son simplemente mencionados y no muy profundizados.
- El programa Surge es muy interesante que con el tiempo ha ido mejorando y fenómenos como el golpe de ariete ahora pueden ser analizados y entendidos sin ningún problema.
- El golpe de ariete es un fenómeno que desarrollarlo de una manera manual lo hace imposible de entender, que gracias a la creación de los programas computacionales han hecho posible entender.
- Es de vital importancia siempre tener el claro que son los fenómenos transitorios, en especial el golpe de ariete, ya que el programa que se utilizo se basa principalmente en los resultados que genera el golpe de ariete (la onda de presión) en todo el sistema.
- El programa Surge se ha ido haciendo más amigable y más fácil de comprender, a pesar de que entender en que se basa el programa es un poco más complicado.
- El análisis de los Aprovechamientos Hidroeléctricos Dudas, Alazán y San Antonio, ayudaron a dar a conocer el programa surge y la gran utilidad que este tiene para los proyectos en los que dentro de sus elementos tiene tuberías a presión.
- Es necesario siempre considerar en el diseño de un aprovechamiento el dimensionamiento del diámetro y el material de la tubería, y los diferentes parámetros ya que este elemento en el proyecto es uno de los rubros más costosos y podría afectar al desarrollo de la obra.
- Para utilizar el programa Surge es necesario conocer, una breve reseña del programa, los conceptos básicos de la hidráulica, adicionalmente conocer

un concepto básico de lo que es el golpe de ariete, cuando se genera y cada una de las características principales de los elementos que se van a ingresar para la modelación.

- Es importante tener el uso del programa muy claro ya que si los datos no son ingresados correctamente, o están mal interpretados esto generaría grandes equivocaciones que podrían afectar al proyecto.
- Los aprovechamientos Hidroeléctricos tiene algunas componentes, y el presente proyecto de titulación se enfocó principalmente en el análisis de la zona en donde cumplía con estos requerimientos.
- Cada uno de Las figuras 1,2, 3 muestra un esquema de cada uno de los elementos el reservorio, los anclajes, y la válvula, las líneas de colores son los rangos en donde están ubicados los nodos y tener una idea más clara de su posición y si la interpretación de los datos fue bien lograda.
- El análisis de los aprovechamientos hidroeléctricos se lo desarrollo cuando se presenten las condiciones hidráulicas más críticas del sistema.
- Los tres aprovechamientos hidroeléctricos fueron ingresados como se indica a seguir en unos esquemas generales para cada uno de los tres aprovechamientos
- Se recomienda que para un ensayo correcto conocer los claramente los datos y las unidades que se van a utilizar, para que no se obtengan resultados errados o no sea posible modelar, por ejemplo en el caso del diámetro se lo debe de asignar en mm, pero por confusión ingresa en m, y eso puede afectar de que se genere algún error en la modelación.

GRÁFICO N°1: APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO DUDAS*

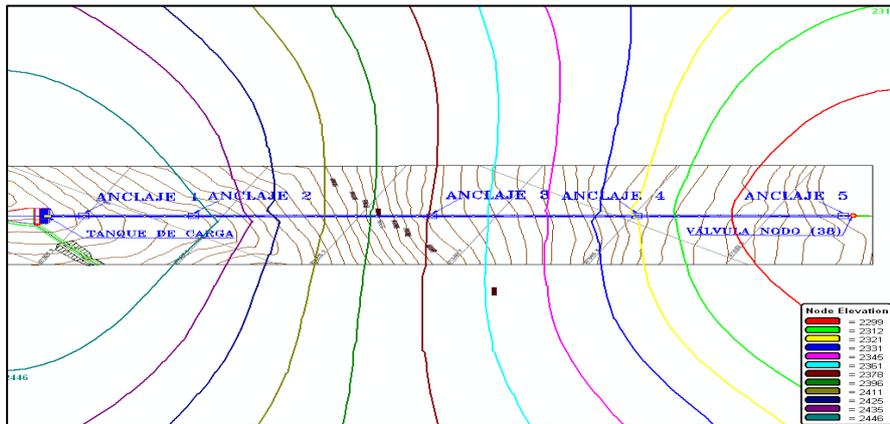


GRÁFICO N° 2: APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO ALAZÁN*

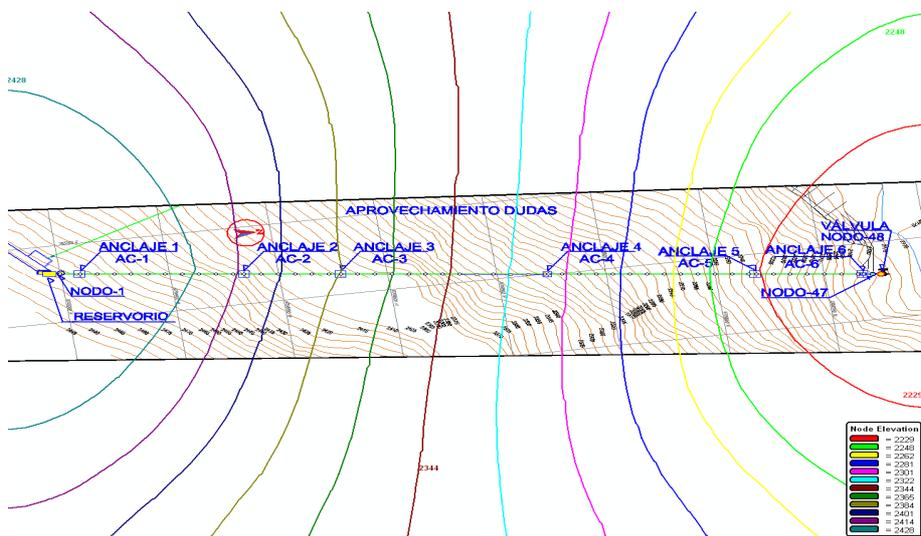
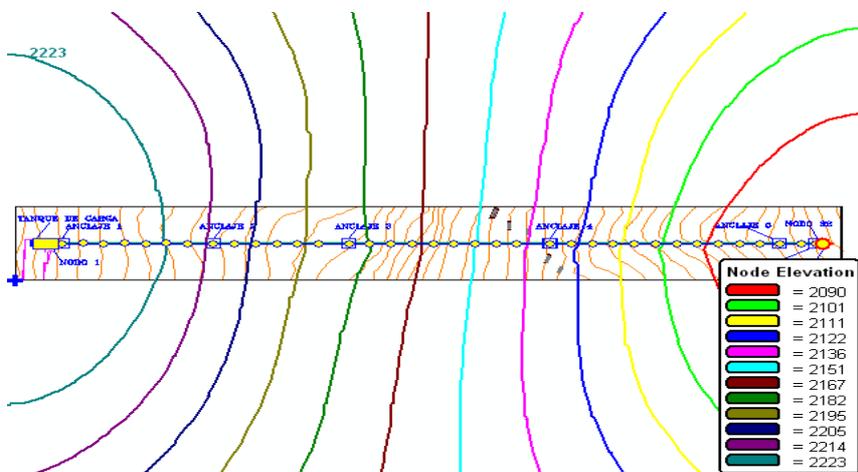


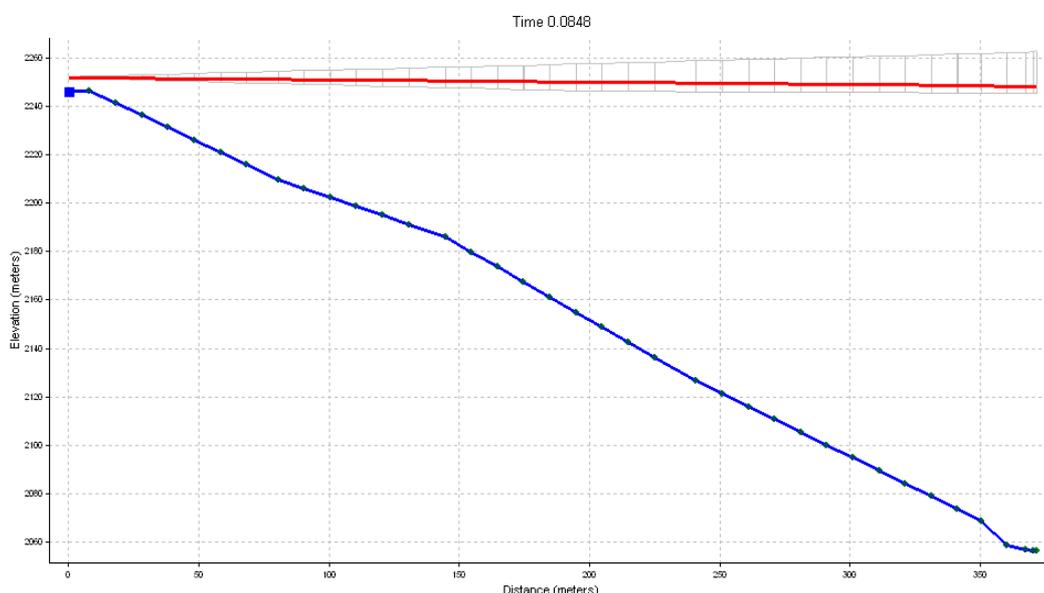
GRÁFICO N°3: APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO SAN ANTONIO*



FUENTE: PROGRAMA SURGE 2008 - RESULTADOS

- Para cada uno de los Aprovechamientos Hidroeléctricos se hizo un informe, que está compuesto de una descripción rápida del programa, como se hizo la modelación y algunas tablas de resultados que muestran la información que se necesita para cada uno de los casos requeridos.
- Se puede revisar también si se hizo una correcta modelación, después de cada ensayo el grafico de elevación vs. Tiempo, ya que de esa manera se puede chequear si se ingreso los datos correctamente y la línea de energía. Por ejemplo en el Aprovechamiento Hidroeléctrico San Antonio se muestra en la figura a continuación

GRÁFICO N° 4: ELEVACIÓN (METROS) VS. TIEMPO (SEGUNDOS)*



*FUENTE: GRAFICO GENERADO POR EL PROGRAMA SURGE 2008

- Se recomienda que la enseñanza de este programa este incluida en las materias de pregrado de una manera básica, ya que esto generaría inquietud y curiosidad en el tema y con el tiempo mejoraría el diseño de las conducciones a presión.
- A continuación se muestra los informes para cada uno de los aprovechamientos que está compuesto por información del programa, como fue desarrollado el ensayo y tabla de resultados con sus conclusiones.

BIBLIOGRAFÍA:

- Abreu J. Guarga R., "Transitorios Y Oscilaciones En Sistemas Hidráulicos A Presión", Edit, 1994
- Merritt F. Kurtz M., "Guía Del Ingeniero Civil", Edit McGraw-Hill, 1989
- Hidrozogues S.A., Proyecto Hidroeléctrico Mazar - Dudas, Aprovechamiento Dudas, Alazán y San Antonio, Bases, Normas Y Criterios De Diseño, 2009.
- Ing. Gissela Dalgo, Diseño de tuberías a presión para el Proyecto Hidroeléctrico Mazar Dudas - Aprovechamientos Hidroeléctricos Dudas, Alazán, y San Antonio, 2009.
- Hidrozogues S.A., Selección Del Tipo De Turbinas Hidráulicas,
- Dr. Wood And Etal., Users Guide Surge For pipe 2008.
- Naudascher, E., Castro, M.: "*Hidráulica De Canales*", Limusa-Noriega Editores, Méjico, 2000.
- Becerril E., Hidrodinámica, Capitulo Xxvi, Pag. 615 - 629
- Streeter V., Mecánica De Fluidos, 1977
- Ilyinykh I., Hidroelectric Station
- Guevara M., Flujo A Presión, [Http://Atenea.Unicaucaedu.Co/Hdulica/Fpresión.Pdf](http://Atenea.Unicaucaedu.Co/Hdulica/Fpresión.Pdf)
- United States Department of the Interior, USBR.: "*Design of Small Canal Structures*", A Water Resources Technical Publication, Denver, Co., 1974
- Rouse, H.: "*Engineering Hydraulics*", McGraw Hill Ed., 1950
- Rouse, H.: "*Selected Writings*", McGraw Hill Ed., 1975
- Rouse, H.: "*Mecánica de los Fluidos para Ingenieros Hidráulicos*", McGraw Hill Co., New York 1960.
- Rouse, H.: "*Hidráulica*", McGraw Hill Co. Ed., New York 1950.
- Domínguez, F.: "*Hidráulica*", Santiago de Chile, 1950.
- ASCE, Journal of the Hydraulics División, Proceedings and Monographs. Información obtenible desde el Internet.

- Gomez Navarro: *“Diseño de Saltos y Presas de Embalse”*, Ed. McGraw Hill, New York – Bogotá, 1953.
- Saldarriaga, J.: *“Hidráulica de Acueductos”*, Ed. McGraw Hill, New York – Bogotá, 2003.
- Memorias de los Congresos Mundiales y Latinoamericanos de la Asociación Internacional de Investigaciones Hidráulicas – IAHR -
- Páginas Web sobre el desarrollo y evaluación del flujo no permanente en conductos a presión: tuberías de presión y de centrales y aprovechamientos hidroeléctricos
- Wood, D. J.; Lingireddy S, User Guide Surge for Pipe 2008.
- Abreu J. M.; Guarga R.; Izquierdo J., Transitorios y Oscilaciones en Sistemas Hidráulicos a Presión, Uruguay 1994.
- Dr, Penches Celso, Manual De Pequeña Hidráulica, Madrid, 1998
- Dr. Wood, www.KYPipe.com, 2009

ANEXOS

ANEXOS N° 1

REPORTES

**PROYECTO HIDROELECTRICO MAZAR – DUDAS
APROVECHAMIENTO DUDAS**

REPORTE N#1

**ANÁLISIS DE TRANSITORIOS HIDRÁULICOS MEDIANTE
EL PROGRAMA PIPE 2008- SURGE PARA EL
APROVECHAMIENTO DE DUDAS**

14-XII-2009

ANTECEDENTES DEL PROYECTO

Modernamente se considera que en los estudios y diseños de proyectos hidroeléctricos, es de fundamental importancia el análisis del sistema hidráulico bajo condiciones de régimen no permanente; más aun, en etapas preliminares como la prefactibilidad.

Uno de los aspectos importantes del análisis del flujo no permanente es la determinación del valor de sobrepresión inmediatamente antes de la turbina luego de producirse un rechazo total de la carga. Este valor generalmente está normado por la práctica común, sin embargo, debe de ser un análisis técnico económico de todo el sistema hidráulico el que en última instancia le define.

Es importante conocer los diferentes efectos que se generan por el cierre de las válvulas de un sistema de tuberías a presión y los efectos que este genera a sus estructuras hidráulicas que componen un proyecto.

Para el Aprovechamiento DUDAS el análisis de transitorios hidráulicos generados por el cierre de una válvula ubicada al final de la conducción, se ha utilizado el programa PIPE 2008-Surge; el cual ha sido desarrollado por el Dr. Don Wood quien es profesor emeritus en el Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Kentucky en Lexington.

PIPE 2008 es un programa graficador de gran alcance, para el desarrollo y la simulación de los modelos de sistemas hidráulicos. Con este programa se puede apoyar los cálculos para flujos incompresibles, el flujo compresible, el flujo transitorio, de los hidrantes (GoFlow), y los modelos de precipitación excesiva (SWMM), Para todos los usos, hay serie de operaciones necesarias para desarrollar un modelo de sistemas de tuberías, para incorporar datos, y para analizar el modelo de sistema de tuberías.

Para el análisis, el programa PIPE 2008_Surge requiere que el sistema a analizarse este integrado de varios componentes conectados por tramos de tuberías. Las ondas de presión se generan en sitios específicos del sistema donde las características de flujo u otras condiciones, varían en el tiempo

En el análisis de la tubería de conducción para el Aprovechamiento de Dudas se ha considerado los siguientes aspectos:

- En la parte inicial de la conducción se ubica un reservorio.
- La conducción está compuesta por seis anclajes, existiendo entre anclajes apoyos para la tubería cada 10 m; con una longitud total de conducción de 489.46 m y altura estática de 294.42 m
- La tubería se consideró de un tamaño comercial de 10 m, cada uno de las uniones tiene su propia elevación y pérdida localizada, cada anclaje tiene un codo con su respectiva pérdida.

Para el ingreso de los datos al programa PIPE 2008_SURGE se consideró:

- A lo largo de la longitud total de conducción se colocó nodos cada 10 metros de longitud.
- Para el análisis de los transitorios hidráulicos se ubico un nodo inicial (nodo 1) a un metro de distancia aproximadamente del reservorio para observar la subida del nivel del espejo de agua y un nodo al final de la conducción (nodo 48) él cual representa la válvula.
- Para observar el fenómeno se consideró el tiempo de simulación total del sistema es de 180 segundos; efectuándose el cierre de la válvula al tiempo de 60 segundos con una manipulación del dispositivo de cierre en un diez y quince segundos.
- En el nodo 48 se ha considerado la descarga de $3 \text{ m}^3/\text{s}$, para los dos tiempos de de cierre (70 segundos y 75 segundos).
- Para las corridas del programa se han establecido cuatro escenarios de cálculo.
 - Escenario 1-2 con dos escenarios de cálculo para un tiempo de cierre de la válvula en 70 segundos y en 75 segundos. Para este escenario la cota mínima en el reservorio es de 2462.15 m.s.n.m y la cota máxima (espejo de aguas) es de 2465.09 m.s.n.m.

- Escenario 1-3 con dos escenarios de cálculo para un tiempo de cierre de la válvula en 70 segundos y en 75 segundos. Para este escenario la cota mínima en el reservorio de 2462.15 m.s.n.m y la cota máxima (espejo de aguas) de 2468.09 m.s.n.m.
- Las unidades consideradas en el análisis del programa PIPE 2008_Surge se describen a continuación.

<i>Flujo</i>	<i>Longitud</i>	<i>Diámetro</i>	<i>Rugosidad (Darcy Weisbach)</i>	<i>Viscosidad (Darcy Weisbach)</i>	<i>Demanda</i>	<i>Elevaciones, Grados, Nivel de Tanques</i>	<i>Presión</i>	<i>Velocidad</i>	<i>Perdidas de Carga</i>
<i>(m³/s)</i>	<i>m</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>m²/m/s</i>	<i>(m³/s)</i>	<i>m</i>	<i>kpa</i>	<i>m/s</i>	<i>m</i>

TABLA DE RESULTADOS

Q= 3m³/s
Tiempo de cierre VLV= 10 seg

Puntos	Presión Nodo (m)	Max. Presión (Surge) (m)	Min. Presión (Surge) (m)	D Presión (m)	Sobre Presión (m)
ESCENARIO 1-2					
1	2,47	3,24	1,74	1,50	0,77
48	285,24	329,58	260,73	68,85	44,34
ESCENARIO 1-3					
1	6,14	6,91	5,42	1,49	0,77
48	288,81	333,25	264,4	68,85	44,44

Q= 3m³/s
Tiempo de cierre VLV= 15 seg

Puntos	Presión Nodo (m)	Max. Presión (Surge) (m)	Min. Presión (Surege) (m)	D Presión (m)	Sobre Presión (m)
ESCENARIO 1-2					
1	2,47	2,98	2,01	0,97	0,51
48	285,24	315,75	284,74	31,01	30,51
ESCENARIO 1-3					
1	6,14	6,65	5,67	0,98	0,51
48	288,81	319,42	288,42	31	30,61

CONCLUSIONES:

- Los resultados del análisis se han realizado comparando las presiones máximas y mínimas originadas por las sobrepresiones en los nodo 1 y en el nodo 48.
- Es importante antes de programar el tiempo de cerrado que al ingresar la válvula, está completamente abierta y el flujo circule sin ningún problema ya que al estar el accesorio no debe de generar algún problema.
- Se observa en los gráficos de resultados de los transitorios hidráulicos que hasta los 60 s. el agua fluye con normalidad, hasta que es cerrada bruscamente la válvula en los tiempos 70 segundos y 75 segundos respectivamente. Después del tiempo de cierre en los nodos 1 y nodo 48 (representativos del análisis) ocurre una variación de onda que conforme pasa el tiempo se trata de estabilizar.
- Para los escenarios 1-2 y 1-3, ensayados dentro de un mismo tiempo de cierre de válvula, se observa que los resultados de las sobrepresiones obtenidos en el nodo 1 y nodo 48 son semejantes, observándose ligeras variaciones (ver tabla de resultados).
- Si se compara idénticos escenarios en diferentes tiempos de cierre de la válvula (70 seg. y 75 seg.), se concluye que mientras el tiempo de cierre de la válvula aumenta, se generan menores valores de sobrepresiones en los nodos analizados. Para el análisis los menores valores de sobrepresiones se obtienen para el tiempo de cierre de 75 segundos (ver tabla de resultados). Por lo que se recomienda que la válvula se cierre con un tiempo de duración igual o mayor a 15 segundos.

**PROYECTO HIDROELECTRICO MAZAR –DUDAS
APROVECHAMIENTO ALAZÁN**

REPORTE N#2

**ANÁLISIS DE TRANSCITORIOS HIDRÁULICOS
MEDIANTE EL PROGRAMA PIPE 2008- SURGE PARA EL
APROVECHAMIENTO ALAZÁN**

06-FEBRERO-2010

ANTECEDENTES DEL PROYECTO.

Modernamente se considera que en los estudios y diseños de proyectos hidroeléctricos, es de fundamental importancia el análisis del sistema hidráulico bajo condiciones de régimen no permanente; más aun, en etapas preliminares como la perfectibilidad.

Uno de los aspectos importantes del análisis del flujo no permanente es la determinación del valor de sobrepresión inmediatamente antes de la turbina luego de producirse un rechazo total de la carga. Este valor generalmente está normado por la práctica común, sin embargo, debe de ser un análisis técnico económico de todo el sistema hidráulico el que en última instancia le define.

Es importante conocer los diferentes efectos que se generan por el cierre de las válvulas de un sistema de tuberías a presión y los efectos que este genera a sus estructuras hidráulicas que componen un proyecto.

Para el Aprovechamiento ALAZÁN el análisis de transitorios hidráulicos generados por el cierre de una válvula ubicada al final de la conducción, se ha realizado mediante la aplicación del paquete computacional PIPE 2008-Surge; el cual ha sido desarrollado por el Dr. Don J. Wood y Dr. Srin Lingireddy quien son profesores emeritus en el Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Kentucky en Lexington.

PIPE 2008 es un programa graficador de gran alcance, para el desarrollo y la simulación de los modelos de sistemas hidráulicos. Con este programa se puede apoyar los cálculos para flujos incompresibles, el flujo compresible, el flujo transitorio de los hidrantes, (GoFlow), y los modelos de precipitación excesiva (SWMM), Para todos los usos, hay serie de operaciones necesarias para desarrollar un modelo de sistemas de tuberías, para incorporar datos, y para analizar el modelo de sistema de tuberías.

Para el análisis, el programa PIPE 2008_Surge requiere que el sistema a analizarse este integrado de varios componentes conectados por tramos de

tuberías. Las ondas de presión se generan en sitios específicos del sistema donde las características de flujo u otras condiciones, varían en el tiempo.

En el análisis de la tubería de conducción para el Aprovechamiento de Alazán se ha considerado los siguientes aspectos:

- En la parte inicial de la conducción se ubica un reservorio.
- La conducción está compuesta por cinco anclajes, existiendo entre anclajes apoyos para la tubería cada 10 m; con una longitud total de conducción de 393.91 m y altura estática de 204.96 m
- La tubería se considero de un tamaño comercial de 10 m, cada uno de las uniones tiene su propia elevación y para el cálculo no se ha considerado pérdidas en las uniones, cada anclaje tiene un codo con su respectiva perdida por cambio de dirección.

Para el ingreso de los datos al programa PIPE 2008_SURGE se consideró:

- A lo largo de la longitud total de conducción se colocó nodos a cada 10 metros de longitud.
- Para el análisis de los transitorios hidráulicos se ubico un nodo inicial (nodo 1) a un metro de distancia aproximadamente del reservorio para observar la subida del nivel del espejo de agua y un nodo al final de la conducción (nodo 38) él cual representa la válvula.
- Para observar el fenómeno se considera que el tiempo de simulación total del sistema es de 180 segundos; efectuándose el inicio del cierre de la válvula al tiempo de 60 segundos y con una manipulación del dispositivo de cierre total de la válvula en 70 y 75 segundos.
- En el nodo 38 se ha considerado la descarga de $3.6 \text{ m}^3/\text{s}$, para los dos tiempos de cierre en 70 segundos y 75 segundos.
- Para las corridas del programa se han establecido cuatro escenarios de cálculo.
 - Escenario 1-2 con dos escenarios de cálculo para un tiempo de cierre de la válvula de 10 segundos y 15 segundos. Para este escenario la cota mínima en el reservorio es de 2467.82 m.s.n.m y la cota máxima (espejo de aguas) es de 2472 m.s.n.m.

- Escenario 1-3 con dos escenarios de cálculo para un tiempo de duración del cierre de la válvula de 10 segundos y 15 segundos. Para este escenario la cota mínima en el reservorio de 2467.82 m.s.n.m y la cota máxima (espejo de aguas) de 2475.96 m.s.n.m.

RESUMEN DE RESULTADOS

Esquema del Reservorio

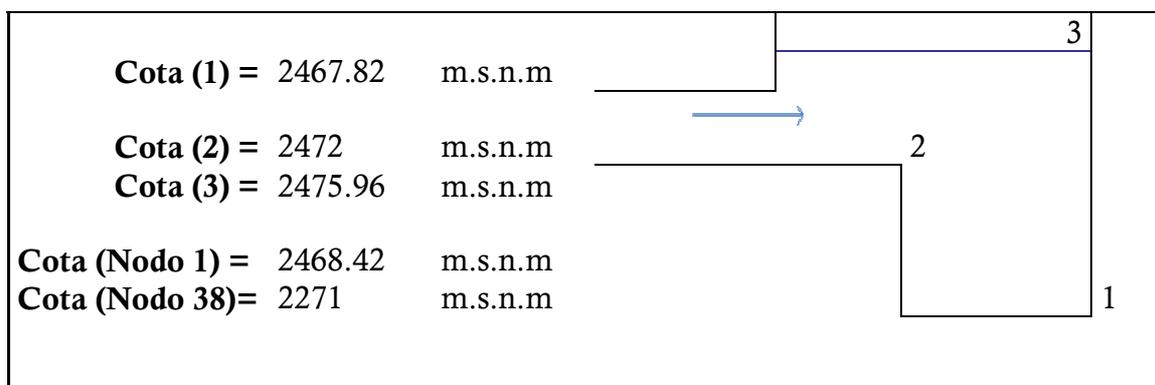


Tabla de Resultados

Q = 3.60 m³/s Tiempo de cierre VLV= 10s.

Puntos	Presión Nodo (m)(Surge)	Max. Presión (Surge) (m)	Min. Presión (Surge) (m)	D Presión (m)	Sobre Presión (m)
ESCENARIO 1-2					
R-1	4.18	4.18	4.18	0.00	0.00
1.00	3.57	4.22	2.94	1.28	0.65
38.00	198.43	227.58	175.06	52.52	29.15
ESCENARIO 1-3					
R-1	8.14	8.14	8.14	0.00	0.00
1.00	7.53	8.14	6.87	1.27	0.61
38.00	202.39	232.61	180.04	52.57	30.22

Q = 3.60 m³/s Tiempo de cierre VLV= 15 s.

Puntos	Presión Nodo (m)(Surge)	Max. Presión (Surge) (m)	Min. Presión (Surge) (m)	D Presión (m)	Sobre Presión (m)
ESCENARIO 1-2					
R-1	4.18	4.18	4.18	0.00	0.00
1.00	3.57	4.00	3.17	0.83	0.43
38.00	198.43	218.34	192.47	25.87	19.91
ESCENARIO 1-3					
R-1	8.14	8.14	8.14	0.00	0.00
1.00	7.53	7.92	7.09	0.83	0.39
38.00	202.39	223.38	197.47	25.91	20.99

CONCLUSIONES:

- Los resultados del análisis se han realizado comparando las presiones máximas y mínimas originadas por los transitorios hidráulicos en el nodo 1 y en el nodo 38.
- Es importante antes de programar el tiempo de cerrado que al ingresar la válvula está completamente abierta y el flujo circule sin ningún problema ya que al estar el accesorio no debe de generar algún problema.
- Se observa en los gráficos de resultados de los transitorios hidráulicos que hasta los 60 seg. el agua fluye con normalidad, hasta que es cerrada bruscamente la válvula en los tiempos 70 segundos y 75 segundos respectivamente. Después del tiempo de cierre en los nodos 1 y nodo 38 (representativos del análisis) ocurre una variación de onda que conforme pasa el tiempo se trata de estabilizar.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en el escenario 1-2 con un tiempo de duración de cierre de la válvula de 10 segundos se observa que el nivel del espejo de agua se eleva en 4 centímetros del nivel inicial; es decir que el espejo de agua pasa del nivel 2472 m.s.n.m al nivel 2472.04, con lo cual se tiene una variación de la carga de agua de 4.18 metros inicial a 4.22 metros final, determinada con respecto al nivel del fondo del reservorio correspondiente a 2467.82 m.s.n.m.

- De acuerdo a los resultados obtenidos en el escenario 1-3 con un tiempo de duración de cierre de la válvula de 10 segundos, se observa que no existe una variación en el nivel del espejo de agua; por eso se hace el análisis al revisar los datos del nodo 1.
- En función de los resultados obtenidos en el escenario 1-2 con un tiempo de duración de cierre de la válvula de 15 segundos, se observa que el nivel del espejo de agua disminuye en 18 centímetros del nivel inicial; es decir que el espejo de agua pasa del nivel 2472 m.s.n.m al nivel 2471.82, con lo cual se tiene una variación de la carga de agua de 4.18 metros inicial a 4.0 metros final, determinada con respecto al nivel del fondo del reservorio correspondiente a 2467.82 m.s.n.m.; y teniéndose una holgura en niveles de agua 18 centímetros.
- En función de los resultados obtenidos en el escenario 1-3 con un tiempo de duración de cierre de la válvula de 15 segundos, se observa que el nivel del espejo de agua disminuye en 22 centímetros del nivel inicial; es decir que el espejo de agua pasa del nivel 2475.96 m.s.n.m al nivel 2475.74, con lo cual se tiene una variación de la carga de agua de 8.14 metros inicial a 7.92 metros final, determinada con respecto al nivel del fondo del reservorio correspondiente a 2467.82 m.s.n.m.; y teniéndose una holgura en niveles de agua de 22 cm.
- Mientras el tiempo de cierre de la válvula aumenta, se generan menores valores de sobrepresiones en los nodos analizados. Para el análisis los menores valores de sobrepresiones se obtienen para el tiempo de cierre de 15 s.

**TUBERIA DE PRESIÓN PROYECTO HIDROELECTRICO
MAZAR DUDAS SAN ANTONIO**

REPORTE N#3

**ANÁLISIS DE TRANSCITORIOS HIDRÁULICOS
MEDIANTE EL PROGRAMA PIPE 2008- SURGE PARA LA
TUBERIA DE PRESIÓN PROYECTO SAN ANTONIO**

17-02-2010

ANTECEDENTES DEL PROYECTO.

Modernamente se considera que en los estudios y diseños de proyectos hidroeléctricos, es de fundamental importancia el análisis del sistema hidráulico bajo condiciones de régimen no permanente; más aun, en etapas preliminares como la prefactibilidad.

Uno de los aspectos importantes del análisis del flujo no permanente es la determinación del valor de sobrepresión inmediatamente antes de la turbina luego de producirse un rechazo total de la carga. Este valor generalmente está normado por la práctica común, sin embargo, debe de ser un análisis técnico económico de todo el sistema hidráulico el que en última instancia le define.

Es importante conocer los diferentes efectos que se generan por el cierre de las válvulas de un sistema de tuberías a presión y los efectos que este genera a sus estructuras hidráulicas que componen un proyecto.

Para la tubería de presión del Proyecto San Antonio el análisis de transitorios hidráulicos generados por el cierre de una válvula ubicada al final de la conducción, se ha realizado mediante la aplicación del paquete computacional PIPE 2008-Surge; el cual ha sido desarrollado por el Dr. Don J. Wood y Dr. Srin Lingireddy quienes son profesores emeritus en el Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Kentucky en Lexington.

PIPE 2008 es un programa graficador de gran alcance, para el desarrollo y la simulación de los modelos de sistemas hidráulicos. Con este programa se puede apoyar los cálculos para flujos incompresibles, el flujo compresible, el flujo transitorio de los hidrantes, (GoFlow), y los modelos de precipitación excesiva (SWMM), Para todos los usos, hay serie de operaciones necesarias para desarrollar un modelo de sistemas de tuberías, para incorporar datos, y para analizar el modelo de sistema de tuberías.

Para el análisis, el programa PIPE 2008_Surge requiere que el sistema a analizarse este integrado de varios componentes conectados por tramos de tuberías. Las ondas de presión se generan en sitios específicos del sistema donde las características de flujo u otras condiciones, varían en el tiempo.

En el análisis de la tubería de presión del Proyecto San Antonio se ha considerado los siguientes aspectos:

- En la parte inicial de la conducción se ubica un Tanque de carga.
- La conducción está compuesta por seis anclajes, existiendo entre anclajes apoyos para la tubería cada 10 m; con una longitud total de conducción de 369.89 m y altura estática de 195.48 m.
- La tubería se considero de un tamaño comercial de 10 m, cada uno de las uniones tiene su propia elevación y para el cálculo no se ha considerado pérdidas en las uniones, cada anclaje tiene un codo con su respectiva perdida por cambio de dirección descritas a continuación.

Anclaje	K	Pérdida (m)
AC-1	0.07	0.05
AC-2	0.00	0.00
AC-3	0.01	0.01
AC-4	0.00	0.00
AC-5	0.19	0.15
AC-6	0.07	0.05
Uniones		
U	0.00	0.00

Para el ingreso de los datos al programa PIPE 2008_SURGE se consideró:

- A lo largo de la longitud total de conducción se colocó nodos a cada 10 metros de longitud.
- Para el análisis de los transitorios hidráulicos se ubico un nodo inicial (nodo 1) a un metro de distancia aproximadamente del reservorio para observar la subida del nivel del espejo de agua, un nodo ubicado a un metro antes de la válvula (nodo 32), y el nodo válvula ubicado al final de la conducción.
- Para observar el fenómeno se considera que el tiempo de funcionamiento total del sistema es de 180 segundos; efectuándose el inicio del cierre de la válvula al tiempo de 60 segundos y con una manipulación del dispositivo de cierre total de la válvula en 61, 62, 63, 64, 65, 70, 75, 80, 85 y 90 segundos.

- En el nodo válvula se ha considerado la descarga de 2.20 m³/s, para los tiempos de cierre en 61, 62, 63, 64 y 65 segundos; y la descarga de 4.40 m³/s para los tiempos de cierre de 70, 75, 80,85 y 90 segundos.
- Para las corridas del programa se ha considerado que la cota del fondo del tanque de carga es la 2245.85 m.s.n.m y la cota del espejo de aguas de 2251.98 m.s.n.m.

RESUMEN DE RESULTADOS

Esquema del Reservorio

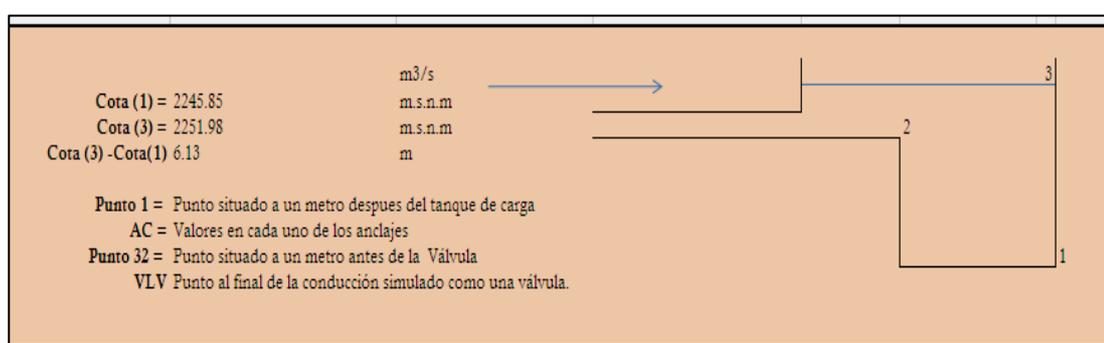


Tabla de Resultados

Escenario 1- 3

Caudal 4.40 m³/s

TABLA DE RESULTADOS PARA TIEMPO DE CIERRE 10 s.

Puntos	Presión Nodo (m) (Surge)	Max. Presión (Surge) (m)	Min. Presión (Surge) (m)	D Presión (m)	Sobre Presión (m)
R-1	6.13	6.13	6.13	0.00	0.00
1	5.52	6.31	4.77	1.54	0.79
32	191.74	224.72	187.83	36.89	32.98
VLV	191.73	225.38	187.79	37.59	33.65

TABLA DE RESULTADOS PARA TIEMPO DE CIERRE 15 s.

Puntos	Presión Nodo (m) (Surge)	Max. Presión (Surge) (m)	Min. Presión (Surge) (m)	D Presión (m)	Sobre Presión (m)
R-1	6.13	6.13	6.13	0.00	0.00
1	5.52	6.05	5.04	1.01	0.53
32	191.74	214.45	188.25	26.20	22.71
VLV	191.73	214.88	188.21	26.67	23.15

CONCLUSIONES:

- Los resultados del análisis se han realizado comparando las presiones máximas y mínimas originadas por los transitorios hidráulicos en el nodo 1, nodo 32 y en la válvula.
- Es importante antes de programar el tiempo de cerrado que al ingresar la válvula está completamente abierta y el flujo circule sin ningún problema ya que al estar el accesorio no debe de generar algún problema.
- El agua fluye con normalidad hasta los 60 segundos, una vez que es cerrada bruscamente la válvula en los tiempos 61, 62, 63, 64, 65, 70, 75, 80, 85 y 90 segundos respectivamente, ocurre una variación de onda que conforme pasa el tiempo se trata de estabilizar.
- De los resultados obtenidos se observa que mientras el tiempo de cierre de la válvula aumenta, se generan menores valores de sobrepresiones en los nodos analizados. Para el análisis los menores valores de sobrepresiones se obtienen con tiempos de cierre mayores o iguales 15 segundos.
- Se puede observar que entre más se utilizaba el programa se descubría mas utilidades de este, y un reflejo son los informes por qué se puede ver que el ultimo aprovechamiento se hizo un análisis más exhaustivo.
- El presente proyecto de titulación ayudo a comprender el flujo no permanente en conductos a presión, dar a conocer este programa, que se interesen en el estudio de los transitorios hidráulicos porque son dañinos si no son considerados adecuadamente en la obra.
- No es posible saber el uso completo de un programa, uno llega a entenderlo y comprenderlo de mejor manera con el uso frecuente y con la aplicación de la práctica, que se indica en la sección de anexos.

ANEXO N°2

PRÁCTICA

PRÁCTICA

Tema:

EL USO DEL PROGRAMA SURGE

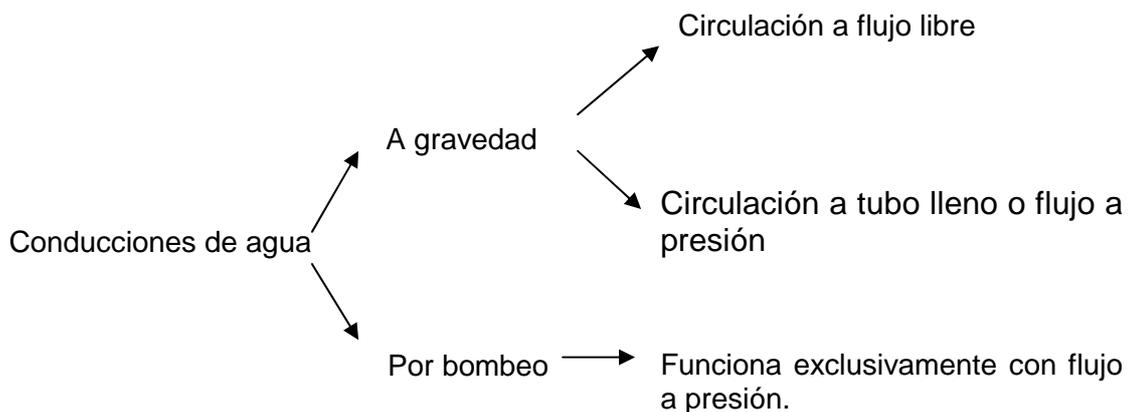
Introducción:

Para esta práctica se necesita conocer la teoría de las conducciones a presión y el fenómeno de los transitorios hidráulicos.

Una línea de conducción a la parte del sistema constitutivo por el conjunto de ductos y accesorios destinados a transportar el agua desde donde se encuentra en estado natural o desde otros canales hasta un punto que puede ser un tanque de almacenamiento, tanque de carga o a una casa de máquinas.

Existen diferentes tipos de líneas de conducciones de agua, que funcionan a gravedad por ejemplo canales abiertos, tuberías, baúles; y los que funcionan por bombeo en el caso en el que se debe de subir la tubería a reservorios muy altos. A continuación observamos un cuadro que nos puede ayudar a entender de mejor manera:

FIGURA Nº 1: CUADRO DE CONDUCCIÓN



Para el uso de este programa se considera las conducciones con flujo a presión; por eso las ecuaciones para el cálculo de las pérdidas por fricción que se deben de conocer son:

Hazen William:

$$hf = \left(\frac{Q}{0.28 * C * D^{2.63}} \right)^{1.85} * L$$

C = factor que depende exclusivamente del material de la tubería

D = diámetro de la tubería

L = longitud de la conducción

Darcy Weisbach:

$$hf = f \frac{L V^2}{D 2g}$$

f = coeficiente de fricción (que depende del número de Reynolds, y la rugosidad aparente y diámetro de la tubería)

D = diámetro de la tubería

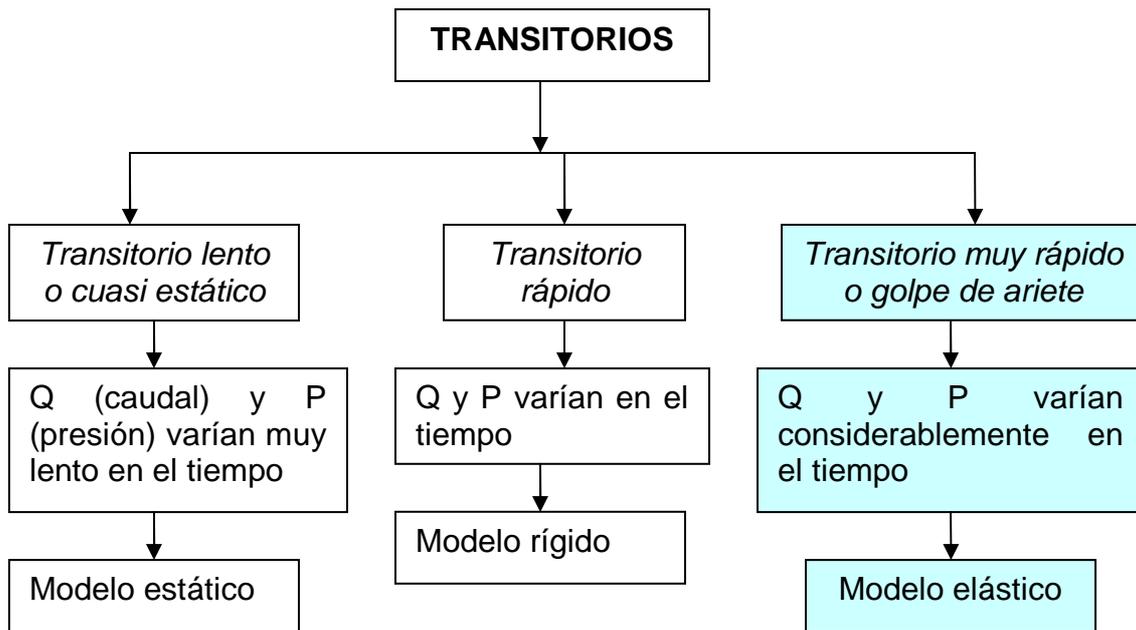
L= Longitud de tubería

V = velocidad del flujo en la tubería

En el estudio del movimiento de los fluidos se han destacado, como un gran grupo de fenómenos, los que tienen lugar en conductos cerrados enteramente llenos, es decir, los movimientos a presión.

En todo fenómeno transitorio en un conducto cerrado provoca la intervención simultánea de las fuerzas de peso y de elasticidad y, por tanto, las dos clases de oscilaciones señaladas se superponen.

Los fenómenos transitorios se clasifican en:



Los fenómenos de transitorios hidráulicos especialmente el golpe de ariete se generan cuando, cierran una válvula, al apagar una bomba, etc. Cada maniobra producirá una modificación del caudal de salida y determinará, en consecuencia, una variación del que circula por la tubería.

Para el cálculo del golpe de ariete es necesario conocer cómo desarrollar el cálculo para tener una idea más clara y poder usar el programa.

El tiempo que una onda tarda en ir y volver es el semiperiodo:

$$\tau = \frac{2L}{c}$$

En donde L = longitud total de la conducción

c = velocidad de onda (celeridad)

Después de haber desarrollado esta fórmula se obtiene:

$$c = \frac{9900}{\sqrt{48.3 + \frac{D}{b} * K}}$$

En donde K es la relación de el módulo de elasticidad y el coeficiente de elasticidad longitudinal.

Conociendo el valor de la velocidad de propagación de la onda se puede calcular el sobre presión máxima:

$$\Delta h_o = \frac{C * \Delta V}{g}$$

ho = Es el valor de la sobrepresión para un tiempo de cierre menor al de τ .

$$\Delta h_o = \frac{2LV}{g * t}$$

t = es el tiempo en el que se desarrolla la maniobra. Que debe ser mayor al de semiperiodo (τ).

Objetivo:

- ❖ Presentar el fenómeno del flujo no permanente en una conducción cerrada.
- ❖ Aplicar el programa surge en un sistema de tuberías.

Metodología:

Para aprender a utilizar el programa surge se debe de seguir los siguientes pasos:

- 1.- Revisar que el programa este instalado en el computador.
- 2.-Para poder utilizar la versión original del PIPE2008:SURGE, es necesario tener una llave de autorización; como no es posible se va a utilizar el demo.
- 3.-Abrir el demo que se encuentra en Inicio-Todos los programas-Pipe2008-Pipe2008 demo.
- 4.- Se abre el programa y aparece una ventana en la que aparecen subprogramas que se puede utilizar, KYPIPE, SURGE, GOFLOW, GAS, STEAM, SWMM; en este caso se va a escoger con un clic Surge.
- 5.- Automáticamente aparece una ventana en donde nos indica los sistema de datos para la simulación, por ejemplo las unidades, las ecuaciones para el cálculo de las perdidas por fricción (Hazen William, Darcy Weisbach, Y Constante de resistencia), viscosidad cinética; y existe la opción de utilizar un acceso directo a alguna simulación o ejemplo ya desarrollada. Se puede observar también que en la parte derecha del cuadro se encuentra ciertas variables que son las que indican que se va a calcular o se basa en el fenómeno que se v a utilizar, funciona automáticamente al escoger las unidades.
- 6.- A continuación se procede a ingresar los datos de la práctica.

Los pasos que se deben de seguir para ingresar los datos y elementos son:

- Después de presionar Okay, el programa ingresa y nos muestra diferentes pestañas, cada una tiene la función respectiva, en donde se puede ingresar la división de líneas que indican la escala, mapas, imágenes,

cambiar el color y el tamaño de cada tubería, nudo, elemento utilizado para la simulación; por ejemplo un reservorio.

- Se debe de verificar (Serie de datos) si existe el material con las características del diámetro que se debe de ingresar. Si no se debe de crear el material con las especificaciones que se necesita para la simulación.
- Para ingresar la línea que representa la tubería, se debe de presionar la opción mapa, y con el puntero colocar en el lugar en donde se desee ingresar la tubería y presionar el botón izquierdo para iniciar, y el derecho para finalizar. Para el ejercicio son seis tuberías.
- Ya ingresada la tubería hay que ingresar los demás elementos que componen el ejercicio, por ejemplo en este caso los dos reservorios.
- A continuación es conveniente ingresar las características del reservorio requeridas por el programa, por ejemplo para el reservorio es la elevación y la carga piezométrica; para cada uno de los nudos se ingresa la elevación y la demanda (caudal) depende del caso.
- Es posible revisar si se colocó correctamente las tuberías, a través de la opción del menú Analizar, chequear errores, y tuberías paralelas; cada una ayuda a que no se haya agregado tuberías adicionales; con las cuales surjan problemas al empezar el análisis.
- Después de que se haya un hecho el respectivo chequeo se procede a analizar el modelo, a través del menú analizar y se puede escoger cualquiera de las dos soluciones según se necesite; y se observa los diferentes resultados.
- Los resultados nos ayudan a comprobar si el sistema va a funcionar bien, o si se colocó correctamente los datos ya que no puede haber inconsistencia de valores.

Datos:

PRÁCTICA N° 1

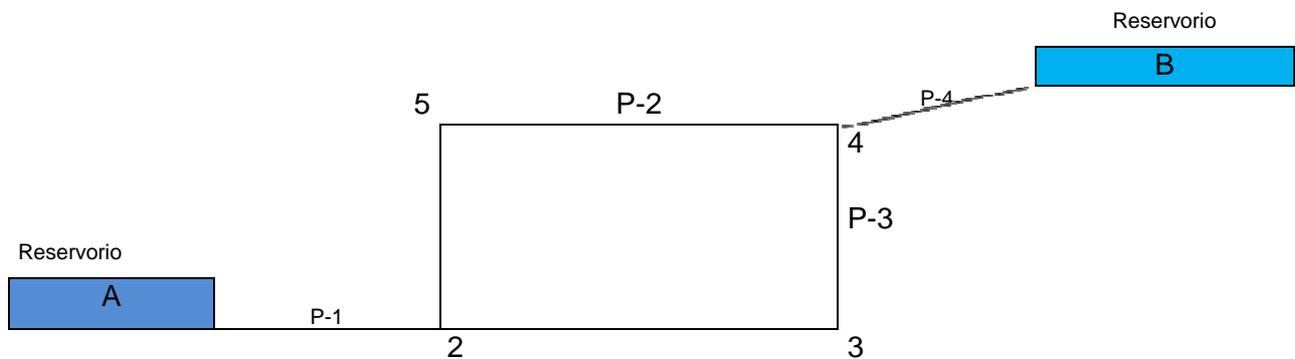
Tema:

USO DEL PROGRAMA SURGE

Ejercicio:

Analizar el siguiente sistema de tuberías, con dos reservorios A y B.

FIGURA N° 2: ESQUEMA DEL EJERCICIO 1



Unidades: SURGE-GPM

Ecuación: Darcy Weisbach

Grid : 1000 mayor
100 menor

TABLA N° 1: DATOS DEL EJERCICIO N 1

Tubería:

N de tuberías:	6
Tipo de tubería:	Ductile
C rugosidad :	130
N tuberías:	1
Diámetro 1:	6 in

Tipo de tubería:	PVC
C rugosidad :	140
N tuberías:	5
Diámetro 2:	4 in

Accesorios: Indicar en donde se va a necesitar un accesorio como los codos, tees, yees)

TABLA N°2: DATOS DE TUBERÍA Y RESERVORIO

Datos:

Nudos	Tubería		Longitud		Elevación	Carga Piezométrica
			x	y		
R-1					200	300
	P-1	Ductile	300	0		
2					200	-
	P-3	PVC	200	0		
3					210	-
	P-3	PVC	0	200		
4					210	-
	P-2	PVC	-200	0		
5					210	-
	P-2	PVC	0	-200		
2					200	-
4					210	-
	P-4	PVC	100	100		
R-2					210	260

Esta tabla nos indica la posición y las características de cada uno de los elementos que componen el sistema.

Resultados:

- Ingresado los datos guardar un archivo , denominado , ejercicio 1
- Observar los resultados llenar la tabla a continuación y comparar los resultados cuando se ensaya con los datos indicados y cuando varia la cota piezométrica en el reservorio 2 (este valores dependen del valor que se asigne para el ejercicio).

TABLA N°3: TABLA DE RESULTADOS

PUNTO	Carga de Presión (1)	Linea HGL
R-1	43.3	300
2	39.9	292.1
3	39.9	292.1
4	27.4	273.2
5	39.9	292.1
R-2	27.4	250

- Generar una tabla de resultados en donde se muestre la variación de presiones, en el sistema.
- Comparar las pérdidas de carga del programa con el cálculo manual.

Como ejercicio alternativo, se ingresará una imagen y se colocará un reservorio y una red de tuberías; y uno de los elementos que tiene el programa (válvulas, reservorios o bombas).

PRÁCTICA N° 2

Tema:

USO DEL PROGRAMA SURGE

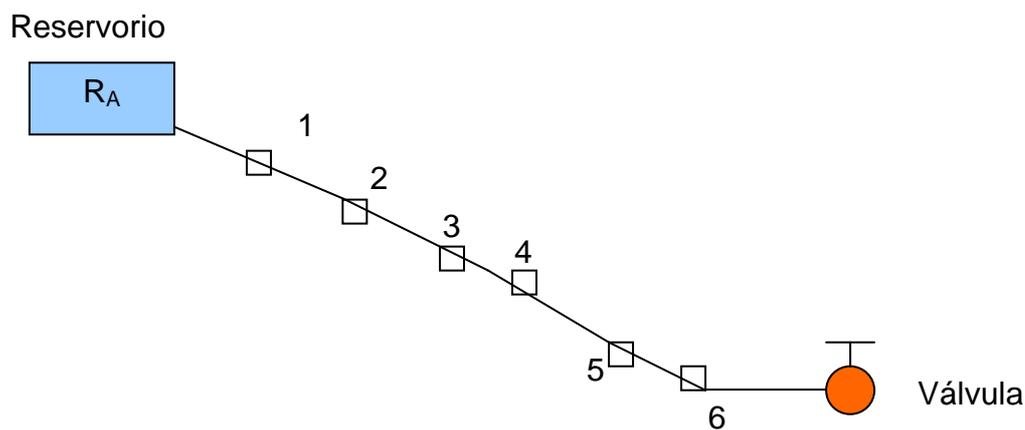
Ejercicio:

Ensayar el Aprovechamiento Hidroeléctrico Dudas, con las siguientes características:

$$Q_T = 3.00 \text{ m}^3/\text{s} \quad t = 10 \text{ y } 15 \text{ s}$$

$$Q_M = 1.50 \text{ m}^3/\text{s} \quad t = 1 \text{ y } 5 \text{ s}$$

FIGURA N° 3: ESQUEMA DE EJERCICIO 2



Unidades: SURGE-CMS

Ecuación: Darcy Weisbach

Temperatura: 15° C

Caudal: 3.00 m³/s

Viscosidad cinemática: 1.20E-06 m²/s

Velocidad de onda: este valor se lo calcula con ayuda del programa, sabiendo las condiciones de la tubería.

Grid: Según la planimetría del plano (el plano es el anexo 1 de planos)

Datos:

Reservorio:

Cota 1 (cota de la base del reservorio) = 2465.15 m

Cota 3 (cota piezométrica) = 2468.09 m

TABLA N°4: DATOS DE LA TUBERÍA

Tubería:

N de tuberías:	Depende de la división previa que se haga para la modelación (una opción es utilizar la indicada en el capítulo 3)	
Tipo de tubería:	Acero	
ϵ:	0.3	mm

Accesorios: En cada una de los anclajes existe un codo que tiene los siguientes coeficientes:

Anclaje	K
1	0,08
2	0,01
3	0,02
4	0,00
5	0,03
6	0,08

Uniones: K = 0.00

Tubería	Longitud (m)	Caída (m)	Diámetro (mm)	espesor (mm)
Tramo 1	114.83	59.47	1000	8.00
Tramo 2	56.94	87.05	1000	8.00
Tramo 3	244.66	241.74	1000	13.00
Tramo 4	73.02	294.42	1000	15.00

Número de anclajes = 6 que indican el inicio y el final de cada tramo, excepto en el tramo tres que tiene tres anclajes, 3,4 y 5.

Resultados:

- Ingresado los datos guardar un archivo , denominado , ejercicio 2
- Observar los resultados y llenar la tabla que indica a continuación:

Puntos	Presión inicial	Máxima Presión	Mínima Presión	Variación de Presión	Sobrepresión
n	a	a+x	a+y	x-y	x
n+1	b	b+x	b+y	x-y	y

- Generar una tabla de resultados en donde se muestre la variación de presiones, en el sistema.
- Analizar y buscar en cuál de los casos ensayados la sobre presión es mayor y como afecta al sistema (Los resultados se pueden observar en el capítulo cinco)

ANEXO N° 3

PLANOS

