

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

“Tuberías de Polietileno de alta densidad resistentes al
impacto (PE100-RC) destinadas al transporte, distribución
y servicio de agua potable”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL

Presentada por:

Roberto Xavier Ramírez Aguilar

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2015

AGRADECIMIENTO

A Dios por sus bendiciones y acompañarme en cada instante de mi vida.

A mis padres, quienes con su permanente esfuerzo y apoyo, han sido fundamentales para poder llegar a este momento.

A mis profesores por contribuir con sus conocimientos, experiencias y consejos, que durante mi formación consolidaron el interés en esta apasionante carrera.

Al Ing. Fabián Peñafiel por su guía en este proceso para la culminación de mis estudios de pregrado y por su ayuda en la realización de este trabajo.

A la Ing. Roxana Mestanza por su motivación y apoyo incondicional.

A mis amigos, compañeros de aula, de labores y todos aquellos quienes aportaron su ayuda para la realización de este trabajo.

DEDICATORIA

A todos aquellos que me han apoyado y me han dado su voto de confianza, en especial a mis padres y hermanas quienes han estado en todas las etapas de mi vida.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Juan Carlos Pindo M.
PRESIDENTE



Ing. Fabián Peñañiel
DIRECTOR DE TESIS



Msc. Alby Aguilar
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

-



Roberto X. Ramírez Aguilar

RESUMEN

Estar al día en la tecnología y hacer uso de ella es de suma importancia en la ingeniería e industria, con el fin de emplear nuevos materiales y técnicas que nos permitan evitar o en su caso solucionar problemas, así como también ser más eficientes en la realización de un proyecto.

En el transporte de fluidos se hace necesario la utilización de materiales idóneos para su conducción, de tal manera que por su resistencia, durabilidad y que tomando en cuenta las características o propiedades del flujo a transportar, se garantice un correcto funcionamiento de los elementos que lo conforman.

Lo avances tecnológicos han permitido desarrollar nuevos tipos de tuberías para el servicio de agua potable y aunque en nuestro país de manera general se han mantenido sistemas y técnicas de distribución convencionales, bien vale la pena analizar el impacto o afectación que podríamos obtener al emplear nuevos materiales y tecnologías en proyectos de instalación o rehabilitación de redes

Para el desarrollo del presente Trabajo de Graduación se plantea estudiar las características y propiedades de la tubería de polietileno de alta densidad PE 100-RC, que tiene entre sus principales características una alta resistencia a la propagación lenta de grietas, lo cual permite el uso de métodos alternativos de instalación.

De esta manera, se realizará un análisis para determinar las ventajas de la utilización de la tubería de PE 100-RC en proyectos de instalación de redes de agua potable, respecto al uso de otros materiales convencionales.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	VI
ÍNDICE GENERAL	VII
BIBLIOGRAFÍA	XI
ANEXOS	XI
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE FIGURAS	XVI
ÍNDICE DE ECUACIONES	XXII
ABREVIATURAS	XXV
SIMBOLOGÍA	XXVII
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación	5
1.3 Objetivos	6
1.4 Alcance	7

1.5	Metodología	8
2.	MARCO TEÓRICO	9
2.1	Conducción de fluidos	9
2.2	Flujo de fluidos en Tuberías	11
2.2.1	Tipos de flujos	15
2.2.2	Perdidas de Cargas.....	16
2.2.3	Fenómenos Transitorios	24
2.3	Tuberías.....	30
2.3.1	Generalidades.....	30
2.3.2	Especificaciones, Normas y Reglamentos	34
2.3.3	Tipos de Tuberías y Materiales	38
2.3.4	Criterio de selección de tuberías	63
2.3.5	Comportamiento Mecánico	67
2.4	Calidad del Agua potable.....	75

2.4.1	Aspectos Microbiológicos.....	76
2.4.2	Aspectos Químicos.....	79
2.4.3	Calidad del agua en el diseño y operación de redes	80
2.5	Sistema de distribución de agua potable.....	83
2.5.1	Generalidades. Redes de distribución	86
3.	TUBERÍAS DE PE100-RC	92
3.1.	Tuberías de Polietileno	92
3.1.1	Designación de las tuberías de PE.....	98
•	Tipos de fallo SCG y RCP.	100
3.1.3	Sistemas de unión.....	104
3.1.4	Manejo e Instalación	113
3.2	Tuberías de PE100-RC	123
3.2.1	Clasificación tuberías PE100-RC	126
3.3	Especificación PAS 1075	128

3.3.1	Pruebas y ensayos (PAS-1075)	131
3.4	Métodos alternativos de Instalación	148
3.5	Otros usos	156
4. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA TUBERÍA PE100		
- RC		158
4.1.	Pruebas y Ensayos Propuestos	159
4.2.	Comportamiento Hidráulico	175
4.2.1	Software WaterGems	177
4.2.2	Modelación Caso de Análisis	181
4.3.	Comportamiento mecánico (Deflexión Transversal)	189
4.4.	Comparación de costos	201
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		215
5.1	Análisis de resultados de pruebas y ensayos	215
5.2	Conclusiones	220

5.3 Recomendaciones 223

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Codificación de materiales plásticos más comunes	3
Tabla II. Coeficiente C para diferentes materiales	20
Tabla III. Valores de K para piezas y perdidas comunes	22
Tabla IV. Serie R20 de los números de Renard	52
Tabla V. Reducción de la sección transversal de forma circular a elíptica ..	68
Tabla VI. Factor de impacto vs profundidad del terreno	72
Tabla VII. Valores promedio del módulo de reacción del suelo (E'). Para la deflexión inicial en tubos flexibles.	75
Tabla VIII. Designación de material y máxima Tensión de diseño correspondiente	96
Tabla IX . Coeficientes de reducción de presión para PE 80 y PE 100	97
Tabla X. Radio de curvatura SDR17, SDR 11	118
Tabla XI. Normas de referencia contenidas en PAS1075.....	130
Tabla XII. Ensayo de homologación aditivo especial en material PE100-RC para evidenciar resistencia de agrietamiento por tensión y resistencia a envejecimiento térmico.	132

Tabla XIII. Requerimientos adicionales para material PE 100-RC (adicional a PAS 1031)	133
Tabla XIV. Prueba especial adicional para el control de calidad de los materiales en PE100-RC para verificar la resistencia del agrietamiento por tensión.	133
Tabla XV. Ensayo de tubería de polietileno para métodos alternativos de instalación y requerimientos	134
Tabla XVI. Prueba de control de calidad de la tubería.....	135
Tabla XVII. Impacto por Baliza para PVC	164
Tabla XVIII. Impacto por baliza para Polietileno (PE100 y PE100-RC)	165
Tabla XIX. Tabla de resultados. Método escalonado PVC	169
Tabla XX. Tabla de resultados. Método escalonado PE100.....	170
Tabla XXI. Tabla de resultados. Método escalonado PE100 RC (Tipo2) ...	170
Tabla XXII. Ensayo de rigidez anular (PVC)	174
Tabla XXIII. Ensayo de rigidez anular (PE100).....	174
Tabla XXIV. Ensayo de rigidez anular (PE100 RC Tipo2)	174
Tabla XXV. Datos de proyecto de referencia y características de distintos materiales de tubería a considerar.....	177

Tabla XXVI. Características de distintos materiales de tubería a considerar	182
Tabla XXVII. Perdidas de carga por fricción de la red	188
Tabla XXVIII . Presión promedio para maxima demanda horaria	188
Tabla XXIX. Datos para análisis de deflexiones considerando $E'= 6895$ Kpa	195
Tabla XXX. Resumen de cargas aplicadas y deflexiones obtenidas del programa ($E'=6895$ Kpa).....	196
Tabla XXXI. Datos para análisis de deflexiones considerando $E'= 2758$ Kpa	198
Tabla XXXII. Resumen de cargas aplicadas y deflexiones obtenidas del programa ($E'=2758$ Kpa).....	199
Tabla XXXIII. Datos para análisis de deflexiones considerando $E'= 1379$ Kpa	200
Tabla XXXIV. Resumen de cargas aplicadas y deflexiones obtenidas del programa ($E'=1379$ Kpa).....	201
Tabla XXXV. Zanjas para tuberías de AAPP a considerar	204
Tabla XXXVI. Resumen de Presupuesto de proyecto de referencia (CRO-025 Circuito 1) considerando instalación de tubería PE100-RC	208

Tabla XXXVII. Presupuesto de proyecto de referencia (CRO-025 Circuito 1) considerando instalación de tubería PE100.....	210
Tabla XXXVIII. Resumen de Presupuesto de proyecto de referencia (CRO-025 Circuito 1) considerando instalación de tubería PVC.....	212
Tabla XXXIX. Comparación costos de tuberías PE100-RC, PE100, PVC..	213
Tabla XL. Comparación costo total de considerando instalación de PE100-RC, PE100 y PVC.....	214

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diferencia entre canal y tubería	10
Figura 2. Cese de Flujo debido a bolsas de aire en tubería a presión	28
Figura 3. Cese del Flujo debido a bolsa de aire en tubería a baja presión (gravedad)	28
Figura 4. Localización de las válvulas de control de aire	29
Figura 5. Ejemplo de marcado de una tubería	38
Figura 6. (Izq) Tubería de 120 pulgadas para agua cruda. (Der) Rollo de 20 Ton para la fabricación de tubo.....	39
Figura 7. (Izq) Revestimiento de tubería aplicación de mortero de forma centrifuga. (Der) Aplicación de Pintura blanca sobre esmalte de Alquitrán de Hulla.....	41
Figura 8. Fotomicrografías, del lado derecho muestra de grafito en hierro dúctil, a la izquierda muestra de forma de grafito en hierro fundido gris.	44
Figura 9. Diagrama de Distribución del Petróleo.....	48
Figura 10. Representación esquemática de parámetros para la caracterización del comportamiento mecánico de tubos termoplásticos.....	53
Figura 11. Tubería de PRFV DN 2000MM.....	54

Figura 12. Apariencia de Tubería PVC-U. A la izquierda de color gris destinado para abastecimiento y a la derecha color marrón destinado para saneamiento	57
Figura 13. Efecto de la orientación estructurada polimérica.	59
Figura 14. Apariencia de tubos apilados de PVC-O.....	59
Figura 15. (Der) Tubo PE para abastecimiento, (izq) tubo PE para saneamiento.	61
Figura 16. Tubo de PE en barras rectas y en rollos	61
Figura 17. Solicitaciones en tuberías instaladas en Zanja	64
Figura 18. Acción del suelo sobre el tubo	68
Figura 19. Valores del coeficiente Cd	71
Figura 20. Valor de Coeficiente Cs para distintos diámetros de tubería.	73
Figura 21. Esquema general de un sistema de abastecimiento de agua potable	84
Figura 22. Tipos de consumo	90
Figura 23. Materia Prima. Muestras de resina de PEAD	93
Figura 24. (a) Molécula de Polietileno Lineal, (b) molécula de polietileno ramificado	94

Figura 25. Desarrollo del PE como material para tuberías	95
Figura 26. Proceso de crecimiento lento de grieta en muestra de polietileno de alta densidad.....	102
Figura 27. Forma ondulada por falla RCP. Tubo de Polietileno para transporte de gas.	104
Figura 28. Proceso de soldadura. Accesorio unión (manguito)	107
Figura 29. Resumen de proceso de soldadura por polifusión	110
Figura 30. Resumen de proceso de soldadura a tope	112
Figura 31. Esquema zanja tipo tubería de PE.....	117
Figura 32. Ilustración tubería HDPE en puente colgante	122
Figura 33. Ilustración de un sistema de compensación en U.....	123
Figura 34. Comparación entre las propiedades de las tuberías de PE100 y PE100-RC.....	126
Figura 35. Clasificación de tubería de PE100-RC.....	128
Figura 36. Muestras para prueba FNCT (Full Notch Creep Test)	137
Figura 37. Figura descriptiva de la prueba FNCT	139
Figura 38. Imagen esquemática de la preparación de la prueba de 2NCT.	139

Figura 40. Dimensiones de herramienta (die stamp) utilizada en prueba de penetración	142
Figura 41. Ilustración de muestra de ensayo	145
Figura 42. Esquema de las geometrías PENT y CDNT	148
Figura 43. Sección de Zanja sin cama de arena.....	149
Figura 44. Ilustración esquemática de zanja realizada por excavadora de zanjas	151
Figura 45. Zanjadora (Trencher) de oruga	151
Figura 46. Accesorio montado a minicargador – Zanjadora	152
Figura 47. Ilustración de método de arado	153
Figura 50. Ilustración referencial de rehabilitación por rotura.	154
Figura 51. Perforación horizontal dirigida	155
Figura 53. Probetas para la realización de los distintos ensayos.....	161
Figura 54. Tipos de percutores	163
Figura 55. Prueba de impacto. (Izq) Colocación de probeta, (Der) Selección altura de impacto	164
Figura 56. Afectación de las tuberías durante pruebas de impacto. Superior izq. PVC, Superior der. PE100, Inferior PE100-RC	166

Figura 57. Prueba de presión hidrostática. Preparación de probeta	168
Figura 58. Prueba de Presión hidrostática. Introducción de probeta a cámara de presión	169
Figura 59. Grafico Presión vs Tiempo. Método lineal Material PVC.	171
Figura 60. Grafico Presión vs Tiempo. Método lineal Material PE100	171
Figura 61. Grafico Presión vs Tiempo. Método Lineal Material PE100-RC tipo 2	172
Figura 62. Ensayo de Rigidez anular. (Izq.) Preparación de muestras, (der) Maquina de ensayo Universal utilizada para la prueba.....	175
Figura 63. Transferencia de datos de red de distribución a WaterGEMS.	Error! Bookmark not defined.
Figura 64. Verificación de presiones máximas y mínimas en nudos.....	186
Figura 65. Verificación de caudales máximos, mínimos y perdidas en distintos tramos de red (tubería PVC).....	187
Figura 66. Pantalla inicial de programa External Load Design for Unibell Flexible Conduits	190
Figura 67. Condición de carga externa. (a) Condición Carga de prisma, (b) Condición carga de zanja	191
Figura 68. Parámetros de Formula de Iowa.....	192

Figura 69. Parámetros de ingreso de cargas externas y profundidad de tubería.....	193
Figura 70. Presentación de cálculo de deflexiones en el programa.....	195
Figura 71. Implantación General Proyecto de Referencia	202
Figura 72. Red de distribución del Circuito 1 proyectada.....	205
Figura 73. Descripción de calle Sector Cristo del Consuelo CRO-025	206
Figura 74. Gráfica Carga vs Deformación de la muestras.	220

ÍNDICE DE ECUACIONES

(1) Calculo de flujo volumétrico	12
(2) Principio de continuidad flujo estable	12
(3) Ecuación de continuidad fluido incompresible.....	12
(4) Ecuación de continuidad (Caudales).....	13
(5) Fórmula de Mougine	14
(6) Calculo del número de Reynolds	16
(7) Ecuación de equilibrio de energía	17
(8) Perdida de carga por unidad de longitud (Darcy-Weisbach)	18
(9) Perdida de carga por la fricción (Darcy-Weisbach).....	18
(10) Coeficiente de fricción (Darcy-Weisbach)	18
(11) Velocidad media (Hazen Williams).....	19
(12) Perdida de carga por unidad de longitud (Hazen Williams).....	19
(13) Perdidas locales.....	21
(14) 1era Ecuación de Saint Venant.....	25
(15) Perdida unitaria de energía hidráulica.....	25
(16) 2da ecuación de Saint Venant	25
(17) Máxima sobrepresión generada	26

(18) Velocidad de propagación de fenómeno transitorio	26
(19) Velocidad de propagación de (simplificada).....	26
(20) Relación entre presión admisible, presión nominal y sobrepresión generada	27
(21) Serie.....	50
(22) Radio medio	51
(23) Relación de Dimensiones Estandar	51
(24) Relación entre S y SDR	51
(25) Rigidez circunferencial específica	51
(26) Tensión de diseño	52
(27) Expresión general de deflexión	69
(28) Deflexión de Spangler	70
(29) Relación de Martson	70
(30) Coeficiente de carga para conductos instalados en zanja	71
(31) Presión del suelo debida a carga viva (Teoría de Boussinesq)....	72
(32) Formula de Iowa modificada	73
(33) Presión de funcionamiento admisible.....	97
(34) Máxima presión de operación ASTM.....	99
(35) Máxima presión de operación ISO	100

(36) Radio de curvatura para presión nominal baja.....	117
(37) Radio de curvatura para presión nominal alta.....	117
(38) Expansion7 contracción lineal.....	122
(39) Carga de prueba (FNCT)	137

ABREVIATURAS

AASHTO	American Association of State Highway and transportation Officials
AC	Asbesto cemento
ASTM	American Society for Testing and Materials
AWWA	American Water Works Association
CEN	European Committee for Standardization
DIN	Deutsches Institut für Normung
FNCT	Full Notch Creep Test
ISO	International Organization for Standardization
HD	Hierro Dúctil
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
LCL	Límite inferior de confianza
mca	metros de columna de agua
MRS	Tensión mínima requerida
NPT	Notch Pipe Test
PAS	Publicly Available Specification
PSA	Planes de seguridad del agua
PE	Polietileno
PEA	Presión de prueba en obra admisible
PEAD	Polietileno de alta densidad
PEBD	Polietileno de baja densidad
PEMD	Polietileno de mediana densidad
PENT	Pennsylvania Edge-Notch Test
PFA	Presión de funcionamiento admisible
PMA	Presión máxima admisible
PN	Presión nominal
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno

PRFV	Poliéster reforzado con fibra de vidrio
PVC	Policloruro de vinilo
PVC-U	Policloruro de vinilo (no plastificado)
PVC-O	Policloruro de vinilo (orientación molecular)
RC	Resistance to cracking
RCG	Rapid Crack Propagation
SCG	Slow Crack Growth
SDR	Relación de dimensiones estándar
SUCS	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

SIMBOLOGÍA

<i>A</i>	Área
<i>a</i>	Velocidad de propagación fenómeno transitorio
<i>Bd</i>	Ancho de la zanja
<i>C</i>	Coefficiente de servicio de diseño
<i>Cd</i>	Coefficiente de carga para ductos instalados en zanja
<i>Cs</i>	coeficiente de carga de ruedas
<i>D</i>	Diámetro de la tubería
<i>DN</i>	Diámetro Nominal
<i>D_m</i>	Diámetro métrico del tubo
<i>DL</i>	Factor de retardo de deflexión
<i>e</i>	Espesor de la tubería
<i>E</i>	Módulo de elasticidad a flexión circunferencial
<i>E2</i>	Módulo de resistencia de reacción pasiva del material a los lados del tubo
<i>E'</i>	Módulo de reacción del suelo
<i>F'</i>	Factor de impacto
<i>f</i>	Coefficiente de fricción
<i>g</i>	gravedad
<i>H</i>	Profundidad del relleno
<i>h_f</i>	Perdida de carga por fricción
<i>ID</i>	Diámetro Interior
<i>I</i>	Módulo de inercia de la pared del tubo por unidad de longitud
<i>J</i>	Perdida de carga unitaria por unidad de longitud
<i>j*</i>	Perdida unitaria de energía hidráulica
<i>K</i>	Coefficiente de rugosidad de la tubería
<i>K</i>	Constante de encamado
<i>k</i>	Módulo de compresión
<i>k μ'</i>	Factor determinado por la relación de la presión horizontal y vertical y la fricción de la pared de la zanja

L	Longitud efectiva rueda
OD	Diámetro exterior
P	Carga concentrada en la rueda
P_w	Presión de trabajo
P_s	<i>Sobrepresión generada</i>
Q	Flujo volumétrico
R_c	Radio de Curvatura
Re	Número de Reynolds
r_m	Radio medio
S	Serie
S_c	Rigidez circunferencial específica
SN	Rigidez nominal
U	Velocidad media
W_c	Carga muerta
W_{sc}	Carga viva
γ	Densidad del relleno
α	Ángulo de encamado
Δh_{max}	Máxima sobrepresión generada
Δv	Velocidad del fluido
Δx	Deflexión del tubo en base a diámetro original
σ_s	Tensión de diseño
v	Velocidad

CAPITULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Manejar los recursos hídricos es de suma importancia para una población y aunque en parte se trata de recursos renovables es necesario usarlos y aprovecharlos de manera eficiente.

La conducción del agua potable para sus diferentes usos se originó con civilizaciones antiguas como la china, persa, egipcia, griega y romana, las que, con diversas técnicas y métodos lograron proveerse de este importante recurso. Es así que en la antigüedad se conducía el agua dulce por medio de varias formas de ductos. En la china 2000 años A.C., se usaba el bambú no

solo para el transporte de agua sino también de gas natural. De esta manera tenemos la aparición de las tuberías, que no son más que conductos que sirven para el transporte de distintos fluidos. En un principio se elaboraban en arcilla, madera, cobre y plomo; para entonces estas tuberías eran deficientes en la conducción, resistencia y calidad de agua suministrada.

A fines del siglo XIX y principios de siglo XX ya se empleaba materiales como el hierro, cobre, etc. Algunos de estos materiales, por sus características, en un principio tuvieron buena acogida, pero con el tiempo fueron quedando de lado debido a diferentes causas como daños a la salud, dificultad en su instalación, nuevas exigencias de prestación y aparición de nuevos materiales. Por citar un ejemplo, el desgaste de las tuberías del hierro fundido podía causar enfermedades como la plumbosis a los consumidores debido al sistema de soldadura con plomo utilizado en un inicio. Actualmente el uso de este tipo de tuberías está prohibido para la conducción de agua potable y aguas residuales en muchos países. En el caso del acero, este cuenta con una excelente resistencia a presiones internas, pero no es resistente en la misma medida a esfuerzos externos, por lo que en su instalación se requiere protección externa para resistir al suelo y otro tipo de esfuerzos, además es vulnerable a reacciones electroquímicas como la corrosión. Materiales como el fibrocemento también fueron una opción para la conducción de agua a presión. Este tipo de tubería de composición mineral, bajo costo y, en general resistente a la corrosión, es

sensible a agentes externos o característicos propios del material, que limita su rendimiento o genera alguna afectación en su uso.

Más adelante se comenzaron a emplear otros materiales como el plástico, el cual es una sustancia química sintetizada producto de un fenómeno de polimerización de compuestos derivados del petróleo y gas natural, que en la actualidad se emplean para muchos propósitos en diferentes áreas.

En tabla I se muestra los plásticos más comunes. El número 1 corresponde al material más fácil de reciclar y el número 7 al material más difícil.

SIGLAS	NOMBRE	SÍMBOLO
PET / PETE	TEREFTALATO DE POLIETILENO	
PEAD / HDPE	POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD	
PVC / V	POLICLORURO DE VINILO	
PEBD / LDPE	POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD	
PP	POLIPROPILENO	
PS	POLIESTIRENO	
Otros	Resinas Epoxídicas	

Tabla I. Codificación de materiales plásticos más comunes

Elaboración: Roberto X. Ramírez Aguilar, año 2015

El PVC y el PE fueron los primeros polímeros empleados en la fabricación de tuberías plásticas. Luego fueron apareciendo otros tipos plásticos como el PP y PRFV, etc.

Dentro de los diversos tipos de tuberías plásticas de PE, tenemos las tuberías de PEBD o PEAD, esto de acuerdo a su resistencia. Las tuberías de polietileno PE surgieron alrededor de los años 70 y han ido evolucionando hasta la actualidad. Esta evolución, que consiste en un mejoramiento en la resistencia de esfuerzos, crecimiento de lento de grietas y cargas puntuales.

En la ciudad de Guayaquil, los tipos de tuberías existentes más comunes instaladas en redes de distribución de agua potable menores a 400 mm son: Hierro dúctil (HD), asbesto cemento (AC), policloruro de vinilo (PVC) y polietileno de alta densidad (PEAD). Siendo las de HD y AC las más antiguas; y las de PVC y PEAD la más recientes. Otros tipos de materiales como el PRFV o acero son mayormente utilizados en redes de conducción donde se tienen diámetros mayores a los 400 mm.

Actualmente las tuberías de PEAD (PE100) son instaladas en distintos proyectos de expansión y rehabilitación de redes de agua potable, llevados a cabo por la concesionaria Interagua en la ciudad de Guayaquil. Mientras que en proyectos urbanísticos ejecutados de manera propia por la M. I. Municipalidad de Guayaquil, empresa privada (inmobiliarias) y en distintas

zonas urbanas y rurales alrededor del país, se tiene al PVC como material tradicional para la instalación de estas redes de distribución.

Ante condiciones cada vez más exigentes, la innovación y surgimiento de nuevas tecnologías han permitido refinar y seguir desarrollando distintos tipos de tuberías. Es de esta manera que surgen las tubería PE100-RC polietileno de alta densidad resistente cargas puntuales y crecimiento lento de grietas, que de acuerdo a especificaciones cuentan con propiedades mejoradas en comparación con su predecesora PE100, lo cual permite utilizar métodos alternativos de instalación como instalación directa en zanja sin protección de cama de arena o tecnologías sin zanja (NO-DIG).

1.2 Justificación

Es importante conocer nuevas técnicas o métodos alternativos de instalación de tuberías, así como también el desarrollo de nuevos materiales empleados en el transporte y distribución de agua potable para de esta manera analizar su aplicación en nuestro medio. Las tuberías de PE100-RC en la actualidad ya están siendo utilizadas principalmente en sistemas de países europeos que se mantienen a la vanguardia tecnológica en el desarrollo y utilización de nuevos materiales.

Esta nueva alternativa trata de una tubería de polietileno de alta densidad que, como novedad principal, ofrece una alta resistencia al crecimiento lento

de grietas, seguridad bajo el efecto de cargas puntuales o de impacto y una vida útil de servicio de más de 100 años. Esto permite que este tipo de tubería sea considerada para métodos alternativos de instalación.

Las tuberías de PE100 han sido incorporadas en las instalaciones de redes de agua potable gracias a su flexibilidad y deformación en grandes longitudes. Sin embargo, con el paso del tiempo y nuevos estudios se ha desarrollado más propiedades de las tuberías tipo PE100 en base a los requerimientos y condiciones de instalación, obteniendo las tuberías tipo PE100-RC.

Es necesario estudiar y analizar no solo las propiedades de este nuevo tipo de tubería PE 100-RC (composición, propiedades, desempeño hidráulico, etc.), sino también analizar su implementación en nuestro medio, uso general, uso específico y las ventajas o dificultades que representaría su uso frente al uso de tuberías de materiales tradicionales, para con ello poder evaluar y justificar su utilización en nuestro medio.

1.3 Objetivos

Objetivo General.

El objetivo de este trabajo es sustentar la utilización de la tubería de PE 100-RC en proyectos de instalación o rehabilitación de redes de agua potable con

el fin de que este tipo de tuberías pueda ser considerado en el desarrollo de futuros proyectos.

Objetivos Específicos.

En base al estudio y análisis de las tuberías PE100-RC se busca:

- Dar a conocer las principales características de la tubería de PE 100-RC.
- Determinar qué requisitos, pruebas y procesos debe cumplir esta tubería para su utilización y conocer sus especificaciones y normativa a la que se rige.
- Conocer métodos alternativos de instalación con la utilización de esta tubería.
- Definir como se afectaría un proyecto de instalación o rehabilitación de redes con la utilización de esta tubería en el aspecto hidráulico, constructivo, costos, etc.

1.4 Alcance

El presente trabajo se desarrollará en base al estudio y análisis de características y propiedades de la tubería PE 100-RC para la distribución de agua potable, comparación frente a otros materiales y métodos alternativos de instalación, con el fin de justificar su uso.

1.5 Metodología

El desarrollo de este trabajo consta de tres partes. La primera parte contenida en el Capítulo 2 es una revisión de la conducción de fluidos, lo cual comprende una revisión de los distintos tipos de flujos, pérdidas de carga y fenómenos transitorios. Además se describirá generalidades acerca de las tuberías como materiales empleados, especificaciones/normas, criterios de selección, comportamiento mecánico, etcétera. Esto con el objeto de relacionar términos que se presentarán en el desarrollo de este trabajo, para tener un mejor entendimiento del mismo.

Por otra parte, el Capítulo 3, consiste en la recopilación de información y estudio de las tuberías polietileno y en especial de las tuberías de PE100-RC, definiendo: características, especificaciones, sistemas de unión, métodos de alternativos de instalación, y otros usos aplicables.

Por último en el Capítulo 4 en base a ensayos y pruebas propuestas no normalizadas de resistencia mecánica e hidrostática, se realizará un comparativo entre las tubería de PE100-RC (Tipo 2), PE100 y PVC. Se verificará también: el comportamiento hidráulico mediante un software de modelación, el comportamiento mecánico mediante un programa de cálculo de deflexiones. Además, con un proyecto de referencia se compararán los presupuestos considerando instalación de tuberías PVC, PE100 Y PE100-RC (Tipo 2).

CAPITULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Conducción de fluidos

El transporte de fluidos se realiza mediante ductos, sean estos canales o tuberías.

Canales y Tuberías

En los flujos transportados por canales se tiene una superficie libre en contacto con la atmosfera y una sección transversal que puede variar mucho en su forma. Mientras que en una tubería se tiene generalmente el flujo

confinado que puede ser conducido a presión y siempre se mantiene su forma transversal circular.

En canales, el flujo generalmente se trata de un líquido, mientras que en tuberías el fluido transportado puede tratarse de líquidos o gases.

El análisis del comportamiento hidráulico de un fluido difiere al considerarlo como conducto a un canal o una tubería con un flujo a presión. El análisis de un canal puede resultar más complejo que el de una tubería. Sin embargo es posible estudiar su funcionamiento hidráulico de manera conjunta.

Puede existir el caso en que una tubería se comporte hidráulicamente como un canal, cuando el líquido que escurre llena solo parcialmente la tubería, pasando el líquido a tener contacto directo con la atmósfera.

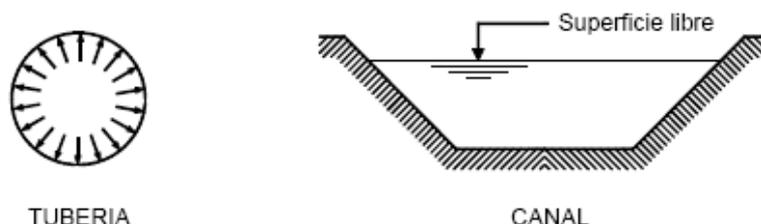


Figura 1. Diferencia entre canal y tubería

Fuente: Hidráulica de Tuberías y Canales. Arturo Rocha

La sección transversal de un canal puede ser muy variable (rectangular, triangular, semicircular, etc.) Una variación en el caudal puede representar un cambio en la sección transversal.

La sección transversal de una tubería es típicamente circular. Una variación en el caudal representa una variación en la velocidad del fluido. Una sección de tipo circular permite el transporte del líquido de una manera más eficiente, ya que ofrece una mayor área de sección transversal para un mismo perímetro exterior respecto a cualquier otro tipo de sección (rectangular, triangular, etc.) Por lo tanto se puede tener una mayor área de transporte y una menor superficie de contacto, con lo que se reducen las pérdidas por fricción. Además este tipo de sección ofrece una mayor resistencia estructural y demanda menor cantidad de material para la elaboración de la tubería.

Una tubería se compone por un conjunto de tubos, los mismos que pueden estar hechos de diversos materiales según la función a cumplir. Algunas adoptan ciertos nombres específicos dependiendo del fluido transportado: oleoducto (transporte de petróleo), gasoducto (transporte de gas), acueducto (transporte de agua), poliducto (transporte de derivados de petróleo).

2.2 Flujo de fluidos en Tuberías

A diferencia de los sólidos, los fluidos adoptan la forma de la estructura o recipiente en que están contenidos. La mecánica de fluidos nos ayuda con el estudio del equilibrio y movimiento de los fluidos.

Un flujo transportado por una tubería o ducto por unidad de tiempo puede

ser medido en términos de su volumen, peso o masa. De ellos el flujo volumétrico es el comúnmente usado y se calcula con la siguiente expresión:

$$Q = A \times v \quad (1)$$

Dónde: Q es el flujo volumétrico.

A es el área de la sección del ducto o tubería.

v es la velocidad promedio del flujo.

La unidad de medición en el SI es metros cúbicos por segundo [m³/s], aunque con frecuencia se utiliza otras unidades como litros por segundo [lt/s] o galones por minuto [gal/min].

El cálculo de la velocidad del flujo se lo hace bajo el *principio de continuidad*, al considerar que la cantidad de flujo en cualquier sección en cierta cantidad de tiempo se mantiene constante, esto también se conoce como *flujo estable*. De este principio se deduce la ecuación de continuidad, dada por la siguiente expresión.

$$\rho_1 \times A_1 \times V_1 = \rho_2 \times A_2 \times V_2 \quad (2)$$

Si se considera que el fluido es incompresible, los términos densidad ρ_1 y ρ_2 se simplifican, por tanto:

$$A_1 \times V_1 = A_2 \times V_2 \quad (3)$$

Por consiguiente:

$$Q_1 = Q_2 \quad (4)$$

Esto quiere decir que el flujo volumétrico es estable en cualquier sección de una tubería o conducto. La ecuación es válida para flujos estables e incompresibles y en caso de los gases, flujos con velocidades menores a los 100 m/s.

Velocidad de flujo recomendable

Para definir la velocidad recomendable en un ducto o tubería se tiene que tener en cuenta varios factores como el tipo de fluido, longitud del sistema, material de tubería, dispositivos o elementos operativos, temperatura y presión.

En un sistema, al reducir el diámetro de una tubería obtendremos un aumento de la velocidad del fluido, pero a su vez esto también genera pérdidas de energía y caídas de presión. Es deseable conservar velocidades bajas, lo que implica mantener diámetros grandes, lo cual tampoco es muy deseable debido a costos, por ello es necesario encontrar un punto intermedio y establecer ciertos límites al momento de seleccionar el tamaño de la tubería.

En general se debe tender a seleccionar un tamaño más grande de tubería para mantener una velocidad baja. Aunque esto puede verse afectado por costos, dificultad en conexiones, espacios reducidos, entre otros.

En ningún caso se admiten velocidades menores a 0,3 m/s, esto con el fin de garantizar el arrastre de partículas y con ello la auto limpieza del sistema. En general los rangos típicos de velocidades para redes de distribución están entre los 0,6 a 1,20 m/s. Velocidades entre 1,5 y 2,5 m/s se consideran altas. Velocidades mayores a las indicadas, deberían evitarse.

La fórmula de Mougine puede ser aplicada para determinar velocidades ideales y evitar pérdidas de carga excesivas.

$$v = 1,5 \times (D + 0,05)^{0,5} \quad (5)$$

Dónde: v es la velocidad

D es el diámetro de la tubería

Para líneas de descarga se pueden considerar velocidades de 2 m/s hasta los 5 m/s. El proyectista debe dimensionar adecuadamente el tamaño de las tuberías para conseguir un buen rendimiento de las mismas tomando en cuenta perdidas de energía, presión en punto crítico, vida útil, energía y demandas requeridas.

2.2.1 Tipos de flujos

Podemos hablar de dos tipos de flujos existentes:

Flujo Laminar: Este tipo de fluido se caracteriza por ser uniforme y regular; donde las partículas del fluido se desplazan paralelamente formando capas o laminas.

Flujo Turbulento: Partículas del fluido se mueven en distintas direcciones y desordenadamente.

Los fluidos en su desplazamiento por medio de conductos presentan una resistencia al movimiento generada por: el rozamiento entre moléculas del fluido, rozamiento entre fluido y pared del conducto; y cambios de dirección o variación de diámetro del conducto.

La presión presente en la conducción de fluidos permite vencer esas resistencias. Al existir conductos muy largos se genera una pérdida constante de presión en el fluido. Para evitar o disminuir este tipo de pérdidas se procura evitar cambios de dirección y de diámetro, así como también utilizar conductos con superficies lisas. Además, se controla otros detalles como la velocidad del fluido, dado que el rozamiento aumenta con ella.

Numero de Reynolds

El número de Reynolds (Re) es un valor adimensional que caracteriza el movimiento de un fluido. Para el caso de una tubería circular nos permite establecer el carácter del flujo (laminar o turbulento).

De este modo si $Re \leq 2100$ entonces se determina que el flujo es laminar, si $Re \geq 3000$ se establece al flujo como turbulento. Cuando $2100 \leq Re \leq 3000$ se considera al flujo en una etapa de transición.

$$Re = \frac{\rho V_s D}{\mu} \quad (6)$$

Donde, ρ = Densidad del fluido

V_s = Velocidad característica del flujo

D = Diámetro interior de la tubería

μ = Viscosidad dinámica del fluido

2.2.2 Perdidas de Cargas

En la conducción de un líquido en una tubería, de un punto a otro, parte de la energía entre esos puntos se disipa, la diferencia de energía entre estos puntos se traduce como una pérdida de carga.

Ecuación de Equilibrio de Energía:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2 \times g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2 \times g} \quad (7)$$

En el caso del flujo laminar la resistencia al desplazamiento se la atribuye a la viscosidad. De esta manera se tendrán velocidades máximas cerca al eje del tubo y velocidades mínimas alrededor de las paredes del conducto. Esto debido a la disipación de energía.

En un flujo turbulento la resistencia al desplazamiento se da debido al efecto combinado de la viscosidad e inercia. La velocidad dependerá de la turbulencia y las características de las paredes del conducto. Por ejemplo un tubo rugoso incrementaría la turbulencia.

Clasificación de las pérdidas de carga

Existen distintas causas que pueden causar pérdidas de carga y en general las podemos clasificar en pérdidas por fricción y pérdidas locales. Las pérdidas por fricción son propias de la resistencia al movimiento del agua en la tubería y pérdidas locales son pérdidas generadas por la utilización de distintos elementos o piezas características en una instalación.

Pérdidas de Carga por fricción.

De diversas investigaciones y experimentos se ha determinado que la resistencia del agua es:

- Directamente proporcional a la longitud de la tubería
- Inversamente proporcional a una potencia del diámetro
- Está en función de la potencia de la velocidad.
- Dependiente de la rugosidad de las paredes de la tubería en flujos turbulentos
- Independiente de la posición del tubo
- Independiente de la presión del fluido

Expresión de la pérdida de carga (Darcy-Weisbach):

$$J = \frac{h_f}{L} \quad (8)$$

$$h_f = f \frac{V^2}{D 2g} \quad (9)$$

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{k}{3,71 D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right) \right]^2} \quad (10)$$

Dónde: J es la pérdida de carga continua por unidad de longitud

h_f es la pérdida de carga (Fricción) [m]

f es el coeficiente De fricción

L es la longitud de tubería [m]

V es la velocidad media [m/s]

G es la aceleración de la (Gravedad) [m/s²]

D es el diámetro de tubería. [m]

K Coeficiente de rugosidad de la tubería [m]

Re número de Reynolds

Esta fórmula es extensamente utilizada en hidráulica y permite obtener la pérdida de carga en una tubería llena por acción de la fricción y es aplicable tanto para flujos de tipo laminar o turbulento.

La rugosidad de las paredes de los tubos depende del material, proceso de fabricación, presencia de juntas, estado de conservación, revestimientos y protección durante funcionamiento.

El envejecimiento de las tuberías también influye en la capacidad de transporte de las mismas.

La fórmula de Hazen-Williams es también muy empleada en el diseño y análisis de sistemas hidráulicos.

$$V = 0,85 \times C \times Rh^{0,63} \times J^{0,54} \quad (11)$$

$$J = 10,65 \frac{Q^{1,85}}{C^{1,85} \times D^{4,87}} ; \quad (12)$$

Dónde: V es la velocidad media [m/s]

Rh es el Radio hidráulico [m]

J es la pérdida de carga por unidad de longitud del conducto.

C es un coeficiente que depende de rugosidad del tubo

Esta fórmula se utiliza para determina la velocidad media de tuberías llenas y conductos cerrados que trabajan a presión y su uso se limita a tuberías con diámetros entre 50 mm y 1800 mm con una velocidad de flujo no mayor a 3 m/s. Se considera la temperatura para el agua de 15°. Temperaturas mayores o menores podrían ocasionar errores.

MATERIAL	C
Acero ondulado	60
Acero con uniones, tubos nuevos	130
Acero con uniones, en servicio	90
Acero galvanizado	125
Acero remachado, tubos nuevos	110
Acero remachado en uso	85
Acero soldado, nuevo	130
Acero soldado, en uso	90
Acero soldado, con revestimiento especial	130
Plomo	130
Asbesto	140
Cobre	130
Concreto, con buena terminación	130
Concreto con terminación común	120
Hierro fundido, nuevo	130
Hierro fundido, después de 15-20 años	100
Hierro fundido gastado	90
Hierro fundido	130
Latón	130
Maderas	120
Ladrillos	100
Vidrio	140
Plástico - PVC - PRFV	140

Tabla II. Coeficiente C para diferentes materiales

Fuente: Nociones de hidráulica referidas a conducciones a presión - Instituto tecnológico Leopoldo Marechal

Perdidas de Carga Locales.

Toda causa o elemento en singular sobre la tubería que genere una turbulencia, cambio de dirección o alteración de velocidad del fluido, produce una pérdida de carga.

En la instalación de tuberías los tramos no siempre son rectos y los diámetros pueden variar a medida que se extiende su longitud. Con ello se requiere o simplemente se utilizan un sin número de accesorios y elementos para la conexión de la tubería o para el control del fluido. Esto genera turbulencia y con ello el choque de partículas que originan pérdidas de carga.

Es así que al darse estas pérdidas en puntos específicos de la tubería toman el nombre de pérdidas locales o singulares.

Las pérdidas locales en general pueden ser expresadas con:

$$h_f = K \frac{V_1^2}{2g} \quad (13)$$

K es un coeficiente que puede ser obtenido experimentalmente. Para valores de número de Reynolds mayores a 50.000 se ha verificado que el valor de K se mantiene constante por lo que para determinados elementos se pueden considerar esto independientemente del diámetro de tubería y velocidad del fluido, en fluidos turbulentos.

PIEZA Y PERDIDA	K
Ampliación gradual	0,30*
Boquillas	2,75
Compuerta, abierta	1,00
Controlador de caudal	2,50
Codo de 90°	0,90
Codo de 45°	0,40
Rejilla	0,75
Curva de 90°	0,40
Curva de 45°	0,20
Curva de 22°30´	0,10
Entrada normal en tubo	0,50
Entrada en borda	1,00
Existencia de pequeña derivación	0,03
Confluencia	0,40
Medidor Venturi	2,50**
Reducción gradual	0,15*
Válvula de ángulo, abierto	5,00
Válvula compuerta, abierto	0,20
Válvula tipo globo, abierto	10,00
Salida de tubo	1,00
T, pasaje directo	0,60
T, salida de lado	1,30
T, salida bilateral	1,80
Válvula de pie	1,75
Válvula de retención	2,50
Velocidad	1,00

* Con base en la velocidad mayor (sección menor).

** Relativa a la velocidad en la tubería.

Tabla III. Valores de K para piezas y pérdidas comunes

Fuente: Nociones de hidráulica referidas a conducciones a presión pag.7 - Instituto tecnológico Leopoldo Marechal

Un método de gran utilidad para el cálculo de pérdidas locales es el método de longitudes equivalentes. Este método considera las pérdidas de distintos elementos presentes en una tubería como si se tratase de las pérdidas generadas por una tubería recta de mayor longitud. A cada elemento presente en una tubería correspondería una longitud de tubería ficticia, lo

cual para efectos de cálculo de las pérdidas se adiciona a la longitud original de la tubería.

Para el método de longitud equivalente se requiere el uso de tablas y nomogramas los cuales toman en cuenta las características de los elementos y sus diámetros.

Si bien este método simplifica el cálculo de las pérdidas locales, no es muy práctico debido a la gran cantidad de piezas o elementos que pueda existir en un sistema. Por tanto se puede proceder a suponer un factor de incremento. Este valor multiplicado por la longitud real nos dará como resultado la longitud de cálculo a utilizar en ecuación de pérdidas por fricción.

El porcentaje de factor de incremento está entre el 5 y 50% y su selección dependerá de las características de la red. En sistemas de tramos extensos y baja densidad en accesorios y piezas se puede utilizar un factor entre 5 y 25%. En sistemas de tramos cortos y alta densidad de accesorios o elementos se pueden considerar factores de incremento entre el 25 y 50%.

Con ayuda de la fórmula de Darcy-Weisbach se puede determinar la pérdida de carga a lo largo de las tuberías.

2.2.3 Fenómenos Transitorios

En un sistema de conducción de agua las condiciones de operación no son constantes. Depende de factores como la demanda, operación de equipos; incluso acontecimientos imprevistos como interrupción de energía, o reparaciones emergentes. Todo esto hace que, caudales y presiones cambien continuamente. Se conoce con el nombre de Transitorios a los fenómenos que producen variación en las presiones y velocidades de un fluido en conducciones a presión.

Golpe de Ariete

El Golpe de Ariete también conocido como choque hidráulico, es una modificación brusca de la presión debido a una variación del estado dinámico del fluido. El golpe de ariete es una condición particular de los fenómenos transitorios en la conducción a presión, en que las variaciones de velocidad y presión son grandes.

Este fenómeno puede llegar a generar una sobrepresión más elevada que la presión normal, esto puede resultar peligroso ya que podría ocasionar daños en la tubería y distintos elementos, lo cual a su vez podría causar fugas y reducción la vida útil del sistema.

Cuando se cierra una válvula rápidamente de manera repentina, se detiene el paso del agua y la energía de presión es transmitida a la válvula y paredes de la tubería. Así mismo se genera una onda de presión la cual gradualmente se va disipando por acción de la fricción. Los cambios de temperatura o el aire atrapado en las tuberías pueden también causar sobrepresión en los conductos. La variación en la temperatura producirá contracción o expansión del líquido afectando su presión. El aire atrapado en una tubería al comprimirse puede generar una presión extra.

Entre las causas que pueden causar un golpe de ariete, tenemos:

- Cierre o apertura repentino de Válvulas
- Arranque o detención de bombas
- Funcionamiento inestable de bombas
- Operaciones inapropiadas

Con las ecuaciones de Saint Venant se pueden definir los movimientos transitorios.

$$\frac{\partial}{\partial l} \left(Z + \frac{p}{\gamma} + \frac{U^2}{2g} \right) = -\frac{1}{g} \frac{\partial U}{\partial t} - f \frac{U \cdot |U|}{2g \cdot D} \quad (14)$$

$$j^* = -f \frac{U \cdot |U|}{2g \cdot D} \quad (15)$$

$$\rho \frac{\partial U}{\partial l} + \frac{1}{c^2} \left(U \frac{\partial p}{\partial l} + \frac{\partial p}{\partial t} \right) = 0 \quad (16)$$

Dónde: Z es igual la altura sobre un plano de comparación arbitrario del eje de la conducción

p/γ es la altura de presión cada sección y en cada instante.

U es la velocidad media en cada sección y en cada instante.

g aceleración de la gravedad.

j^* es la pérdida unitaria de energía hidráulica.

La máxima sobrepresión para el golpe de ariete la podemos calcular con la expresión de Allievi:

$$\Delta h_{max} = \frac{a \Delta v}{g}; \quad (17)$$

Dónde: Δh_{max} = máxima sobrepresión generada

Δv es la velocidad del fluido cuando el obturador está totalmente abierto.

a es la velocidad de propagación del fenómeno transitorio.

g es la aceleración de la gravedad.

$$a = \sqrt{\frac{k/\rho}{1 + \frac{Dk}{tE}}}; \quad (18)$$

Cuando el fluido es agua podemos simplificar a la expresión:

$$a = \frac{1420}{\sqrt{1 + \frac{Dk}{tE}}}; \quad (19)$$

Dónde: D = Diámetro de la tubería [m]

t = espesor mecánico resistente de la tubería, [m]

k = módulo de compresión del agua $2,067 \times 10^4$ kg/cm²

E = módulo de elasticidad circunferencial del material de la tubería, kg/cm²

Presión admisible está dado por la ecuación:

$$P_w \leq PN$$

$$P_w + P_s = P_{max} < C * PN ; \quad (20)$$

Dónde: P_w = Presión de trabajo

P_s = Sobrepresión generada

PN= Presión nominal

C =coeficiente de seguridad

Influencia del aire y del vacío en una tubería.

La influencia del aire o del vacío en una tubería puede causar problemas de mal funcionamiento de las líneas del sistema, estas deben encontrarse bien ventiladas para su correcto funcionamiento. Por ejemplo, al vaciarse una tubería se requiere el ingreso de aire para evitar el vacío lo cual puede producir el aplastamiento del tubo.

El aire atrapado en una tubería puede llegar a afectar el flujo de agua debido a bolsas de aire formadas en puntos donde existe variación de pendiente.

Los problemas relacionados con el aire son: disminución de flujo, cavitación, errores en medidores (ver figuras 7 y 8).

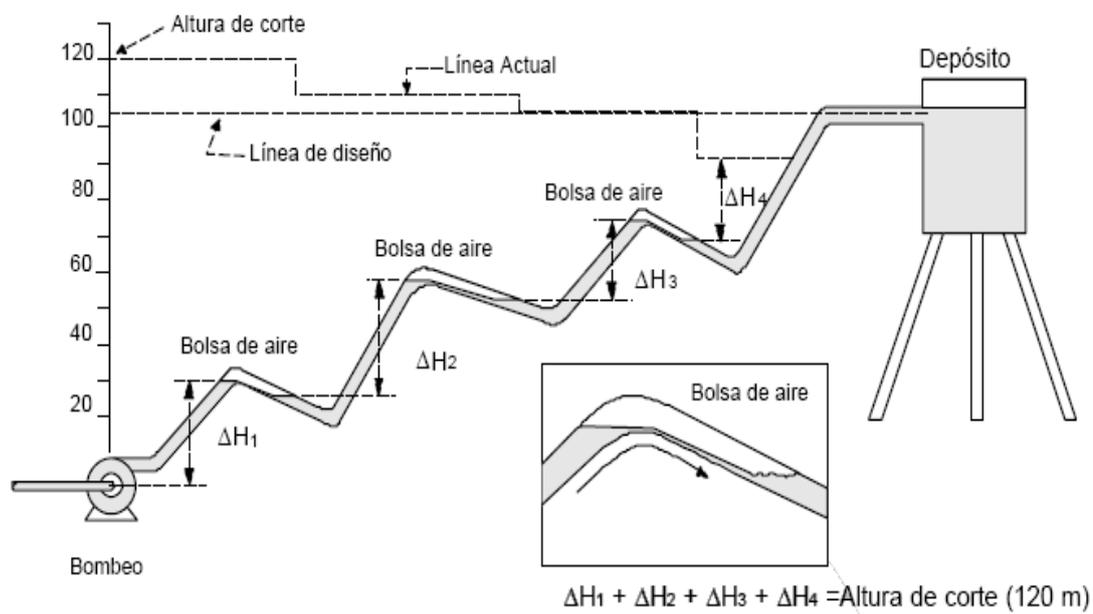


Figura 2. Cese de Flujo debido a bolsas de aire en tubería a presión

Fuente: Criterios de diseño para Redes de Agua potable empleando tubería de PVC.
Tubos Flexibles, S.A. de C.V.

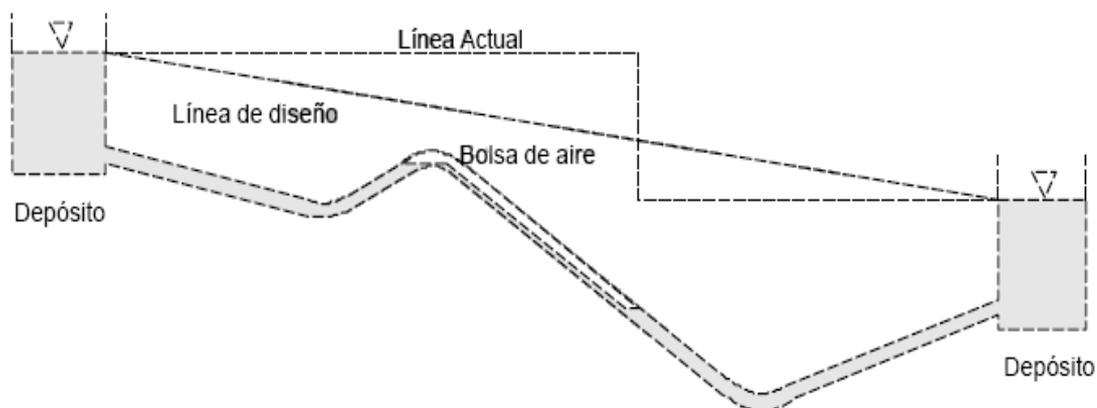


Figura 3. Cese del Flujo debido a bolsa de aire en tubería a baja presión (gravedad)

Fuente: Criterios de diseño para Redes de Agua potable empleando tubería de PVC.
Tubos Flexibles, S.A. de C.V.

Elementos que ayudan a prevenir este tipo de problemas son: Válvulas eliminadoras de aire, Válvulas de admisión y expulsión de aire; y válvulas combinadas o de doble propósito.

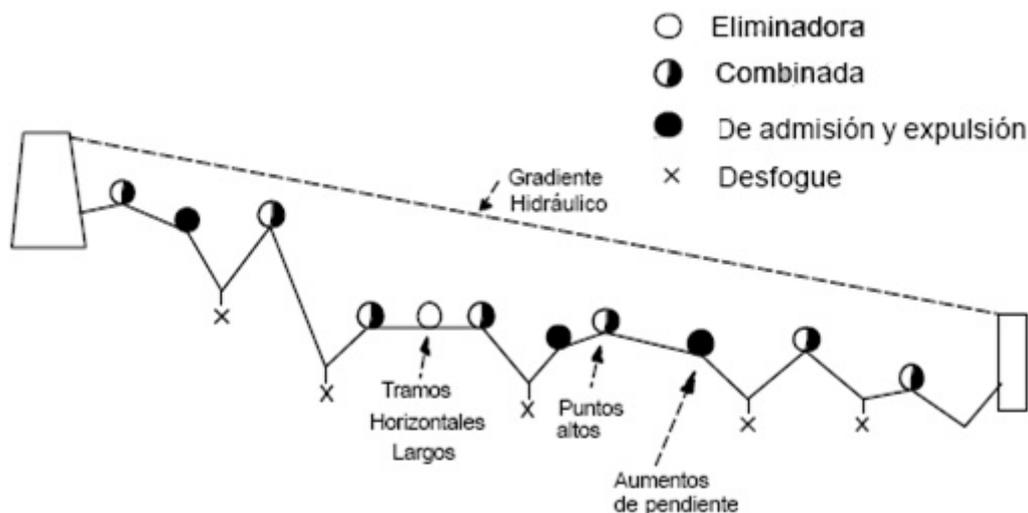


Figura 4. Localización de las válvulas de control de aire

Fuente: Criterios de diseño para Redes de Agua potable empleando tubería de PVC. Tubos Flexibles, S.A. de C.V.

Es recomendable instalar válvulas en:

1. Puntos de control, donde la tubería salga del suelo. Si después de la válvula la tubería sube, instalar eliminadora de aire (I), si baja y existe peligro de vaciado rápido, una válvula combinada (III).
2. Tuberías con pendiente uniforme entre 400 y 800m.
3. Equipos de bombeo, antes de la válvula de retención (check), válvula de admisión y expulsión de aire (II).

4. Válvula combinada (III), previo a medidores para evitar errores y daños al equipo.
5. Después del cruce en una carretera, válvula combinada (III).

2.3 Tuberías

2.3.1 Generalidades

Las tuberías son tubos que cumplen especificaciones o normas estandarizadas y pueden ser de distintos materiales. Permiten el transporte de un fluido de una manera eficiente, y su selección se realiza en base al uso o necesidad.

En el área de obras hidráulicas, específicamente en el transporte de agua potable, varias son las opciones al momento de seleccionar un tipo de tubería. El tipo de tubería o material seleccionado debe ayudar a garantizar la correcta operación del sistema de acuerdo a las condiciones normales de operación, sin dejar de lado condiciones externas inusuales o eventos extraordinarios que puedan ocasionar daños al sistema.

Existen diversos factores que afectan el desempeño de las tuberías y que son necesarios ser tomados en consideración:

Presión

Se deben considerar presiones tanto internas como externas.

La presión interna a soportar es la máxima presión de operación de la tubería durante el tiempo de vida útil del sistema. Se deben considerar condiciones de operaciones normales o variadas.

En condiciones normales se toma en cuenta la máxima presión de operación, la cual no debe ser mayor a la presión de trabajo especificada para la tubería y sus componentes.

Variaciones en las condiciones normales de presión, implica sobrepresiones como las producidas durante un golpe de ariete, para lo cual es necesario analizar y tomar medidas de prevención. Esto es: calcular el valor máximo de sobrepresión que pueda generarse, revisión de tubería y componentes bajo acción de sobrepresión y seleccionar sistemas de control y equipos para alivio de sobrepresión.

La presión externa es aquella o aquellas cargas que actúan radialmente sobre la superficie del tubo. Estas pueden ser provocadas por relleno de tierra, tránsito vehicular, etc.

Temperatura

Las tuberías podrían verse afectadas por la temperatura en mayor o menor grado según el material por el que están conformadas. El cambio de temperatura puede ocasionar expansión o contracción de la tubería y con ello fallas en la misma. Esto afecta mucho más a tuberías instaladas superficialmente que aquellas que se encuentran enterradas.

La temperatura de diseño será la máxima temperatura del tubo en operación. La temperatura de referencia o de instalación es la del medio ambiente al momento de la instalación.

Efectos dinámicos

Son esfuerzos, desplazamientos que se pueden generar en la tubería a lo largo del tiempo durante su funcionamiento. Es necesario siempre, en lo posible, eliminar o minimizar el efecto de estas cargas, sino el diseño deberá ser el adecuado para soportar las mismas.

Cargas dinámicas a considerarse pueden ser fuerzas de impacto, sismos, vibración debido a bombas; entre las más destacables.

Corrosión

Se entiende como corrosión al deterioro sufrido por un material a consecuencia de una determinada exposición con el medio. Los materiales mayormente afectados son los materiales metálicos de tipo ferroso debido a una reacción de tipo electroquímica que produce un cambio en las propiedades del material y pérdida de resistencia.

Sin embargo la corrosión es un fenómeno que afecta a todo tipo de material y en todo tipo de ambiente. Materiales no metálicos sufren corrosión por otros mecanismos.

La corrosión en polímeros es casi nula, incluso se usa este tipo de material en diferentes tipos de aplicación para evitarla. Sin embargo pueden ser vulnerables a corrosión provocada por diversidad de insectos o microbios. Materiales como el polietileno, propileno y poliestireno son resistentes a este tipo de corrosión, estos son usados como recubrimientos.

Esfuerzos Permisibles

En síntesis los esfuerzos que actúan en un tubo son de dos tipos circunferenciales y longitudinales.

El esfuerzo circunferencial se origina debido a una presión que puede ser interna o externa. Interna en el caso de la producida por un fluido que escurre dentro de la tubería y la externa puede ser debido a diferentes factores, por ejemplo: sujetadores, material de relleno, etc. Este es un esfuerzo de tensión que actúa transversalmente al eje longitudinal del tubo.

El esfuerzo longitudinal puede deberse a varias causas como por ejemplo esfuerzos de flexión por peso propio y del fluido, expansión y contracción debida a la temperatura, así como también se toma en cuenta la presión. Por ello al momento del diseño se incluyen varios tipos de cargas para verificar el comportamiento de la tubería.

Otros factores que no alteran el desempeño de tubería pero que pueden incidir al momento de seleccionar un determinado tipo de tubería son el costo de la tubería o el tiempo de vida útil de servicio.

2.3.2 Especificaciones, Normas y Reglamentos

Una especificación es una característica o cualidad bien definida de un objeto o proceso con el cual busca definir su uso o aplicación y que puede estar regida bajo una norma. Las especificaciones se detallan en un documento técnico oficial.

Las normas y estándares son descripciones técnicas detalladas y plasmadas en documentos legales disponibles al público, que contienen especificaciones de aplicación voluntaria. Son elaborados a partir de acuerdos logrados bajo la observancia y participación de diferentes organizaciones o partes interesadas como: fabricantes, administradores, usuarios, centros de investigación, asociaciones profesionales, etc. Su desarrollo se basa en estudios, experiencias y avances en concreto de un tema.

Existen también reglamentos técnicos los cuales tienen carácter de obligatorio. Estas son especificaciones técnicas que un producto o proceso debe de cumplir y se cumplen bajo la observancia de una entidad de control.

En la selección de una tubería se debe de tomar en cuenta sus especificaciones y a su vez si ésta a su vez debe cumplir una norma. Debe rechazarse materiales con especificaciones dudosas o aquellas que no cumplan con parámetros para el fin deseado.

Existen diferentes Instituciones y organismos a nivel internacional que establecen especificaciones y normas estándares referente a tuberías e instalaciones de agua potable. Por citar algunas de estas tenemos: American Society for Testing and Materials (ASTM), American Water Works Association (AWWA), International Association of Plumbing and Mechanical

Officials (IAPMO), International Organization for Standardization (ISO), European Committee for Standardization (CEN), entre otros. Las normas son revisadas y corregidas periódicamente, por ejemplo las normas ISO son revisadas cada 5 años.

El cumplimiento de normas puede ser calificado por un organismo de normalización competente, lo cual puede permitir obtener una certificación al dar conformidad a un producto o proceso

En Ecuador el INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización) es el órgano oficial de los estándares nacionales para la normalización, certificación y metrología. Es el responsable de la formulación de normas técnicas ecuatorianas.

Marcado de tubos

Es necesario un marcado legible y duradero en los tubos según indicaciones de la norma correspondiente. En el marcado debe plasmar trazabilidad del tubo. La trazabilidad consiste en el registro durante una serie de procedimientos que permiten seguir el proceso de evolución de un producto en cada una de sus etapas.

La ISO define el término trazabilidad como:

“La propiedad del resultado de la medida o valor de un estándar donde éste pueda estar relacionado con referencias específicas usualmente estándares nacionales o internacionales, a través de una cadena continua de comparaciones todas con incertidumbres especificadas.”

En general se debe de contar con la siguiente información del producto en el mercado:

- Fabricante o nombre comercial
- Fecha de fabricación
- Número de lote
- Tipo de material
- Diámetro nominal (DN)
- Espesor (excepto en tubos de PRFV)
- Presión nominal (PN)
- Referencia de la norma o normas correspondientes
- SDR (solo en tubos de PE)
- Logotipo de marca de calidad



Figura 5. Ejemplo de marcado de una tubería

Fuente: Guía técnica “Las tuberías plásticas en las obras hidráulicas”. AseTUB

2.3.3 Tipos de Tuberías y Materiales

Es importante definir el material de tubería a emplear según cada caso en particular.

Las tuberías se pueden clasificar de acuerdo a su tipo de material, así tenemos:

- Tubos de materiales metálicos (hierro dúctil, acero)
- Tubos de composición mineral (asbesto cemento, hormigón armado)
- Tubos de materiales plásticos (PRFV, PVC, PE)

Dentro de nuestro medio para la conducción y distribución de agua los materiales empleados en grandes diámetros son el acero, hierro dúctil y plástico reforzado con fibra de vidrio; y en diámetros menores el policloruro de vinilo y el polietileno de alta densidad.

A continuación se describirá de forma breve las características de los materiales mayormente empleados:

Tuberías de Acero

Se aplican de manera especial en casos que solicitan resistencia a altas presiones internas de manera especial en tuberías que van de los 500mm hasta 2500 mm

Existen tres métodos de fabricación: Acero estirado (sin soldadura), costura longitudinal y soldadura helicoidal. Por estirado sin soldadura se pueden fabricar en diámetros de hasta 400mm.



Figura 6. (Izq) Tubería de 120 pulgadas para agua cruda. (Der) Rollo de 20 Ton para la fabricación de tubo.

**Fuente: Guía “Ingeniería de Tuberías de Acero para Sistema de Agua Potable”,
Northwest Pipe Company www.nwpipe.com**

Dentro de algunas normas del AWWA para la fabricación de tuberías de acero se tiene norma AWWA C-200¹, basado en AWWA M11². Donde las placas de acero deben cumplir con las siguientes especificaciones:

- ASTM A-36/A36M
- ASTM A-283/A283 grado C, D
- ASTM A-572/A572M grados 42,50

Para el procedimiento de soldadura el fabricante debe contar con especificaciones y personal calificado.

Se suele emplear sistemas de recubrimiento y revestimiento para este tipo de tuberías con el fin de mejorar su vida útil y servicio. El revestimiento puede ser de mortero de cemento de acuerdo a la norma AWWA C205³ o pueden utilizarse pintura y poliuretano de modo alternativo bajo norma AWWA C222⁴. Para recubrimientos pueden utilizarse cinta de polietileno aplicado según

¹ AWWA C-200 “Steel Water Pipe 6 inch and larger”

² AWWA M11 “Steel Water Pipe: Guide for Design and Installation ”

³ AWWA C205 “Cement–Mortar Protective Lining and Coating for Steel Water Pipe 4 In. (100 mm) and Larger—Shop Applied”

⁴ AWWA C222 “Polyurethane coatings for the interior and exterior of steel waterpipe and fittings”

método descrito en norma AWWA C2145 o se puede realizar recubrimiento con mortero de cemento de acuerdo a norma AWWA C205. Otros tipos de recubrimientos aplicados son pinturas y poliuretanos o esmalte de alquitrán de hulla.



Figura 7. (Izq) Revestimiento de tubería aplicación de mortero de forma centrifuga. (Der) Aplicación de Pintura blanca sobre esmalte de Alquitrán de Hulla.

Fuente: Guía “Ingeniería de Tuberías de Acero para Sistema de Agua Potable”, Northwest Pipe Company www.nwpipe.com

Los tubos de acero pueden ser conectados con una amplia variedad de juntas de acuerdo a condiciones o necesidades presentes. Las juntas⁶

⁵ AWWA C214 “Tape coating systems for the exterior of steel water pipelines”

⁶ Ver Ilustración en Anexo 1

soldadas son recomendables para altas presiones mientras que juntas o uniones mecánicas como acoples o bridas son usadas para la conexión de válvulas o cambios de sección transversal.

El tamaño estándar se define por el tamaño nominal y el número de cédula. El número de cedula está relacionado con la presión permisible de trabajo y el esfuerzo permisible del acero. Los números de cédula están comprendidos entre 10 y 160, donde los valores más altos indican un mayor espesor de pared de la tubería. El sistema de número de cedula se lo conoce como Iron Pipe Sizes (IPS).

La International Standards Organization (ISO) denota con el símbolo DN el diámetro nominal⁷ de una tubería en milímetros y aunque los tamaños nominales de tuberías se expresan en unidades métricas del SI, con frecuencia también se usa el sistema de medición inglés.

Norma ISO de referencia para este tipo de tubería: ISO 559:1991 Steel tubes for water and sewage.

La presión nominal PN corresponde a la máxima presión de diseño que el tubo puede resistir. Solo se aplica este concepto en el caso que se realice

⁷ Ver Anexo 2 acerca de Diámetro Nominal

uniones con bridas, aunque habitualmente se instalan estos tubos con juntas soldadas. En estos casos no se utiliza el concepto de presión nominal.

Las tuberías de acero se clasifican de acuerdo a su diámetro nominal, espesor nominal y tipo de acero empleado.

Características técnicas:

- Densidad= 7,850kg/m³
- Módulo de elasticidad = $2,1 \times 10^5$ N/mm²
- Alargamiento en rotura= 10 a 24%
- Coeficiente de dilatación = $1,2 \times 10^{-5}$ m/m°C⁻¹

Tubería de hierro dúctil

Son usadas con frecuencia para el transporte de agua y gas. Combina la resistencia del acero con la larga vida del hierro fundido gris. Resisten presiones internas de hasta 40 bares y se fabrican en diámetros intermedios y grandes.

A diferencia del hierro gris donde el grafito se encuentra en forma de laminar, en el hierro dúctil el grafito se encuentra en forma esferoidal. Esto lo hace mucho más fuerte y resistente al impacto en comparación al hierro gris.

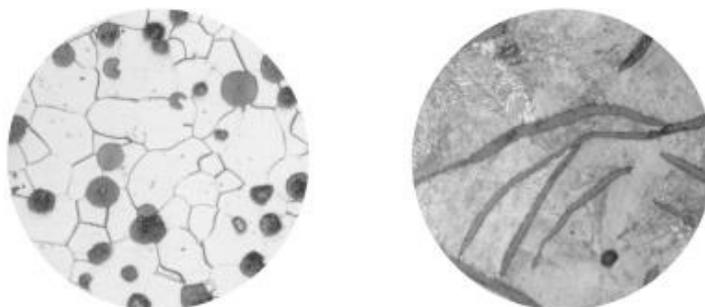


Figura 8. Fotomicrografías, del lado derecho muestra de grafito en hierro dúctil, a la izquierda muestra de forma de grafito en hierro fundido gris.

Fuente: AMERICAN Cast Iron Pipe Company. <http://www.american-usa.com/>

Se las considera de alto desempeño y calidad gracias a propiedades y características del material como resistencia a esfuerzos, ductilidad, facilidad de manejo, resistencia a la corrosión. Diferentes accesorios permiten su correcta instalación en la superficie o bajo tierra.

Existen varias clases de este tipo de tubería que pueden trabajar en diferentes rangos de presiones. En las tuberías de hierro dúctil el diámetro externo e interno real es más grande que el tamaño nominal.

Estas tuberías se fabrican por un proceso de centrifugación en diámetros y espesores normalizados. De acuerdo a la norma ISO 2531⁸ se fabrican en dos clases K-7 y K-9, donde la clase K-9 corresponde a un mayor espesor. La instalación de la tubería y de sus accesorios se hace acorde a la norma

⁸ ISO 2531:2009 Ductile iron pipes, fittings, accessories and their joints for water applications

ISO 2531-2009. Revestimiento interno con mortero de cemento de acuerdo a ISO-4179⁹ y con revestimiento externo de Zinc metálico según ISO-8179¹⁰.

Bajo el estándar de AWWA al interior se la reviste de mortero de cemento según la norma ANSI/AWWA C104/A21.4¹¹ y exteriormente con una capa de pintura bituminosa de aproximadamente 25µm de espesor y adicionalmente se puede suministrar una capa de zinc metálico en caso de requerirlo.

El AWWA, especifica a la tubería en dos clases: primero de acuerdo al espesor de la tubería y, segundo de acuerdo a la presión de trabajo, esto según la norma ANSI/AWWA C150.¹²

El DN para este tipo de tuberías se aproxima al ID.

La PN al igual que las tuberías de acero solo se emplea cuando estas se unen con bridas u otros componentes.

⁹ ISO 4179:2005 Ductile iron pipes and fittings for pressure and non-pressure pipelines- Cement mortar lining

¹⁰ ISO 8179-1:2004 External zinc-based coating – Part 1: Metallic zinc with finishing layer

¹¹AWWA C104/A21.4 -95 American National Standard for Cement-Mortar Lining for ductile-Iron Pipe and Fittings for Water

¹² AWWA C150/A21.50-02 American National Standard for Thinckness Design of Ductile-Iron Pipe

Para su unión se puede considerar uniones flexibles (anillo elastomérico)¹³ y uniones rígidas (bridadas).

Las tuberías de HD se las puede clasificar por su tipo de unión en tubos de unión flexible y tubos con bridas, tomando en cuenta el DN y la clase. En los tubos con bridas además hay que tomar en cuenta la PN.

Características técnicas:

- Densidad= 7,050kg/m³
- Módulo de elasticidad = 1,7x10⁵ N/mm²
- Alargamiento en rotura= 5 a 10%
- Coeficiente de dilatación = 1,2x10⁻⁵ m/m°C⁻¹

Fibrocemento o Asbesto Cemento

La tubería de fibrocemento o asbesto cemento está constituida básicamente por cemento, fibras minerales, sílice y agua. Se clasifica por seis tipos de clases las cuales corresponden a distintas presiones de trabajo. Se fabrican en cilindros metálicos giratorios por enrollamiento formando capas delgadas de fibra de amianto y cemento portland. Su resistencia a la presión depende del espesor de la tubería y su diámetro nominal coincide con su diámetro

¹³ Ver Anexo 1 uniones flexibles para tubería de HD

interior.

Las normas del AWWA consideradas para su fabricación e instalación son:

- AWWA C400 Asbestos Cement Water Pipe
- AWWA C603 Installation of Asbestos Cement Water Pipe
- AWWA C296 Standard Practice for the Selection of Asbestos Cement Water Pipe.

En la norma ecuatoriana NTE INEN 485:1992 “Tubos de Uniones de Asbesto Cemento para la Conducción de Agua a Presión”, se establecen requerimientos que deben cumplir los tubos y uniones de asbesto cemento destinados a la conducción de agua a presión.

Entre sus ventajas se destaca resistencia a incrustaciones, disponibilidad de piezas especiales para su instalación y mantenimiento, sus costos de instalación son relativamente económicos

Como desventajas se tiene una relativa fragilidad, vulnerabilidad a suelos agresivos. Además, en muchos países ha sido prohibido el uso de tuberías de fibrocemento debido a su potencial cancerígeno del material.

Características técnicas:

- Densidad= 2000 kg/m³
- Módulo de elasticidad = 18000 a 25000 N/mm²
- Coeficiente de dilatación = $1,2 \times 10^{-5}$ m/m^{°C}⁻¹

Tuberías Plásticas.

Se obtienen en gran parte a partir del petróleo. Se estima que del 100% de petróleo extraído, solo un 4% es empleado para la fabricación de plásticos, mientras que el resto es quemado. Otros plásticos pueden ser obtenidos a partir de otros tipos de resinas naturales vegetales. El termino resina se refiere a un polímero básico que puede servir como materia prima, mientras que a una mezcla homogénea de resina y aditivos se conoce como compuesto.

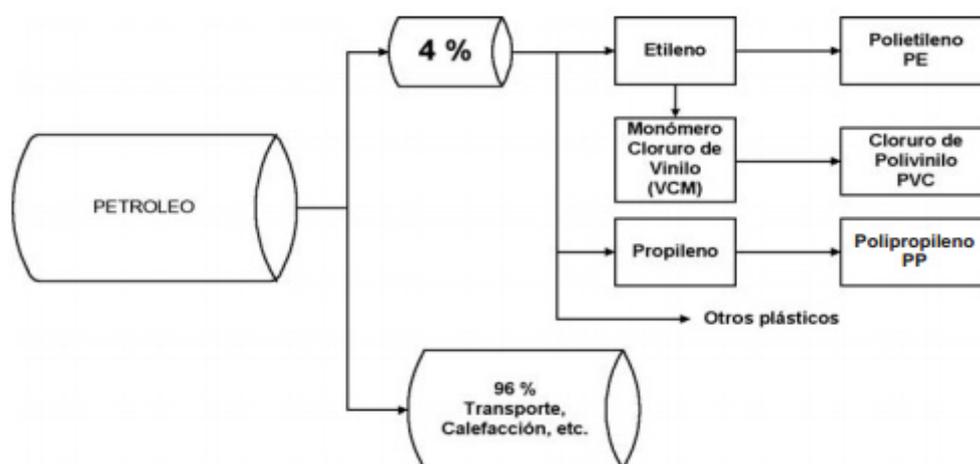


Figura 9. Diagrama de Distribución del Petróleo

Fuente: Manual Técnico PE - Plomylen Tuberías de Polietileno

De manera general los materiales plásticos pueden ser de dos tipos termoplásticos y termoestables. Los termoplásticos pueden cambiar una o varias veces de forma con la acción combinada de aumento de temperatura y presión, reblandeciéndose a partir de temperaturas de entre 60 y 120 grados centígrados y endureciéndose al enfriarse. Los termoestables en cambio no pueden cambiar de forma debido a una operación química irreversible durante la fabricación de la pieza.

Materiales plásticos termoplásticos empleados en la fabricación de tuberías son el PVC, PE y el PP. Como material termoestable tenemos al PRFV.

Entre sus características y ventajas generales se tiene: peso liviano, fácil instalación, fácil transporte, resistencia a fluidos corrosivos, ausencia de sedimentos e incrustaciones, baja rugosidad, larga vida útil (mínimo 50 años), resistencia a agentes químicos, múltiples sistemas de unión, resistentes a microorganismos y no toxicidad. También tienen desventajas como la vulnerabilidad de deformarse a determinadas temperaturas y esfuerzos de trabajo.

La mayoría de ellas solo soportan presiones bajas, sin embargo son las únicas resistentes a la corrosión provocada por suelos muy agresivos donde el pH es muy alto o existen alta concentración de cloruros o sulfatos.

En la caracterización de las tuberías, especialmente en las tuberías termoplásticas se utilizan varios términos específicos, los cuales se presentan a continuación:

Presión de funcionamiento admisible (PFA). Presión máxima permanente de servicio que los distintos componentes puedan resistir.

Presión máxima admisible (PMA). Presión máxima que los distintos componentes pueden resistir, inclusive los producidos por fenómenos como el golpe de ariete.

Presión de prueba en obra admisible (PEA). Máxima presión hidrostática capaz de soportar los componentes recién instalados durante un corto tiempo, garantizando integridad y hermeticidad de tuberías.

Presión Nominal (PN). Se refiere a la presión de funcionamiento admisible (PFA) durante un plazo de 50 años a una temperatura de 20°C. El PN para otras temperaturas resulta de la división del PFA sobre el factor de corrección.

Serie (S). Resulta de la relación entre el radio medio (r_m) teórico y el espesor nominal (e). Parámetro adimensional, que permite clasificar los tubos.

$$S = r_m/e \quad (21)$$

$$r_m = (DN - e)/2 \quad (22)$$

Relación de Dimensiones Estándar (SDR). Relación entre el diámetro nominal (DN) y espesor nominal (e). El SDR es muy útil ya que también se lo relaciona con la clasificación de la presión del tubo.

$$SDR = DN/e \quad (23)$$

Relación entre S y SDR :

$$S = (SDR - 1)/2 \quad (24)$$

Rigidez circunferencial específica (S_c). Característica mecánica del tubo que representa su rigidez a la flexión transversal por unidad de longitud del mismo a corto o largo plazo (S_0 o S_{50}), expresada en $[N/mm^2]$

$$S_c = EI/D_m^3 \quad (25)$$

Dónde: E : módulo de elasticidad a flexión circunferencial (N/mm^2)

I : módulo de inercia de pared del tubo por unidad de longitud ($I=e^3/12$, expresado en mm^3)

D_m : Diámetro métrico del tubo ($D_m = DN - e$, expresado en mm)

Rigidez Nominal (SN). Valor que coincide aproximadamente con rigidez circunferencial específica a corto plazo. Unidades $[kN/m^2]$.

Límite Inferior de confianza (LCL). Representa el límite inferior de confianza al 97,5% de la resistencia hidrostática a una temperatura de $20^\circ C$ durante un

plazo de 50 años. Se considera como una propiedad del material y se expresa en MPa

Tensión Mínima Requerida (MRS). LCL aproximado al número más próximo de la serie R20 de números preferidos normalizados de Renard¹⁴.

Serie R20 de los números de Renard	
1 - 1,12 - 1,25 - 1,4 - 1,6 - 1,8 - 2 - 2,24 - 2,5 - 2,8 - 3,15 - 3,55 - 4 - 4,5 - 5 - 5,60 - 6,3 - 7,1 - 8 - 9 - 10 - 11,2 - 12 - 14 - 16 - 18 - 20 - 22,4 - 25 - 28 - 32 - 35,5 - 40 - 44 - 50 - 56 - 63 - 71 - 80 - 90 - 100	

Tabla IV. Serie R20 de los números de Renard

Fuente: ISO 3 :1973,Preferred numbers — Series of preferred numbers

Tensión de diseño (σ_s). Tensión a tracción admisible del material. Se obtiene de relación entre la *MRS* y coeficiente de seguridad (*C*) de diseño. *C* debe ser seleccionado entre los siguientes valores de la serie de Renard 1.12, 1.25, 1.40, 1.60, 1.80, 2.00, 2.24, 2.50 y 2.80

$$\sigma_s = \frac{MRS}{C} \quad (26)$$

La relación entre los distintos parámetros (*LCL*, *MRS*, *C* y σ_s) se representa en la siguiente figura

¹⁴Para consultar información acerca de números preferidos o series de Renard, revisar: GPE INEN 2 (1973) (Spanish): Guía para el uso de los números preferidos

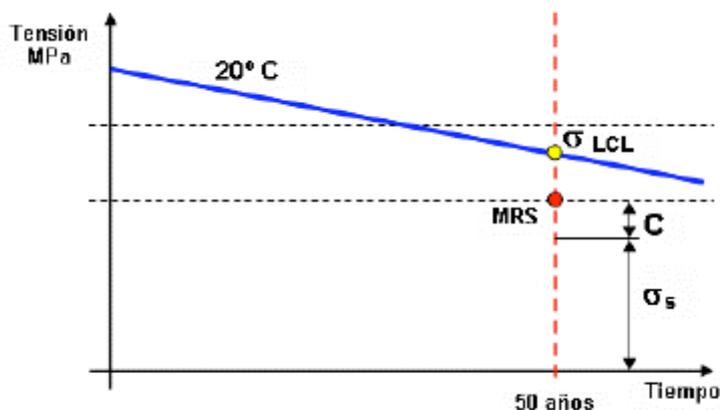


Figura 10. Representación esquemática de parámetros para la caracterización del comportamiento mecánico de tubos termoplásticos.

Fuente: Guía técnica “Las tuberías plásticas en las obras hidráulicas”. AseTUB

A continuación se describirá de forma breve las características de las tuberías de PRFV, PVC y PE los cuales son los materiales plásticos mayormente empleados:

Tubería de PRFV

Las tuberías de PRFV se constituyen de una serie de capas y componentes entre los cuales constan la fibra de vidrio, resina de poliéster y otros materiales. El PRFV es un material termoestable lo que le permite conservar su estabilidad dimensional en un medio caliente. Sus siglas PRFV significan Poliester Reforzado con Fibra de Vidrio. También se conoce como GRP (Glass Reinforced Plastic) o GFRP (Glass Fiber Reinforced Plastic).

Existen tres métodos de fabricación de esta tubería: mandril de avance

continuo, centrifugado y enrollamiento cruzado.

Este tipo de tubería se caracteriza por tener: una alta resistencia a ambientes agresivos, resistencia a la corrosión, alta resistencia mecánica, ligereza, superficie interior lisa, variedad de accesorios.



Figura 11. Tubería de PRFV DN 2000MM

Fuente: Guía técnica “Las tuberías plásticas en las obras hidráulicas”. AseTUB

Las principales normas que debe cumplir este tipo de tubería para la instalación y conducción de agua a presión son:

- ASTM D3517, Fiberglass Pressure Pipe
- AWWA C-950 Fiberglass Pressure Pipe
- ISO 10639-2001 Especificación de Sistemas de conducción plásticos para suministro de agua, con o sin presión - Tubos de resinas poliéster insaturadas reforzados con fibra de vidrio

Otras Especificaciones de origen Europeo:

- UNE-EN 1796
- UNE-EN 14364

Los sistemas de unión¹⁵ más habituales en este tipo de tubería son:

- Unión rígida: bridas fijas o móviles, pegadas, químicas a tope o laminadas.
- Unión flexible: Enchufe y extremo liso con anillo elastomérico, manguitos y autotrabada (para esfuerzos de tracción).

Características Técnicas:

- Densidad $>1800 \text{ kg/m}^3$
- Módulo de elasticidad = $10^4 - 4 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$
- Alargamiento a la rotura = $1 - 3\%$
- Coeficiente de dilatación $2 - 3 \times 10^{-5} \text{ m/m } ^\circ\text{C}^{-1}$

Tuberías de PVC

El policloruro de vinilo (PVC) es una resina plástica obtenida a partir de la polimerización del monómero de cloruro de vinilo (MVC). Dependiendo del

¹⁵ Ver en Anexo 1 ilustraciones de Sistemas de unión de tubería PRFV

uso a darse se agregan aditivos con el fin de mejorar a adecuar características físicas y químicas.

Para el transporte de agua a presión se tienen los tubos de PVC-U (tubo no plastificado) y PVC-O (orientación molecular). Sus principales usos son:

- Abastecimiento de agua potable
- Alcantarillado
- Drenaje
- Regadío

Los tubos de **PVC-U** tienen un excelente comportamiento en entornos agresivos y son resistentes a casi todo tipo de corrosión. Son inertes, por lo que no alteran propiedades del flujo transportado. Tienen una estructura rígida y su superficie es muy lisa por lo que las pérdidas a lo largo de su extensión son mínimas. Se clasifican generalmente de acuerdo a su DN y SDR.

Debido a la disminución con el tiempo de su resistencia y módulo de elasticidad se dimensionan para la resistencia que tendrán en 50 años, por tanto a corto plazo estos elementos están sobredimensionados.

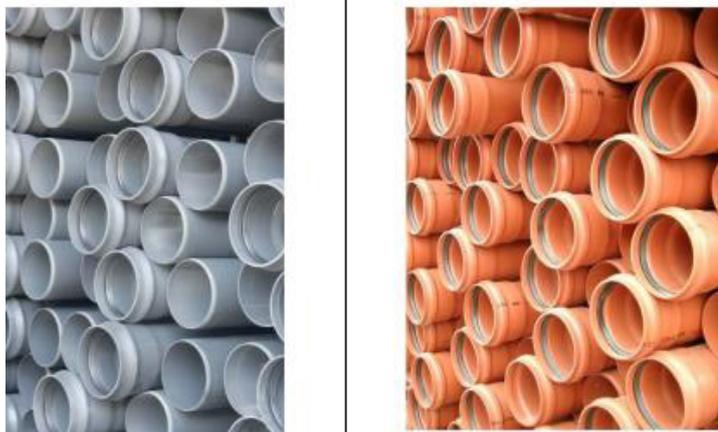


Figura 12. Apariencia de Tubería PVC-U. A la izquierda de color gris destinado para abastecimiento y a la derecha color marrón destinado para saneamiento

Fuente: Guía técnica “Las tuberías plásticas en las obras hidráulicas”. AseTUB

Las tuberías PVC-U cumplen con las siguientes normas:

- ISO 4422-2 - Pipes and fittings made of unplasticized poly(vinyl chloride) (PVC-U) for water supply
- EN 1452-2 - Plastics piping systems for water supply and for buried and above-ground drainage and sewerage under pressure. Unplasticized poly(vinyl chloride) (PVC U). Pipes
- BS 3505 – Specification for unplasticized polyvinyl chloride (PVC-U) pressure pipes for cold potable water
- AWWA C900 - PVC Water Transmission & Distribution Pipe

La norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1373:2010 establece los requerimientos que deben cumplir los tubos y accesorios de PVC rígido para la conducción de agua a presión.

Admiten diversos sistemas de unión siendo los más comunes: unión

encolada, unión elástica con anillo elastomérico, unión con bridas y unión mecánica¹⁶.

Características técnicas:

- Densidad = 1.350 - 1.460 kg/m³
- Módulo de elasticidad = 1750 – 3000 N/mm²
- Alargamiento en rotura= 80%
- Coeficiente de dilatación= 8×10^{-5} m/m °C⁻¹

Las tuberías de **PVC-O** poseen características mejoradas debido a sus métodos de fabricación. Al orientar las moléculas que lo componen, se logra incrementar la resistencia al impacto, resistencia hidrostática, aumento capacidad hidráulica a corto y largo plazo, mayor flexibilidad, entre otras. Debido a sus características se aprovechan mejor en conducciones de media y alta presión. Su estructura al igual que las de PVC-U es rígida y sus paredes son muy lisas.

¹⁶ Anexo 1 Sistemas de unión de tubería de PVC.



Figura 13. Efecto de la orientación estructural polimérica.

Fuente: Guía Técnica RIVAL 'La nueva generación de tubería PVC Orientado', 2011

Se aplican para los mismos usos descritos para el tubo de PVC-U. Su clasificación es en base a coeficiente de seguridad C y por el DN, PN o MRS.

Algunas de las normas con la cual cumple esta tubería son:

- ISO 16422:2006 – Pipes and joints made of oriented unplasticized poly (vinyl chloride) (PVC-O) for the conveyance of water under pressure.
- ANSI//AWWA – C909-02 Molecularly Oriented Polivinyl Chloride (PVCO) Pressure Pipe for Water Distribution.



Figura 14. Apariencia de tubos apilados de PVC-O.

Fuente: Guía técnica "Las tuberías plásticas en las obras hidráulicas". AseTUB

La unión de este tipo de tuberías se realiza habitualmente por uniones

elásticas con anillo elastomérico y se descartan las uniones encoladas.

Características técnicas

- Densidad = 1.420 kg/m^3
- Módulo de elasticidad = $2000 - 4000 \text{ N/mm}^2$
- Alargamiento en rotura = 100%
- Coeficiente de dilatación = $5 \times 10^{-5} \text{ m/m } ^\circ\text{C}^{-1}$

Tuberías de Polietileno

El polietileno (PE) es uno de los plásticos más comunes y se lo obtiene de la polimerización del etileno. Los tubos de PE se conforman a partir de resinas de polietileno, pigmentos y aditivos, los cuales mejoran características físicas y químicas. Se pueden clasificar de acuerdo a su MRS, SDR y serie (S).

Sirven en una gran cantidad de aplicaciones en obra civil como: abastecimiento de agua potable, saneamiento, regadío, reutilización de aguas residuales, aplicaciones industriales, emisarios submarinos, acometidas domiciliarias, rehabilitación de conducciones existentes, instalación sin apertura de zanja.

Se pueden fabricar estos tubos en diferentes colores de acuerdo al tipo de aplicación. Así tenemos:

- Abastecimiento y agua potable colores azul o negro con bandas azules.
- Saneamiento: color negro o negro con bandas marrones
- Reutilización de aguas: color negro o color negro con bandas marrones o moradas



Figura 15. (Der) Tubo PE para abastecimiento, (izq) tubo PE para saneamiento.
Fuente: Guía técnica “Las tuberías plásticas en las obras hidráulicas”. AseTUB

Gracias a su flexibilidad pueden ser suministradas en rollos en diámetros de hasta 110mm.



Figura 16. Tubo de PE en barras rectas y en rollos
Fuente: Guía técnica “Las tuberías plásticas en las obras hidráulicas”. AseTUB

En la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1744:2009 establece los requisitos que debe de cumplir los tubos de polietileno, tanto para la conducción de agua potable como para uso general.

Entre las principales normas internacionales para el abastecimiento y distribución de agua para este tipo de tuberías tenemos:

- ISO-4427 Polyethylene (PE) pipes for water supply – Specifications. International Organization for Standardization. (Tuberías para el suministro de agua).
- ASTM-F-714: Standard Specification for Polyethylene (PE) Plastic Pipe (SDR-PR) (Especificación Estándar para Tubería Plástica de Polietileno).
- AWWA C901: Polyethylene (PE) Pressure Pipe and Tubing, 1/2 in. through 3in. for Water Service (Tubería y Entubado de Presión de Polietileno, 1/2 pulgada hasta 3 pulgadas para Servicio de Agua).
- AWWA C906: Standard for Polyethylene (PE) Pressure Pipe and Fittings 4 in. through 63 in., for Water Distribution (Norma para Tubería de Presión de Polietileno de 4 pulgada hasta 63 pulg., para Distribución de Agua).

Los sistemas para unir este tipo de tuberías son: electrofusión, termofusión (soldadura a tope) y uniones mecánicas.

Características técnicas:

- Densidad = 930 kg/m^3
- Módulo de elasticidad = $150 - 1000 \text{ N/mm}^2$
- Alargamiento en rotura= 350%
- Coeficiente de dilatación= $22 - 23 \times 10^{-5} \text{ m/m } ^\circ\text{C}^{-1}$

2.3.4 Criterio de selección de tuberías

Criterio tradicional de selección

Este criterio se basa en la solitud de presión interna, ejercida por el fluido sobre la tubería. Esto se relaciona al concepto de “Clase” de una tubería. Los fabricantes de tuberías de materiales homogéneos estipulan valores de rotura para presiones internas, ello permite determinar espesores para diferentes presiones requeridas, las cuales definen las denominadas “Clases” de las tuberías.

En resumen el criterio tradicional estipula que las tuberías de igual clase e igual diámetro nominal prestan el mismo servicio siendo el material de la tubería indiferente. Con ello se obtiene probablemente obras más baratas pero no necesariamente más económicas, dado que se dejan de lado otro tipo de consideraciones a ser tomadas en cuenta desde el punto de vista técnico y económico.

Criterio moderno de selección

El criterio de selección moderna contempla la comparación de costos previo al diseño, considerando las diferentes alternativas en el mercado que presten servicio equivalente.

Para ello es preciso analizar las diferentes sollicitaciones requeridas por la tubería a instalar.

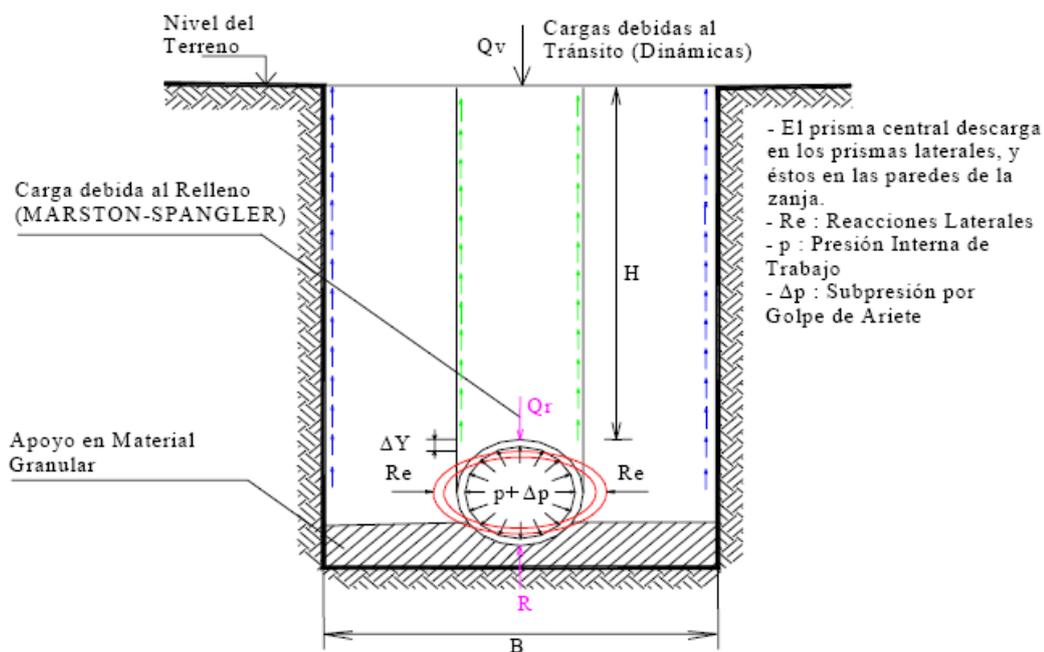


Figura 17. Sollicitaciones en tuberías instaladas en Zanja

Fuente: "Criterios de Diseño, Cálculo y Selección de Tuberías en Base al Criterio de las Prestaciones Equivalentes", Ing. Luis E. Pérez Farrás, Ing. Sandra Pérez

En la figura previa se pueden ver fuerzas actuantes sobre la tubería en una sección típica de una tubería instalada en zanja. Del análisis de la figura surgirá la selección de la tubería más adecuada.

Por tanto a la solicitud de presión interna ha de agregársele, la carga de relleno que afectará a la tubería, en función de las características de la zanja y propiedades mecánicas del suelo. Así mismo se deben considerar acciones ejercidas por cargas dinámicas, sobrepresiones o depresiones que pueden producir golpe de ariete o aplastamiento, corrosión a nivel externo o interno.

Todas estas solicitudes a analizar dan paso a las “Prestaciones Equivalentes”

Prestaciones Equivalentes

El concepto de prestaciones equivalentes implica la comparación de todos los productos del mercado, con lo que podemos obtener un diseño económico de conducciones al analizar diferentes alternativas que presten un servicio equivalente. Esta comparación debe realizarse tomando en cuenta no solo el costo de las tuberías, sino también los costos asociados a esta, relacionados a las particularidades de cada material disponible.

Por costos asociados podemos entender:

Costos de transporte.- Dependiente de las características de la tubería como de la ubicación de la fábrica y de la obra.

Costos de instalación.- Considera dificultades de instalación, accesorios,

material y equipo; así como también costos de excavación, relleno, tipo de zanja, etc.

Costos de Protección contra la corrosión.- Revestimientos internos o externos necesarios según el tipo de material, protección catódica o utilización de cementos de alta resistencia a los sulfatos.

Costos de Protección de movimientos transitorios.- Comprende dispositivos a instalarse para la protección de fenómenos como golpe de ariete o aplastamiento.

Las prestaciones equivalentes implican 6 puntos a ser comparados:

1. Verificación de caudales en función de diámetros internos reales y coeficientes de rugosidad de los diferentes materiales.
2. Verificación de presión interna de trabajo en condiciones normales. Esta se relaciona con la selección tradicional por "clase".
3. Verificación o dimensionado tomando en cuenta condiciones anormales que pudieran provocar los fenómenos transitorios, con la apropiada instalación de válvulas de aire.
4. Verificación o redimensionamiento en referencia a cargas generadas por el relleno soportado por el conducto lo cual está relacionado a la interacción suelo-zanja.
5. Verificación o redimensionamiento considerando cargas dinámicas.

6. Verificación de ataques corrosivos externos o internos a la tubería.

2.3.5 Comportamiento Mecánico

Influencia del suelo y tráfico sobre tubería

Una tubería enterrada está expuesta a fuerzas verticales y horizontales. El grado de compactación incide en el comportamiento del tubo sobre el suelo, lo ideal es alcanzar un nivel de compactación mayor al 94% o al menos una compactación moderada no menor del 87% de manera que sea lo más semejante a las condiciones existentes del terreno, aunque en la práctica muchas veces no se cumple esto.

La rigidez es una propiedad del tubo de resistirse a la deflexión y es un parámetro que nos ayuda a comprender de mejor manera la acción de las fuerzas actuantes. Tubos rígidos tienden a soportar cargas del suelo, mientras que los tubos flexibles se deforman por acción de estas cargas tienden a deformarse de forma elíptica, transmitiendo parte de la carga al suelo.

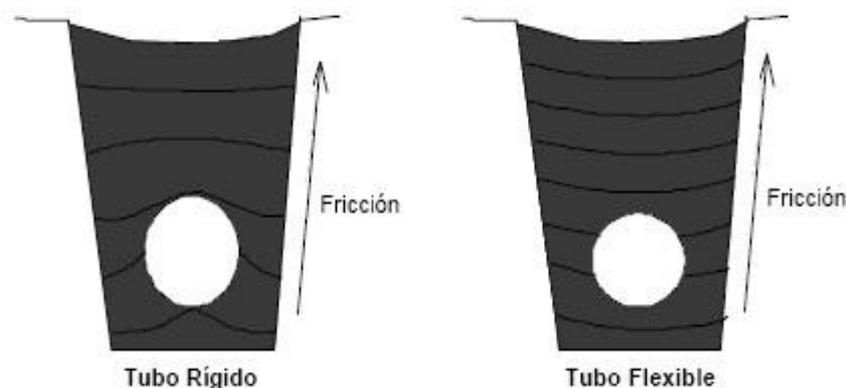


Figura 18. Acción del suelo sobre el tubo

Fuente: Criterios de diseño para Redes de Agua potable empleando tubería de PVC. Tubos Flexibles, S.A. de C.V. Pag.7-3

Normas como la ASTM D 3034 recomiendan deflexiones no más de 7,5% en tuberías plásticas; para evitar una disminución significativa de la capacidad de conducción

DEFLEXIÓN (%)	% REDUCCIÓN DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA FORMA CIRCULAR A ELÍPTICA	% REDUCCIÓN DEL GASTO
5,0	0,366	0,6
7,5	0,898	1,3
10,0	1,431	2,4
15,0	3,146	5,2
20,0	5,473	8,9
25,0	8,378	13,6
30,0	11,814	18,9
35,0	15,761	24,9

Tabla V. Reducción de la sección transversal de forma circular a elíptica

Fuente: Referencia Unibell Deflection The Pipe/Soil Mechanism, 1982

Cargas móviles como el tráfico vehicular también afecta a la tubería. Mientras más cercano el tubo este de la superficie mayor será la influencia generada y a medida que aumenta la profundidad del tubo la influencia disminuye. Se tiene una clasificación de vehículos de acuerdo pesos máximos, longitudes permitidas y distribución de peso por eje

Deflexión

En el análisis de la deflexión se debe tomar en cuenta tres factores: cargas fijas & móviles, rigidez del suelo y rigidez de la tubería.

Existen varias expresiones que permiten calcular la deflexión de las tuberías debido a cargas muertas y móviles.

La mayoría de ellas están desarrolladas en base de la siguiente expresión general:

$$Deflexión = \frac{Cargas\ Externas}{Rigidez\ Suelo + Rigidez\ del\ tubo} \quad (27)$$

Deflexión de Spangler

Es una de las expresiones más usadas para el cálculo de la deflexión. Esta expresión relaciona características del suelo, tubería y además se caracteriza por considera un factor de deflexión a largo plazo. También se la conoce como “Formula de Iowa”

$$\Delta x = \frac{DL K (W_c + W_{sc}) r^3}{EI + 0,061 E2 r^4} \quad (28)$$

Dónde: Δx = Deflexión del tubo en base a diámetro original

DL = Factor de retardo en la deflexión

K = constante de encamado

W_c = Carga muerta de Marston por unidad de longitud de tubería

W_{sc} = Carga viva de Marston por unidad de longitud de tubería

r = Radio medio de la tubería

E = Módulo de elasticidad del material del tubo

I = momento de inercia de la pared del tubo por unidad de longitud

$E2$ = Modulo de resistencia de reacción pasiva del material a los lados del tubo

Las cargas muertas se calculan con la relación de Martson:

$$W_c = Cd \gamma Bd \quad (29)$$

Dónde: γ = Densidad del relleno (MN/m³ ó kg/cm³)

Bd = Ancho de la zanja (m ó n)

Cd = Coeficiente de carga para conductos instalados en zanja (adimensional)

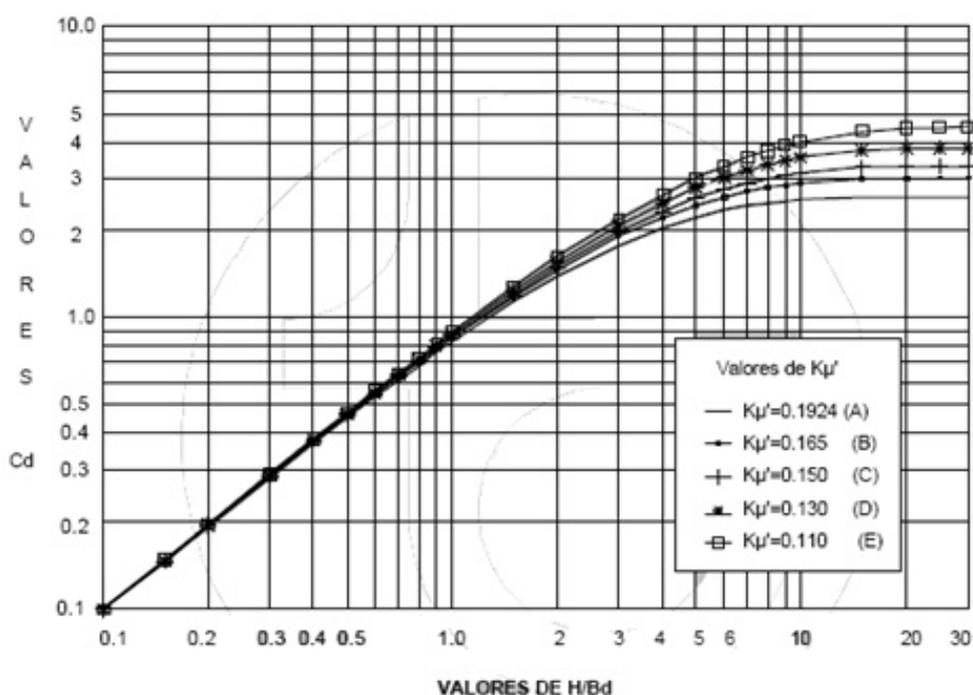
Cd se calcula con la expresión:

$$Cd = \frac{1 - e^{-2k\mu' \frac{H}{Bd}}}{2k\mu'} \quad (30)$$

Dónde: H = Profundidad del relleno (m)

$k\mu'$ = Factor determinado por la relación de la presión horizontal y vertical (k) y la fricción de la pared de la zanja (adimensional)

e = Base de los logaritmos naturales



(A) Para materiales granulares sin cohesión; (B) Máximo para arena y grava; (C) Máximo para suelos saturados; (D) Máximo para arcillas; (E) Máximo para arcillas saturadas.

Figura 19. Valores del coeficiente Cd

Fuente: Criterios de diseño para Redes de Agua potable empleando tubería de PVC. Tubos Flexibles, S.A. de C.V.

La presión del suelo debida a la carga viva se determina con la siguiente expresión, la cual es una modificación de la teoría de Boussinesq:

$$W_{SC} = C_s \frac{P F'}{L OD} \quad (31)$$

Dónde: P = Carga concentrada en la rueda (0,70 MN ó 7,135.6 kg)

L = Longitud efectiva rueda (0,90 m ó 90 cm)

OD = Diámetro externo de la tubería (m ó cm)

F' = Factor de impacto (adimensional)

C_s = Coeficiente de carga de ruedas (adimensional)

Factor de impacto se lo puede determinar con la siguiente tabla.

Profundidad de Enterramiento (m)	Carreteras	Vías de FF.CC.	Pistas de Aterrizaje
0.0 a 0.3	1.50	1.75	1.00
0.3 a 0.6	1.35	-	1.00
0.6 a 0.9	1.15	-	1.00
Mayor a 0.9	1.00	-	1.00

Nota: Para propósitos prácticos se puede tomar un valor de 1.5 excepto en cruces de vías de FF. CC.
Fuente : Ref. (32)

Tabla VI. Factor de impacto vs profundidad del terreno

Fuente: Criterios de diseño para Redes de Agua potable empleando tubería de PVC. Tubos Flexibles, S.A. de C.V. Pag.7-8

Coeficiente de carga de ruedas C_s puede ser estimado a partir de los siguientes gráficos, de acuerdo al diámetro de la tubería:

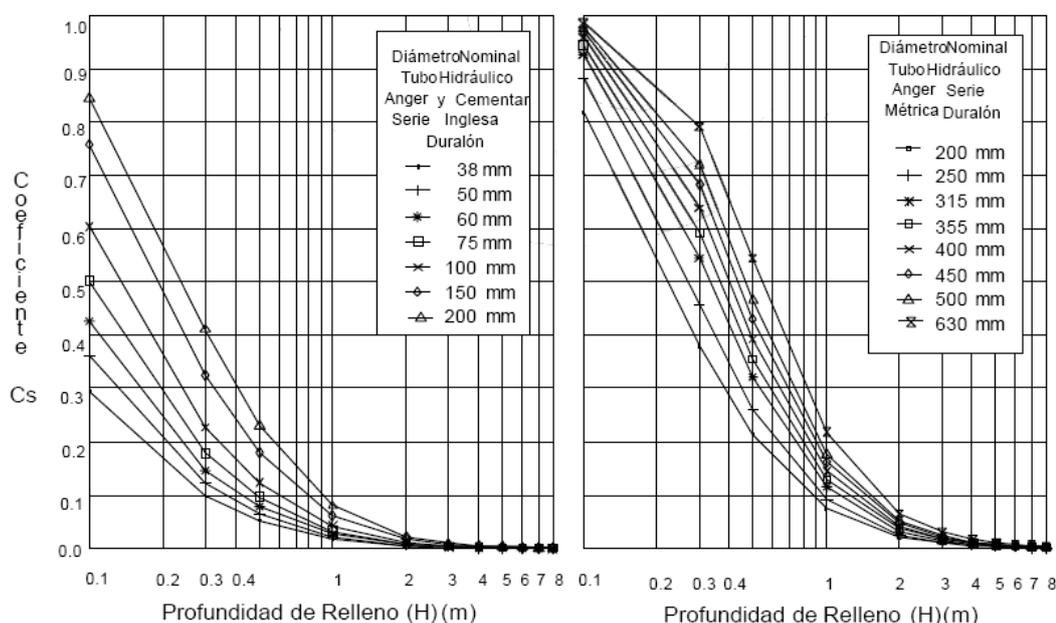


Figura 20. Valor de Coeficiente Cs para distintos diámetros de tubería.

Fuente: Criterios de diseño para Redes de Agua potable empleando tubería de PVC. Tubos Flexibles, S.A. de C.V.

Formula de Iowa modificada

En 1958, Reynolds K. Watkins investigó el módulo de resistencia de reacción pasiva del material (E_2) y encontró que este no podría ser una propiedad verdadera del suelo. Como resultado de su investigación, se definió un nuevo parámetro, el módulo de reacción del suelo $E=er$. Al reemplazar sobre la Fórmula de Iowa se obtiene la *Formula de Iowa Modificada*.

$$\Delta x = \frac{DL K (W_c + W_{sc}) r^3}{EI + 0,061 E' r^3} \quad (32)$$

Donde; E' = Modulo de reacción del suelo

Clasificación de Suelos

Entre los sistemas para clasificación de suelos tenemos la Clasificación ASTM con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)¹⁷ y la clasificación AASHTO M 145-66

En la clasificación ASTM se establece como límite el 50% del pasante del tamiz N°200 para separar suelos gruesos y finos. La clasificación AASHTO establece este límite el un 35% del pasante del tamiz N° 200. Para las tuberías plásticas empíricamente se ha estimado el módulo de reacción del suelo E' de acuerdo al grado de compactación y los diversos tipos de suelos.

¹⁷ Ver en Anexo 3 tabla de clasificación de suelos SUCS (D-2487 ASTM)

TIPO DE SUELO PARA ENCAMADO DE TUBERIAS (SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS - SUCS-) (1)	E' según el grado de compactación del encamado			
	A VOLTEO (2)	LIGERO, Proctor <85% Densidad relativa <40% (3)	MODERADO, Proctor 85% - 95 % Densidad relativa 40% - 70% (4)	ALTO, Proctor >95% Densidad relativa >70% (5)
Suelos bien graduados (LL>50) ^p , Suelos con media a alta plasticidad, CH, MH, CH-MH	Use E' = 0			
Suelos bien graduados (LL<50), Suelos con media a nula plasticidad CL, ML, ML-CL, con menos de 25 % de partículas gruesas.	3.52 kg/cm ² 50 PSI 0.35 MN/m ²	14.06 kg/cm ² 200 PSI 1.38 MN/m ²	28.13 kg/cm ² 400 PSI 2.76 MN/m ²	70.32 kg/cm ² 1000 PSI 6.90 MN/m ²
Suelos bien graduados (LL<50), Suelos con media a nula plasticidad CL, ML, ML-CL, con más del 25 % de partículas gruesas Suelos de partículas gruesas con finos GM, GC, SM, SC ^c conteniendo más del 12 % de finos	7.03 kg/cm ² 100 PSI 0.69 MN/m ²	28.13 kg/cm ² 400 PSI 2.76 MN/m ²	70.32 kg/cm ² 1000 PSI 6.90 MN/m ²	140.65 kg/cm ² 2000 PSI 13.80 MN/m ²
Suelos de partículas gruesas con pocos o sin finos GW, GP, SW, SP ^c conteniendo menos del 12% de finos	14.06 kg/cm ² 200 PSI 1.38 MN/m ²	70.32 kg/cm ² 1000 PSI 6.90 MN/m ²	140.65 kg/cm ² 2000 PSI 13.80 MN/m ²	210.97 kg/cm ² 3000 PSI 20.70 MN/m ²
Roca triturada	70.32 kg/cm ² 1000 PSI 6.9 MN/m ²	210.97 kg/cm ² 3000 PSI 20.70 MN/m ²	210.97 kg/cm ² 3000 PSI 20.70 MN/m ²	210.97 kg/cm ² 3000 PSI 20.70 MN/m ²
Precisión en términos de porcentaje de deflexión ^d	± 2	± 2	± 1	± 0.5

Tabla VII. Valores promedio del módulo de reacción del suelo (E'). Para la deflexión inicial en tubos flexibles.

Fuente: Criterios de diseño para Redes de Agua potable empleando tubería de PVC. Tubos Flexibles, S.A. de C.V.

2.4 Calidad del Agua potable

Generalidades

La principal causa del control de la calidad del agua potable es evitar enfermedades relacionadas al agua de consumo, que puede afectar en gran manera a la salud de una población. El agua potable no debe significar ningún riesgo para el consumo de una persona durante toda su vida.

Al hablar de la calidad del agua en general no se lo puede determinar como

algo absoluto sino más bien relativo, todo depende de la aplicación o uso que se le dé. Por ejemplo, el agua destilada tiene un alto grado de pureza pero no es apta para el consumo personas, por ello cuando hacemos referencia a la calidad del agua es necesario anotar el propósito de la misma (calidad de agua para uso potable, calidad del agua para uso agrícola, etc.)

Para determinar la calidad del agua en sus diferentes usos es importante seguir normas y reglamentos los cuales de preferencia deben estar basados en las condiciones locales o nacionales siguiendo una base científica y evitando el desarrollo de normas cuya relevancia de salud sea menor.

Generalmente los problemas de salud presentados respecto al agua de consumo son: la contaminación por microorganismos y en un menor grado contaminación de tipo químico que generan graves problemas de salud.

2.4.1 Aspectos Microbiológicos.

Los principales riesgos de contaminación microbiana son aquellos resultados de agua contaminada con excrementos humanos, animales; los cuales son fuente de patógenos.

Un sistema de distribución puede proporcionar un hábitat, a microorganismos que se alimentan de nutrientes orgánicos o inorgánicos presentes en la tubería y agua transportada. Por ejemplo: Microorganismos

patógenos pueden prosperar en sedimentos o biopelículas generadas por la corrosión.

Otros microorganismos que en su mayoría, aunque no causen daño, forman parte de la cadena alimenticia de otros organismos como bacterias, hongos, gusanos, etc. Además la presencia excesiva de microorganismos puede generar deterioros en el estado del agua, generando malos olores y sabores al agua de consumo.

No es suficiente con realizar análisis del agua tratada como producto final de la potabilización para garantizar la calidad del agua de consumo. Para asegurar la calidad del agua, es necesario seguir planes de seguridad del agua (PSA).

PSA son planteamientos que se basan en la evaluación y gestión de un sistema de agua potable con el fin de garantizar la seguridad de la salud de una población y están presentes en las diferentes etapas del sistema, desde el abastecimiento hasta la distribución. La OMS recomienda a los proveedores de agua elaborar y ejecutar PSA

Los PSA tienen por componentes:

- Evaluación del sistema
- Monitorio operativo eficaz

- Planes de Gestión

Los PSA¹⁸ permiten reducir la contaminación en el punto de origen, reducir o eliminar contaminantes con operaciones de tratamiento y evitar contaminación durante el almacenamiento y distribución del agua de consumo.

Agua de consumo contaminada puede desencadenar un brote de enfermedades y afectar a comunidades completas antes que se detecte la causa. Microorganismos¹⁹ como el dracúnculo, cianobacterias tóxicas y las legionelas pueden ocasionar malestares o problemas de salud pública.

La desinfección es parte importante en el proceso de potabilización. La eliminación de microorganismos patógenos es fundamental y para ello se usa productos químicos como el cloro. El uso de productos químicos puede traer como consecuencia la generación de subproductos, sin embargo el riesgo de afectación de estos es en extremo menor. Suelen suministrarse cantidades residuales de desinfectante para controlar el crecimiento de microorganismo que pudieran haber resistido a una desinfección inicial. Estas acciones

¹⁸ Mayor información sobre directrices para la aplicación PSA consultar publicaciones emitidas por la OMS en http://www.who.int/water_sanitation_health/en/

¹⁹ En el capítulo 11 del documento “Guías para la calidad del agua potable” emitido por OMS se puede encontrar hojas de información microbiológica de varias bacterias, virus, protozoos patógenos.

ayudan a mantener un control microbiano del sistema pero no sustituyen operaciones de mantenimiento y limpieza de la red.

2.4.2 Aspectos Químicos

Los riesgos químicos son muy diferentes a los efectos microbiológicos. Los componentes químicos suelen producir efectos adversos a la salud luego de periodos de tiempo prolongados. Pueden darse casos de una contaminación de alto grado de tipo accidental directamente sobre la fuente de abastecimiento. En este tipo de casos regularmente el olor, sabor y color del agua previene por si sola a los consumidores debido sus características inaceptables.

En ocasiones en que una afectación de corta duración no afecte significativamente la salud, es recomendable tomar medidas correctoras para la eliminación del problema, como montar un sistema de tratamiento exclusivo para eliminar el componente químico.

Pueden existir muchos productos químicos presentes en el agua de consumo, en ciertas cantidades, pero son realmente pocos los que significan un verdadero peligro para la salud. Por tanto debe evitarse la utilización de recursos, cuando estos son escasos, en la eliminación de componentes químicos que no significan una amenaza real para la salud de las personas.

Sin embargo existen otros compuestos ²⁰ que en diversos casos representan un peligro para los consumidores. Concentraciones altas de fluoruro, de origen natural, pueden causar fluorosis esquelética incapacitante. Una exposición excesiva al arsénico de origen natural puede ser causante de cáncer y lesiones cutáneas. El uranio y el selenio también pueden provocar daños a la salud en concentraciones excesivas. Presencia de nitritos y nitratos, este último presente en fertilizantes, están relacionados con la metahemoglobinemia. El plomo empleado en soldaduras durante proceso constructivo o reparaciones puede ocasionar efectos neurológicos adversos.

También existen sustancias cuya presencia podría representar beneficios en referencia a la prevención de enfermedades. El valor de referencia de un componente químico en el agua suele estar dado por la concentración del mismo que no representa un problema significativo para la salud.

2.4.3 Calidad del agua en el diseño y operación de redes

2.4.3.1 Condiciones hidráulicas

En el propósito de llevar un adecuado control de la calidad del agua en cuanto al aspecto microbiológico, es importante minimizar los tiempos de

²⁰ En el capítulo 12 del documento “Guías para la calidad del agua potable” emitido por OMS se puede encontrar hojas de información sobre varias sustancias químicas.

circulación y evitar presiones y caudales reducidos. Estos requerimientos tienen que ser equilibrados en aspectos prácticos de suministro acorde a la localización de usuarios y donde la tubería pudo haber sido instalada.

Capacidad excesiva

La capacidad del sistema no debe ser excesiva (capacidad excesiva se puede traducir en largo tránsito del fluido hasta llegar a ser consumido) a menos que se requiere para satisfacer un aumento proyectado para una futura demanda. La capacidad excesiva debe ser evitada con el fin de evitar un posible cambio en la calidad microbiológica del agua.

Flujo reducido en circuitos abiertos

Secciones de bajo flujo como redes abiertas en callejones sin salida deben ser lo más cortos posible. Estos pueden causar problemas al acumularse sedimentos de manera permanente. Se debe verificar periódicamente la calidad de agua suministrada en estos puntos.

Presiones negativas

Siempre debe evitarse presiones negativas, ya que esto puede provocar contaminación en la red. Aguas subterráneas adyacentes a tubería pueden contener microorganismos de los cuales muchos pueden ser de tipo

patógeno. Modelos hidráulicos pueden ser utilizados para identificar donde y en qué situación se pueden generar presiones negativas.

Presiones negativas pueden darse en los siguientes casos:

- Predios en tierras altas
- Predios remotos al final de largos tramos de tubería
- Lugares en que demanda es mayor a la demanda de diseño
- Capacidad insuficiente de tubería (diámetro pequeño)
- Tuberías con obstrucciones (corrosión, sedimentos, etc.)
- Fallos en equipos hidráulicos (Bombas, válvulas)

Suministro intermitentes

Los sistemas con suministro intermitente significan retos en el control de la calidad del agua, ya que se incrementa el riesgo de un aumento de contraflujo debido a la reducción en la presión. El riesgo se presentará en puntos donde la tubería pase por desagües u otros lugares donde se pueda estancar el agua.

2.4.3.2 Bombas y válvulas

Algunos sistemas son operados con bombas y válvulas reguladoras, las mismas que deben ser dimensionadas correctamente y mantener un

mantenimiento regular con el fin de asegurar la calidad del agua. Si bombas o válvulas fallan se pueden dar presiones bajas o negativas lo cual puede producir el ingreso de contaminantes al sistema. Otras cuestiones a tomar en cuenta son:

- Las válvulas de aire tipo bola pueden permitir el ingreso de aire u otros contaminantes cuando se tienen bajas presiones. Por tanto es importante mantener las cámaras, donde se sitúan estas, limpias y libres de escombros.
- Válvulas de lavado (desagüe) son muy útiles en callejones sin salida para evitar acumulación de sedimentos.

2.4.3.3 Operaciones de mantenimiento

Es importante incorporar a la red accesorios que permitan realizar un adecuado mantenimiento siguiendo prácticas higiénicas que eviten la contaminación de la tubería. Debido a los pocos puntos de acceso puede complicarse más la tarea de dar mantenimiento que en otros tipos de sistemas. Además tareas de mantenimiento o reparaciones requieren en muchas ocasiones dejar fuera de servicio a muchos usuarios, por lo cual estas interrupciones deben ser planificadas.

2.5 Sistema de distribución de agua potable

Un sistema de distribución de agua potable se compone de varios

elementos que en conjunto con obras de ingeniería, permiten proveer agua para el uso doméstico, industriales, riego, evitar o combatir incendios, etc.

En aspectos generales los principales componentes de un sistema de distribución de agua potable son: Fuente, tratamiento, línea de impulsión almacenamiento, distribución.

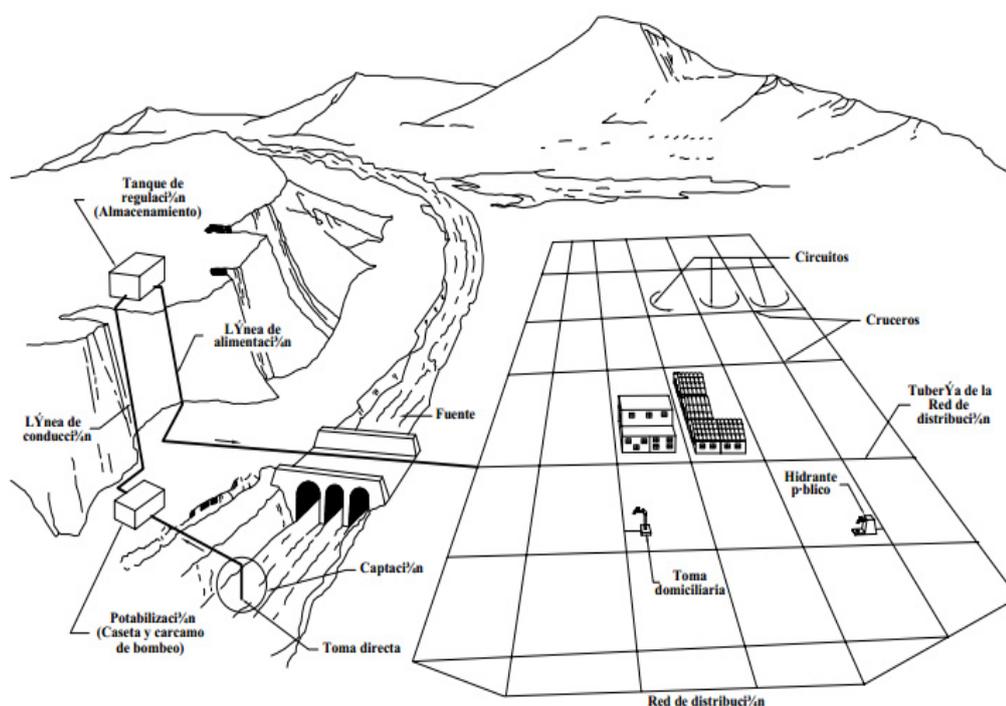


Figura 21. Esquema general de un sistema de abastecimiento de agua potable
Fuente: Abastecimiento de agua potable, Volumen 1, Cesar Valdez, Enrique.

La fuente o abastecimiento es la parte de donde se toma el agua (agua cruda) para posterior tratamiento y distribución. La captación debe ser la suficiente para cubrir el volumen de agua máximo demandado. El tipo de fuente se puede clasificar como: superficial, subterránea o de origen

meteorológico.

El tratamiento o potabilización consiste en un conjunto de procesos de tipo físico y químico que permiten eliminar o reducir la contaminación presente en el agua. Algunos de estos procesos son la adición de químicos, floculación, sedimentación, filtración, desinfección, entre otros.

La línea de impulsión transporta el agua tratada directamente hacia tanques de regulación y almacenamiento mediante bombeo.

El almacenamiento del agua tratada se lo realiza en reservorios o tanques elevados. Permite regularizar la operación de la planta de tratamiento, cubrir o estabilizar la demanda de caudal y presiones de servicio. Así como también mantener una reserva en casos emergentes como incendios, fallas eléctricas, etc.

La distribución consiste en un sistema integrado de tuberías, accesorios y demás elementos que generalmente se encuentran bajo tierra y conducen usualmente el agua por acción de la gravedad. Su función es conducir agua potable a presión de manera continua para el servicio de consumidores. En la distribución encontramos líneas de alimentación, redes de distribución, estaciones de bombeo auxiliares, dispositivos de medición, válvulas, accesorios y derivaciones domiciliarias.

2.5.1 Generalidades. Redes de distribución

Clasificación

En general una red de distribución pueden dividirse en:

- Redes principales o maestras
- Redes secundarias o Distribuidoras

Las principales o maestras son tuberías de diámetro superiores y alimentan a tuberías secundarias o distribuidoras. Las tuberías principales ayudan a mantener presiones por encima del valor mínimo de servicio y conducen mayores caudales. Aquellas tuberías de diámetros mayores a 250mm no admiten conexiones domiciliarias.

Las secundarias o de distribución son de menor diámetro y mediante conexiones a ella suministran el agua potable a los usuarios. En redes de distribución cerradas cubren toda el área comprendida dentro del marco de una malla.

Tipos de redes

El tipo de red según el trazado puede ser de dos tipos: red abierta o ramificada, y red cerrada o sistema de malla. También puede existir la combinación de ambos.

Red abierta o ramificada. Es aquella que cuenta con una tubería principal y de la cual se derivan ramales secundarios que no se interconectan con otras tuberías de la misma red de distribución. Este tipo de redes es muy frecuente en zonas rurales donde muchas veces las condiciones topográficas dificultan o impiden la interconexión de ramales para la conformación de circuitos cerrados.

Red cerrada o sistema de malla.- Este tipo de red se caracteriza por conformar circuitos o la formación de mallas al realizar la interconexión de ramales en una red de distribución de agua potable. El abastecimiento al consumidor se realiza al menos por dos caminos.

Generalmente la configuración de una red de distribución a nivel urbano es de tipo cerrado, en cambio a nivel rural su configuración es de tipo abierta o ramificada. Dado que en un sistema de red cerrada se tiene un mejor control en la operación de la red de distribución.

La selección del tipo de red (abierta o cerrada) depende de características como topografía del terreno, o requerimientos de operación del sistema.

Diseño de redes de distribución

El diseño de una red de distribución requiere de toda la información existente disponible del área de influencia de donde se desarrollará el proyecto.

Es importante contar con planos topográficos mostrando plantas y elevaciones del área a estudiar. No están demás mapas topográficos, hidrográficos, geológicos o fotografías aéreas en caso de no contar con mapas. Con ello el diseñador puede proyectar las redes a instalar e ir considerando instalaciones complementarias en general.

El estudio o conocimiento del suelo es otra información de interés. Se requiere clasificación de suelos, resistencia, pruebas para definir métodos de excavación (zanjas). La cantidad de sondeos dependerá de la envergadura del proyecto. El tipo de terreno puede ser un factor importante para determinar el material de tubería a utilizar.

Así mismo es importante tener bien definido cuál será la fuente de abastecimiento o alimentación del sistema, la cual debe aportar con el caudal y condiciones de servicio suficientes para cubrir las demandas requeridas por el proyecto.

Algunos parámetros a tener en cuenta durante el diseño de una red de distribución son:

La Población. Es el número de habitantes que será abastecido con el servicio durante el tiempo de vida útil del proyecto. La población existente puede ser conocida de registros de censos. En proyectos habitacionales nuevos se verifica el total de lotes o predios y esta cantidad se la multiplica por el

número de integrantes de una familia tipo. La población futura se la calcula en función de porcentajes de crecimiento poblacional. Existen varios métodos para su cálculo (Método Gráfico, Aritmético, Geométrico, incrementos diferenciales, crecimiento por comparación, ajustes por mínimos cuadrados, etc.)

Vida Útil. Se refiere al tiempo en que la obra estará en servicio en un 100%, sin sufrir modificaciones importantes, donde las operaciones y mantenimiento realizados sean los previstos en el proyecto. La vida útil depende mucho de los materiales a seleccionar y de las condiciones de operación y servicio.

Dotación. Corresponde al volumen de consumo de agua potable de cada habitante por día tomando en cuenta las pérdidas físicas, lo cual sirve para calcular los caudales de diseño. Se expresa en las unidades m³/día o litros/habitante/día [l/h/día] y se calcula tomando en consideración factores tales como el clima, costumbres, educación, riego, industrias, comercios, riego parques y áreas verdes; bomberos, desarrollo urbano, etc. Con ello se proyecta y se establece futuros incrementos para establecer la dotación. Los distintos tipos de consumo los podemos dividir de la siguiente manera:

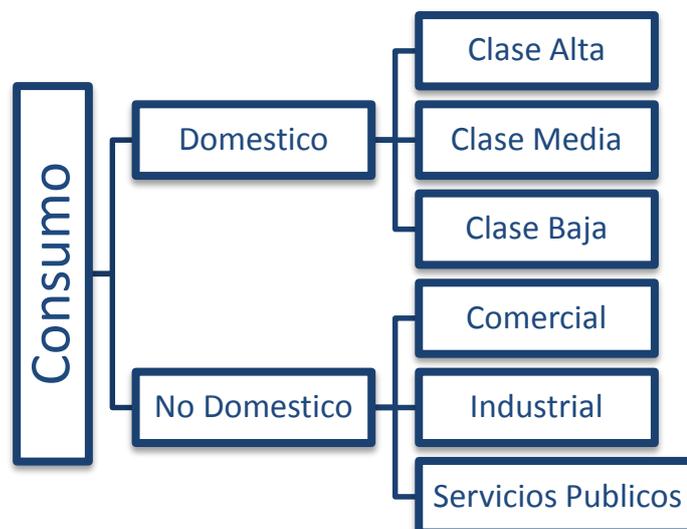


Figura 22. Tipos de consumo

Elaboración: Roberto X. Ramírez Aguilar, 2015

Además existen pérdidas de agua por distintos factores como por ejemplo edad de la tubería y accesorios, presión de servicio, mantenimiento, etc. Todo esto tiene que ser tomado en cuenta al momento de calcular la demanda de consumo para posteriormente determinar la dotación.

Coefficiente de Pico. La demanda de consumo no siempre es la misma. Esta tiene una variación horaria y estacional la cual se puede definir a partir de diagramas y tablas de consumo. La variación en la demanda se la evalúa mediante coeficientes de pico máximos y mínimos. Para un proyecto podría tomarse en cuenta estudios o mediciones existentes de la zona o zonas cercanas para realizar una estimación más próxima a la realidad de los coeficientes pico.

Presión de servicio. La presión de servicio debe ser suficiente para poder llegar a abastecer a la vivienda más alejada del sistema. La presión máxima debe ser tal, que no ocasione daños en los componentes de sistema y que pueda alimentar sin problema a la vivienda más alejada o de cota más elevada. En generalmente se puede estimar servir con una presión entre 15 mca y 50 mca (1,5 bar a 5,0 bar aproximadamente). En poblaciones pequeñas se considera presiones mínimas hasta de 10 mca (1,0 Bar).

CAPITULO 3

3. TUBERÍAS DE PE100-RC

Antes de describir a las tuberías PE 100-RC se empezará dando una introducción más detallada sobre el polietileno y algunas características de las tuberías conformadas a partir de este material.

3.1. Tuberías de Polietileno

Generalidades

El polietileno es el polímero de plástico más empleado en el mundo y se representa por una unidad repetitiva $(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$. Es un material

termoplástico químicamente inerte, que puede ser obtenido a partir de distintos tipos de reacciones de polimerización del etileno, donde, de cada mecanismo de reacción se produce diferentes tipos de polietileno, que en un principio consiste en un polvo fino blanquecino al que se le pueden sumar distintos aditivos, los cuales mejoran sus propiedades como resistencia a la luz, calor, etc. Del proceso de polimerización resultan trozos o partículas en 15 y 20mm, los mismos que luego son empleados en una amplia gama de aplicaciones luego de un proceso de extrusión.

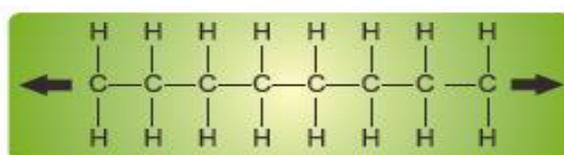


Figura 23. Materia Prima. Muestras de resina de PEAD

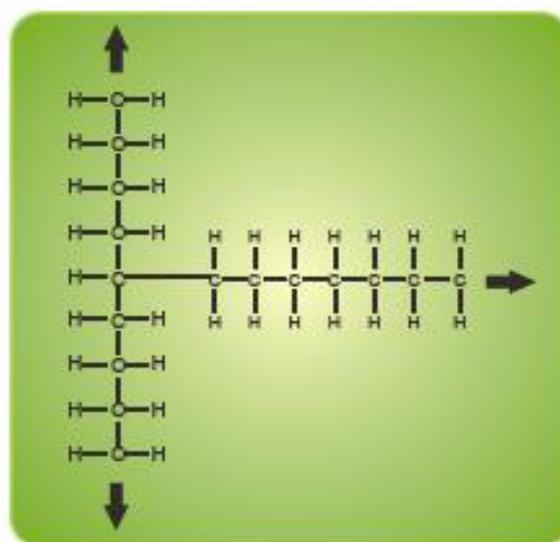
Fuente: Manuel Técnico Tuberías de Polietileno POMYLEN

La molécula del polietileno está formada por una larga cadena de átomos de carbono al cual se unen dos átomos de hidrogeno. En ocasiones a los carbonos se adhieren cadenas cortas del mismo polietileno, en lugar de estar unidos a dos átomos de hidrogeno, este tipo de polietileno se denomina

polietileno ramificado o de baja densidad. Cuando no existen ramificaciones se lo denomina como polietileno lineal o de alta densidad, el cual es mucho más fuerte que el ramificado. Según el proceso de polimerización en los que intervienen factores como temperatura, presión, condiciones del medio y entre otros; se obtienen polietilenos con diferentes grados de ramificación en su estructura, lo cual en gran medida define las propiedades del material.



(a)



(b)

Figura 24. (a) Molécula de Polietileno Lineal, (b) molécula de polietileno ramificado
Fuente: Tubería de Polietileno de Alta Densidad para Minería, Dragado e Industria.
Catalogo EXTRUCOL S.A

En el desarrollo de las tuberías de polietileno se considera a las tuberías de PE40 y PE63 como la 1era generación de tuberías de PE, tubos PE80 (mediana densidad) como la 2da generación y tuberías PE100 (alta densidad) como la 3era generación.

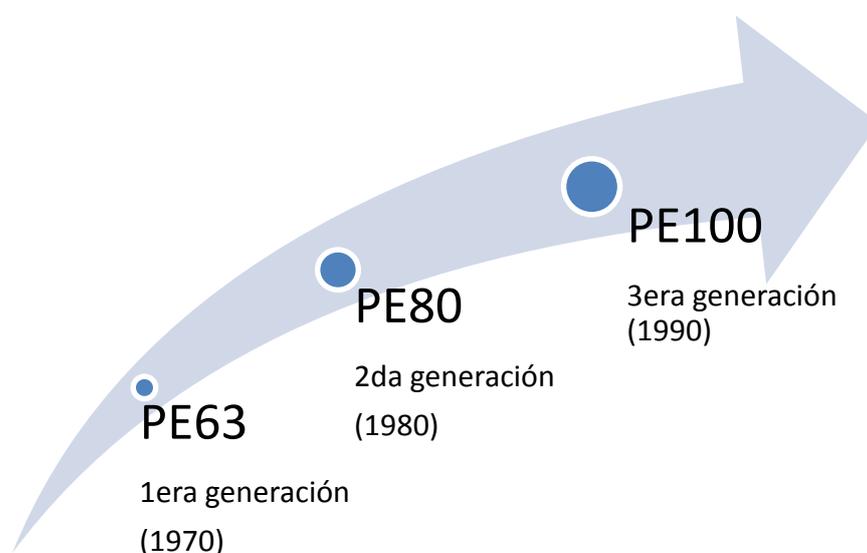


Figura 25. Desarrollo del PE como material para tuberías

Elaboración: Roberto X. Ramírez Aguilar, 2015

Los compuestos empleados en la fabricación de tuberías han ido evolucionando con el paso del tiempo, esto gracias a aditivos que son agregados de manera uniforme acorde a la norma ISO 4427 (Plastics piping systems - Polyethylene (PE) pipes and fittings for water supply).

El material de los distintos compuestos se designa señalando el material (PE) y el nivel de tensión mínima requerida (MRS), para un diseño en el cual se contempla el transporte de agua a 20°C por un tiempo de servicio mínimo de

50 años. En la siguiente tabla se muestran los valores de MRS y σ_s de acuerdo a su clasificación.

Designación	MRS (MPa)	σ_s (MPa)
PE 100	10	8
PE 80	8	6,3
PE 63	6,3	5
PE 40	4	3,2

Tabla VIII. Designación de material y máxima Tensión de diseño correspondiente

Fuente: Tomado de ISO 4427 tabla 3 - Material designation and corresponding maximum design stress values

La tensión de diseño σ_s , se obtiene de la aplicación de un coeficiente de servicio de diseño $C=1,25$ sobre el valor de MRS. El valor de C también puede incrementar al seleccionar un tubo con clase de PN superior.

Las tuberías de polietileno también se pueden clasificar de acuerdo a:

- Relación de Diámetros Estándares o SDR.
- Serie (S). Acorde a la norma ISO-4065.

Dentro de la Norma ISO 4427 ²¹ se tiene tablas que indican espesor de paredes para los diferentes tipos de tuberías de PE.

²¹ Ver en Anexo 4 tablas contenidas en Norma ISO 4427

Uno de los factores que afecta la vida útil de las tuberías de PE es la temperatura. Si el sistema de tuberías de PE opera a temperaturas entre los 20°C y 40°C se puede aplicar un coeficiente de reducción para el PE 80 y PE 100 mostrado en la siguiente tabla:

Temperatura °C	Coefficiente de Reducción
20	1,00
30	0,87
40	0,74

Tabla IX . Coeficientes de reducción de presión para PE 80 y PE 100

Fuente: Datos tomados de tabla A-1. Norma ISO 4427-1:2007 - Anexo A

Para temperaturas intermedias entre 20°C y 40°C se puede realizar interpolación y para temperaturas mayores a los 40°C se debe consultar al fabricante de la tubería. Para tuberías PE 40 y PE 63 revisar ISO 13761.

Al aplicar los coeficientes de reducción, la presión de funcionamiento Admisible (PFA) es:

$$PFA = f_T * f_A * PN \quad (33)$$

Dónde: f_T = Coeficiente acorde a tabla IX

f_A = Factor de reducción o aumento de acuerdo a la aplicación
(Transporte de Agua $f_A = 1$)

PN = Presión Nominal

3.1.1 Designación de las tuberías de PE

La designación del material de las tuberías de PE depende de la norma o estándar de referencia ISO o ASTM.

Clasificación ASTM

En las normas ASTM se designa el código del material acorde a la abreviatura del plástico acorde al ASTM D 1600 seguido de cuatro o cinco números. Los dos o tres primeros dígitos, según el caso, indican el código del material de acuerdo a la clasificación ASTM. Los dos últimos números representan el HDS (Hydrostatic design stress) dividido para 100, con un factor de diseño de 0,5 a 23°C. Este tipo de codificación provee de información de las propiedades del material y propiedades de funcionamiento. Por ejemplo, PE3408 indica que el material es polietileno clasificado grado PE34, con una densidad clase 3 y SCG clase 4; y con un HDS=800psi.

El método ASTM para la clasificación de acuerdo a la presión utiliza muestras de tubería a temperatura constante con una regresión lineal del esfuerzo y el tiempo extrapolado a 100.000 horas (11 años), del cual se obtiene el esfuerzo hidrostático a largo plazo (HDB).

La máxima presión de operación se obtiene de:

$$MOP = \frac{2(HDB)*F}{SDR-1} \quad (34)$$

Dónde: MOP= Máxima presión de operación

HDB= Diseño hidrostático base

F= factor de diseño (0,32 aplicaciones de gas US)

(0,40 aplicaciones de gas Canadá)

(0,50 aplicaciones de agua)

SDR= Relación de dimensión estándar

Clasificación ISO

La clasificación ISO es la comúnmente utilizada en nuestro medio. Designa al material de similar manera que la norma ASTM. Las letras PE correspondientes al material van seguidas del número del MRS diez veces. De esta manera se tiene que para un MRS= 10 MPa se designará al material como PE100. A diferencia del ASTM, ISO solo indica el tipo de material y el MRS, sin indicar alguna propiedad del material o información sobre el coeficiente de diseño.

El método de la ISO para la clasificación de acuerdo a la presión utiliza muestras a 3 distintas temperaturas con una regresión lineal del esfuerzo y el tiempo extrapolado a 480.000 horas (50 años). A partir de ello se obtiene el MRS.

La máxima presión de operación se obtiene de:

$$MOP = \frac{20(MRS)}{SDR-1(C)} \quad (35)$$

Dónde: MOP= Máxima presión de operación (bar)

MRS= Tensión mínima requerida, Mpa

C= Coeficiente de diseño (1,25 mínimo para agua)

(2,00 mínimo para gas)

SDR= Relación de dimensión estándar

Materiales PE100 RC

PE100 RC es un término desarrollado en Europa para designar a las tuberías de PE100 con una mayor resistencia al fenómeno SCG. Las letras RC se refieren a 'resistance to cracking' (resistentes al agrietamiento).

PE100 RC no es aun reconocida en las normas ISO ni en la norma de ningún país. Por ahora es simplemente un término para designar a las tuberías PE100 con alta resistencia a SCG.

- **Tipos de fallo SCG y RCP.**

El crecimiento lento de la grieta (SCG - Slow Crack Growth) y el crecimiento rápido de la grieta (RCP – Rapid Crack Propagation) son dos fenómenos de falla que se pueden dar en una tubería de polietileno.

Crecimiento Lento de la Grieta (SCG).

Es el fallo más común en la aplicación de tuberías de polietileno. Esta se da a partir de una falla o “fractura frágil” la cual puede ser el resultado de imperfecciones en la tubería, o causada de manera accidental durante el proceso de instalación; y tras un periodo de tiempo en el cual la grieta crece, se produce el fallo en el material.

La resistencia al SCG ha evolucionado gracias al desarrollo de las tuberías de Polietileno (PE 100-RC) pasando de resistir tiempos aproximados de 10 horas a valores de alrededor de un año. La resistencia al crecimiento lento de grietas se lo puede considerar como una propiedad de las tuberías de polietileno, la cual es muy importante ya que puede determinar la duración o comportamiento a largo plazo.

Factores físicos como esfuerzo aplicado, temperatura, ranuras y geometría del tubo están relacionados al SCG, así como también aspectos intrínsecos del material como la estructura y peso molecular.

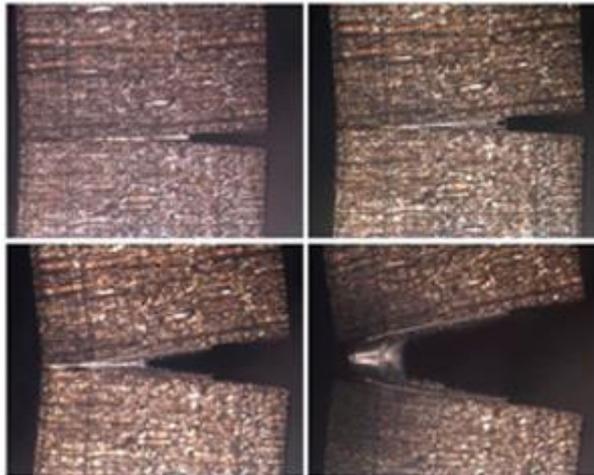


Figura 26. Proceso de crecimiento lento de grieta en muestra de polietileno de alta densidad

Fuente: Revista de plásticos modernos, Vol. 99 Número 644 (Marzo 2010)

Sus métodos de evaluación más comunes son, Full Notch Creep Test (FNCT), Notch Pipe Test (NPT) y Pennsylvania Edge-Notch Test (PENT). Estos métodos de prueba suelen ser lentos pudiendo durar varios meses, incluso años. Sobre la base de estas pruebas se realiza extrapolación para determinar la duración o tiempo de servicio útil (50, 100 años), con lo cual se determina la resistencia mínima requerida (MRS) para los distintos grados del PE (PE63, PE80, PE100, PE100-RC).

Propagación Rápido de la Grieta (RCP)

Son fallas que se pueden generar por daños de impacto, crecimiento de una grieta o debido a uniones de soldadura deficientes, lo cual en ciertas condiciones de funcionamiento y ambientales coincidentes producen un fallo en un material generalmente con baja ductilidad que se propagan a

velocidades de entre 200 y 300 m/s a lo largo de una tubería presurizada. Este fallo puede ocurrir en tuberías de diversos materiales como el acero y en algunos casos en tuberías plásticas. Los parámetros que influyen en la propagación de estos fallos son: presión interna, temperatura de la tubería, velocidad de descompresión del fluido y resistencia a la fractura del material de la tubería. El PE es un material dúctil semicristalino que no debería ser susceptible a la propagación rápida de grietas, pero que sin embargo en ciertas condiciones podría resultar afectado.

En tuberías de PE esta falla se relaciona a grietas ondulantes o sinusoidales a lo largo de la tubería, la cual va acompañada de marcas que forman vértices de ángulo cerrado en dirección de la propagación de la grieta sobre la superficie del tubo, de las cuales pueden también formarse bifurcaciones paralelas a la grieta principal.

Los métodos de ensayo para este tipo de fallo son descritos en las normas ISO 13477 (Método de escala reducida S4) y la norma ISO 13478 (Método a escala real FS), este último se considera el más confiable pero así mismo es más elaborado y costoso. El método S4 minimiza costos de inversión y permite establecer una correlación con el método FS.

La falla por RCP es mucho más probable que ocurra en una tubería que conduce algún gas que en una tubería que conduzca agua, debido a la

compresión que están sujetas y la energía que pueden liberar estas. En una tubería de agua la falla por RCP no se da en el tubo completamente lleno. El riesgo que ocurra este fenómeno en una tubería de agua es muy bajo ya que se requiere cumplir varias condiciones como la formación inicial de una grieta, formación de una bolsa de aire, tubo de gran diámetro, alta presión en la tubería y baja temperatura del sistema.



Figura 27. Forma ondulada por falla RCP. Tubo de Polietileno para transporte de gas.

Fuente: Chris O'Connor and Richard Beedell POLYETHYLENE GAS PIPELINE SYSTEMS: DESIGNING OUT RAPID CRACK PROPAGATION. Pipeline & Gas Journal, 2014

3.1.3 Sistemas de unión

Las tuberías de polietileno se pueden unir mediante uniones de tipo fijas o desmontables. Las fijas se basan en la fusión de los elementos mediante un proceso de soldadura. Las desmontables son específicamente

uniones de tipo mecánicas. A continuación se describe de forma breve estos sistemas de unión.

Electrofusión.

Para la unión se emplean accesorios electrosoldables lo cual quiere decir que en su parte interior tienen incorporadas unas resistencias, por las cuales se hace pasar una corriente eléctrica que permite soldar el tubo al accesorio. Solo se utilizan para unir tubos de mediana y alta densidad en diámetros que van desde los 20mm a 600 u 800 mm dependiendo del fabricante. Este método de unión no es aplicable para unir tubos de baja densidad.

Resisten presiones de 16 bares en conducción de agua y se pueden usar para tubos de SRD 17,6 para diámetros mayores a 90 mm y SDR 11 para todos los diámetros. Se sueldan con una corriente eléctrica de baja tensión de 40V.

Durante el proceso de electrofusión se requiere de distintas máquinas y herramientas que deben ser previamente revisadas. En la soldadura los accesorios y tubos deben mantenerse limpios y secos. En caso de requerirlo se pueden limpiar con un trapo limpio humedecido con alcohol. Un punto importante es el raspado de la zona del tubo a soldar para eliminar película de oxidación del tubo.

El tiempo de fusión depende del accesorio a soldar según especificaciones del fabricante. Las máquinas automáticas permiten leer códigos de barras que contienen los distintos accesorios con lo cual automáticamente se fija el tiempo de fusión requerido. Luego de la fusión se debe verificar en la máquina de electrofusión que se haya completado soldadura, además de verificar los testigos de soldadura. Las uniones por electrofusión deben ser realizadas por personal calificado.

Pasos de proceso de electrofusión:

- 1) Cortar perpendicularmente los extremos del tubo a unir.
- 2) Limpiar extremos de tubería
- 3) Marcar longitud mínima a raspar en extremos de tubo con ayuda de accesorio sin sacarlo de su envoltura. Se marca mitad de longitud de accesorio en cada extremo del tubo más unos 25mm.
- 4) Utilizar raspador para raspar la zona superficial marcada. Asegurarse de que toda la parte marcada está correctamente raspada y evitar tocar esta zona con la mano.
- 5) Verificar en etiqueta detalles de accesorio a utilizar, colocarlo en uno de los extremos del tubo y marcar la profundidad de inserción. Repetir este paso para el otro extremo del tubo.
- 6) Colocar y ajustar alineador luego de insertar extremos de los tubos en accesorio y verificar marca de inserción de los tubos.

- 7) Verificar frecuencia y tensión de salida de la máquina de electrofusión para evitar alguna mala conexión y averías.
- 8) Retirar tapones de terminales de accesorio y conectar cables a terminales.
- 9) Verificar tiempo de fusión del accesorio e ingresarlo en la máquina o utilizar lector de barras de ser el caso.
- 10) Dar inicio y verificar que se cumpla el ciclo de fusión. Luego dejar enfriar sin desmontar alineador según especificación de accesorio.
- 11) Quitar cables y desmontar alineador.
- 12) Inspeccionar visualmente unión y testigos de fusión.

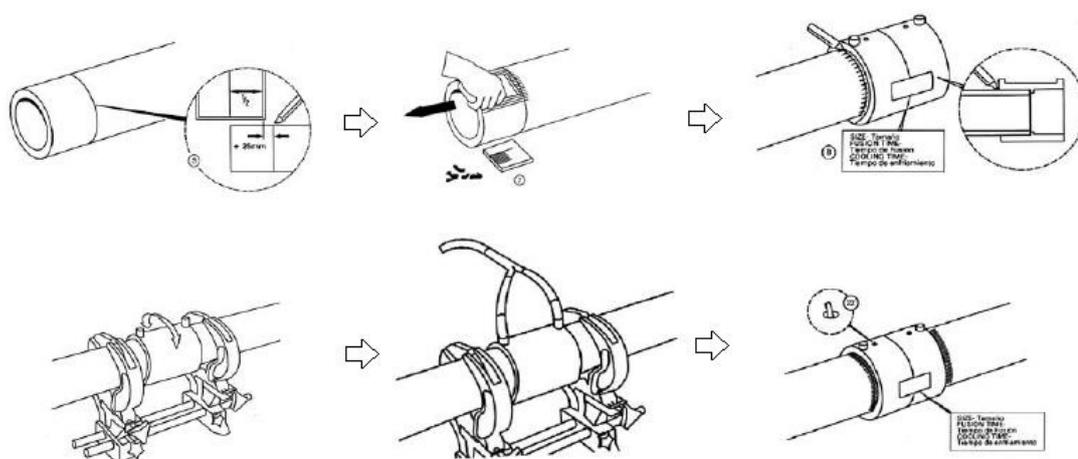


Figura 28. Proceso de soldadura. Accesorio unión (manguito)

Fuente: Tuberías de Polietileno. Manual Técnico Plomylen. Grupo Plomyplas

Termofusión.

Este es el sistema de unión más tradicional y consiste en calentar los dos extremos de los tubos o tubo con accesorio a unir, manteniéndolos en contacto con una plancha calefactora a 210°C la cual se retira después de un tiempo determinado y se procede con la unión de ambos extremos a una presión constante hasta alcanzar el enfriamiento de las piezas.

Las soldaduras por termofusión pueden ser de dos tipos: soldadura a tope o polifusión, esto dependiendo del diámetro de la tubería. Las soldaduras de polifusión se realizan en diámetros desde los 20 mm hasta los 110 mm, mientras que el método de soldadura a tope es aplicable para diámetros iguales o mayores a 90mm.

Este método no debe usarse para unir tuberías o accesorios de distinto diámetro o SDR de distinta clase.

El método de *polifusión* es rápido y sencillo, lo cual minimiza los posibles errores humanos durante el proceso. En la polifusión, tubos y conexiones se fusionan molecularmente formando una pieza única. A continuación se indica los pasos a seguir para este método:

- 1) Se preparan matrices, tuberías a unir, herramientas y equipo de soldadura (termofusor).

- 2) Se enciende termofusor y se verifica calentamiento del equipo. Bombillas indican conexión de equipo y termostato. Se debe esperar a que la bombilla de termostato se apague para proceder a soldar.
- 3) Se realiza corte perpendicular a eje del tubo y se marca la profundidad a la cual se introducirá matriz.
- 4) Los extremos a soldar deben estar limpios. Se introduce la tubería y el accesorio a la matriz ejerciendo presión dependiendo del diámetro de los elementos a soldar. Se verifica la aparición de cordón alrededor de tubería.
- 5) Se verifica tiempos de espera (proporcionado por proveedor) para retirar la tubería y el accesorio de termofusor y proceder con la unión de ambas piezas.
- 6) Se aplica máxima presión posible a unión y se verifica, sin retirar la tubería ni torcer la tubería, la formación de un cordón uniforme entre tubería y accesorio.
- 7) Hasta antes que se enfríe la unión, es posible ajustar la linealidad entre tubería y accesorio.
- 8) Una vez enfriada la unión se debe esperar un tiempo para manipular los elementos unidos y realizar siguiente soldadura.

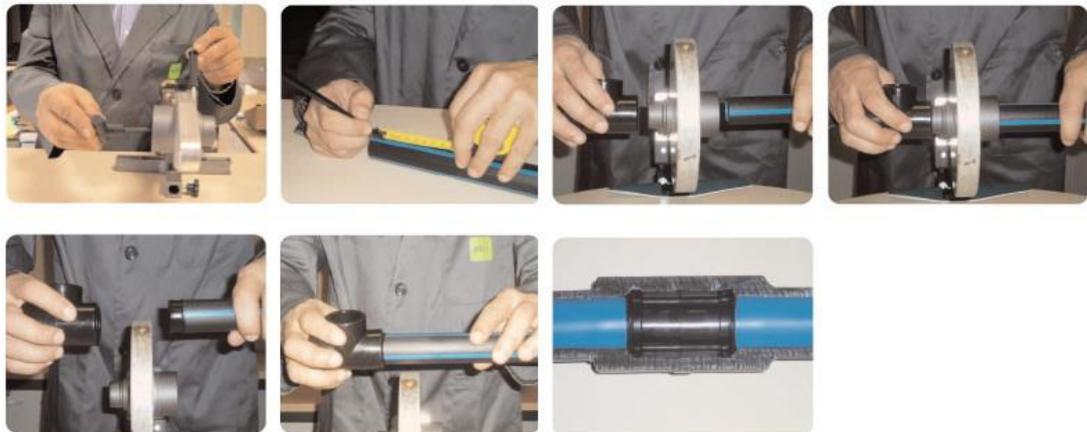


Figura 29. Resumen de proceso de soldadura por polifusión
Fuente: Guía técnica ECO-SIS Water. Por abc Pipe Systems, 2011

Para la *soldadura a tope* el equipo básico necesario se compone básicamente de: maquina, refrentador, placa calefactora, Accesorios, herramientas varias y material de limpieza.

Las máquinas de soldadura a tope pueden ser manuales o automáticas. Las manuales pueden ser mecánicas o hidráulicas y se usan dependiendo del diámetro del tubo a soldar, en diámetros de 40 a 160 mm las mecánicas y de 90 a 1600mm las hidráulicas. Las automáticas pueden ser eléctricas (DN 90 a 250mm), automáticas (DN 63 a 500 mm) o auto-desplazantes (DN 250 o mayor).

Un factor de evaluación de una soldadura a tope es el control visual, el registro de las condiciones y parámetros de la soldadura. No existe al

momento un ensayo o método no destructivo que sea capaz de establecer el comportamiento a largo plazo de las piezas soldadas.

Pasos de proceso de soldadura a tope:

- 1) Montar los tubos en la máquina y limpiar sus extremos.
- 2) Colocar refrentador y realizar refrentado simultáneamente a ambos extremos.
- 3) Limpiar cuchillas y tubos de virutas sin tocar superficie refrentada.
- 4) Verificar que extremos queden perfectamente alineados en toda la superficie a ser fusionada. Las abrazaderas deberán estar sujetadas firmemente a extremos de tubos a fusionar.
- 5) Una vez que el disco calefactor alcance la temperatura adecuada, insertarlo en la maquina entre los extremos de los tubos y poner en contacto los tubos y el disco calefactor aplicando leve presión.
- 6) Esperar hasta que se forme un cordón en toda la circunferencia de los tubos para luego con cuidado retirar disco calefactor. Cada máquina soldadora tiene sus propios parámetros de soldadura.
- 7) Abrir y retirar disco calefactor y unir rápidamente las superficies fundidas sin juntarlas bruscamente.
- 8) Aplicar presión para unir ambos cordones y esperar a que la unión se enfríe y solidifique para luego de esto proceder a retirar las abrazaderas y verificar la unión. Se recomienda anotar sobre la tubería con un marcador fecha y hora de término de proceso de fusión. Así identificar con un código el soldador responsable.

En la siguiente grafica se resume proceso de electrofusión.

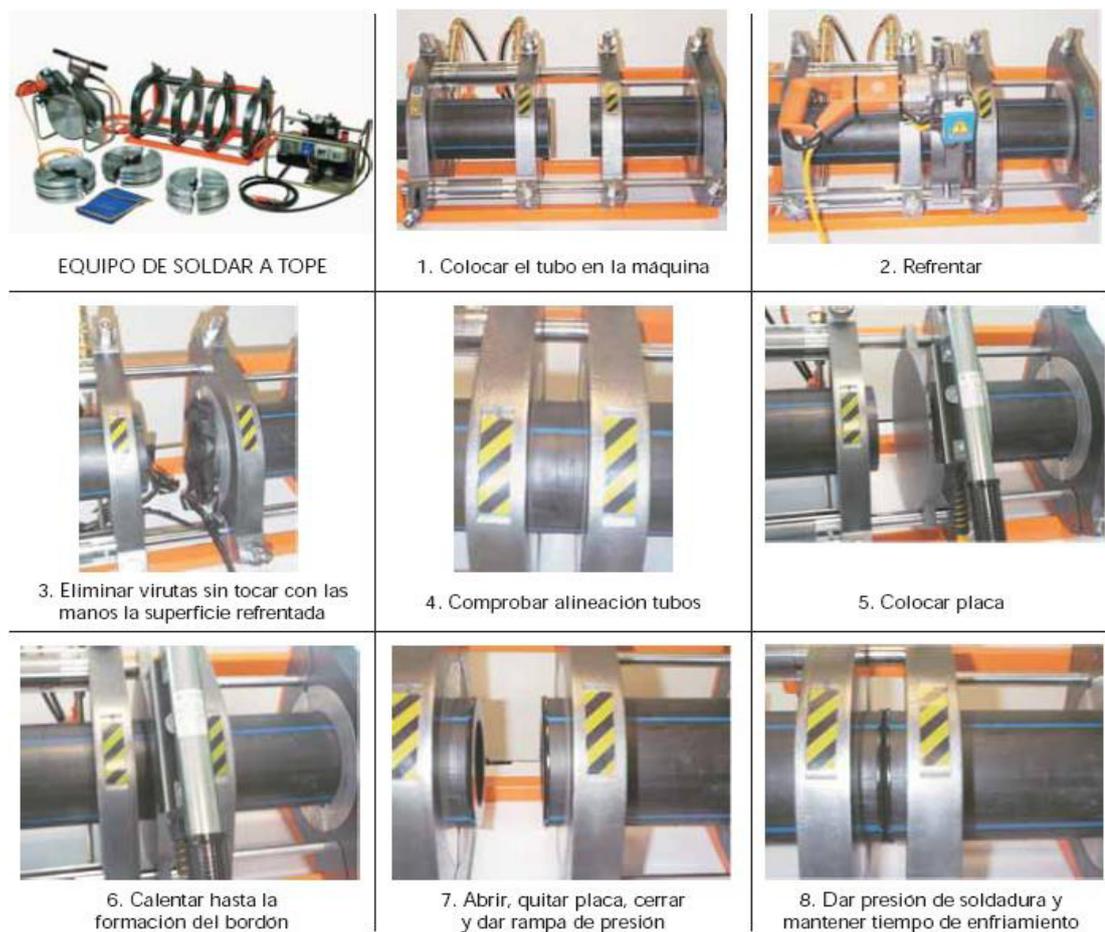


Figura 30. Resumen de proceso de soldadura a tope

Fuente: Tuberías de Polietileno. Manual Técnico Plomylen. Grupo Plomyplas

Accesorios Mecánicos.

Son accesorios de unión que pueden ser de material metálicos o plásticos, y permiten obtener estanqueidad al comprimir una junta sobre el tubo. Deben además de cumplir con distintos ensayos como: resistencia a presión interior y curvatura, resistencia al arrancamiento y resistencia a la presión exterior.

3.1.4 Manejo e Instalación

3.1.4.1 Manipulación, almacenamiento y transporte

Previo a su instalación se debe cuidar sus condiciones de almacenamiento, manipulación y transporte para evitar daños en su estructura.

Los tubos de PE100 son generalmente suministrados en rollos de diámetros hasta 110mm. Diámetros mayores suelen ser distribuidos en barras de 6 o 12 metros.

Durante la manipulación se debe evitar que los tubos sean golpeados o arrastrados sobre suelos ásperos o con presencia de objetos punzantes. Si se requiere desatar un tubo enrollado y cortarlo es necesario que se usen herramientas o cortadores especiales. El desenrollado se lo hace colocando el rollo en posición vertical y rodándolo de forma tangencial. En casos de que partes del tubo presente daños o dobleces, las mismas deben ser desestimadas al momento de su instalación.

En el almacenamiento la superficie de contacto debe estar libre de elementos u objetos que pueden rayar u ocasionar algún daño. Si la tubería es suministrada en rollos, estos debe ser dispuestos de preferencia en forma

vertical, recostadas sobre una superficie fija y deben permanecer atadas hasta ser instaladas.

Las tuberías de color negro con franjas pueden ser almacenadas a la intemperie debido a que están protegidas por acción del negro de carbono. Las tuberías de otros colores sólidos como azul, naranja, etc. pueden ser almacenadas bajo acción de la luz solar hasta un tiempo límite de 6 meses antes de su instalación.

Debe evitarse que la tubería entre en contacto con combustibles, disolventes o pegamentos, así como también debe asegurarse que la temperatura de su superficie no exceda los 45°C y que exista circulación de aire.

Para su transporte la tubería debe ser sujeta y las superficies de apoyo deben ser planas para evitar daños. Las tuberías deben estar libres de sobrepesos que puedan ocasionar aplastamiento.

3.1.4.2 Instalación

La instalación de tuberías PE100 para el transporte de agua potable se realizan generalmente enterrando la tubería en el suelo, aunque en ciertos casos dependiendo del proyecto o las condiciones del terreno la tubería puede ser instalada superficialmente. El tiempo de vida de las tuberías instaladas en la superficie puede verse afectado al estar a la intemperie.

3.1.4.2.1 Instalación Subterránea - Tubería de PE100

Para la instalación subterránea en una zanja tradicional se debe tener en cuenta lo siguiente:

El ancho de zanja se determina de acuerdo al diámetro del tubo, el tipo de suelo y la profundidad de la zanja. Además se debe considerar que la anchura sea la suficiente para que los operarios puedan manipular el tubo y compactar el relleno. Para diámetros de 90mm y 110mm, son suficientes 15 cm de cada lado. Para diámetros mayores el ancho mínimo es igual al diámetro del tubo más 300mm.

La profundidad debe ser determinada de tal manera que la tubería quede protegida de la acción de cargas por tráfico, cargas externas y de variaciones de temperatura. Existen en la actualidad programas destinados al cálculo de las deflexiones de tuberías plásticas, provocadas por cargas externas actuantes para conducciones con y sin presión. Códigos de buena práctica establecen una profundidad mínima de 60 cm para tuberías plásticas instaladas en aceras o lugares sin tráfico y 80 cm bajo condiciones de tráfico vehicular liviano sobre calzadas.

El fondo de la zanja debe ser uniforme, sin presencia de rocas que queden al descubierto y puedan afectar a la tubería. De darse este caso se debe

excavar por debajo de la rasante y rellenar el fondo de la zanja de 10 a 15 cm con material fino como arena o gravilla.

En el tendido en zanja se recomienda colocar la tubería de manera sinuosa con el fin de absorber tensiones producidas por cambios de temperatura. La instalación en pendientes pronunciadas se debe realizar de forma ascendente y tomando en consideración puntos de anclaje para evitar deslizamientos.

Se realiza el acostillado, que es el relleno que se coloca debajo de la tubería, hasta un ángulo 2α (se recomienda $\alpha = 60^\circ$). Esto ayuda a que la tubería soporte la carga distribuida sobre ella. La importancia del acostillado es alta ya que permite limitar las deformaciones por deflexión.

El relleno completo del tubo debe realizarse luego de efectuar las pruebas correspondientes a la tubería y debe realizarse por etapas. Primero se coloca material fino sobre la rasante (de preferencia arena) hasta la línea media de la tubería compactándola manualmente. Se coloca una segunda capa del mismo material hasta la corona del tubo y se vuelve a compactar de la misma forma que la primera capa. Luego se agregan dos capas de 150mm de material seleccionado, formando una capa de 300 mm en total sobre la corona del tubo, compactando con maquinaria cada una de ellas evitando hacerlo sobre la corona del tubo. Finalmente se completa el relleno

compactando cada 200mm hasta el nivel del terreno; en esta última etapa se puede utilizar el material extraído in situ.

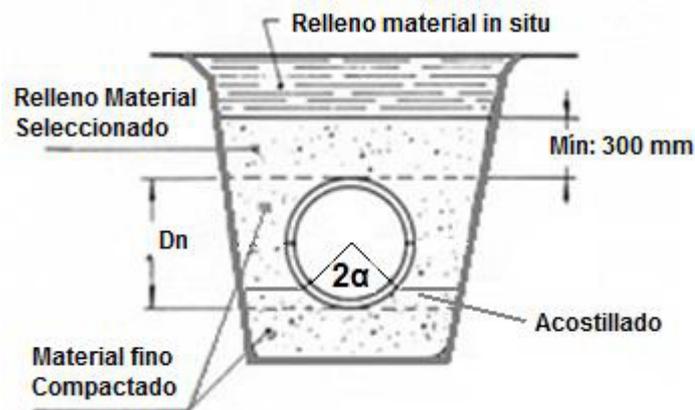


Figura 31. Esquema zanja tipo tubería de PE

Fuente: Tuberías de Polietileno. Manual Técnico Plomylen. Grupo Plomyplas

Radio de curvatura

La flexibilidad es una de las principales características de las tuberías de PE100. Esto permite adoptar radios de curvatura que se adapten al terreno sin que se vea afectada la tubería, ni necesidad de emplear accesorios. Los radios de curvatura admisibles dependen del DN, SDR, PN y temperatura. Los radios de curvatura máximos pueden ser calculados con la siguiente fórmula:

$$R_c = \frac{R_m^2}{0,28 e}; \quad \text{para PN baja} \quad (36)$$

$$R_c = \frac{(0,5 \times OD)^2}{\varepsilon}; \quad \text{para PN alta} \quad (37)$$

Dónde : R_c = radio de curvatura (mm)

R_m = Radio medio de la tubería (mm)

e = espesor (mm)

OD = Diámetro externo

ε = alargamiento de las fibras superficiales (no mayor al 2,5% a largo plazo)

En el caso de instalaciones realizadas a 0°C se debe de aplicar un factor de corrección que incremente el radio 2,5 veces. Para demás valores de 0 a 20°C se aplica extrapolación.

También se pueden adoptar de manera simplificada los radios de curvatura indicados a continuación:

SDR	PN	Radio de curvatura
17	10	20 x DN
11	16	20x DN

Tabla X. Radio de curvatura SDR17, SDR 11

Fuente: Catalogo técnico ECO-SIS Water. Por abc Pipe Systems. Pag. 16

Anclajes

Los anclajes en tuberías de PE100 deben ser considerados en uniones donde exista cambio de material, válvulas de control y en cambios bruscos de pendiente si se tiene el riesgo de deslizamientos. En accesorios como

codo y tee los anclajes pueden ser no necesarios debido a que la unión por soldadura forma un solo elemento, evitando el riesgo a que exista un desplazamiento en la unión.

Sin embargo el proyectista puede contemplar su uso de acuerdo a presiones a manejar en el sistema, diámetros de la tubería y tipo de sistema de unión (termofusión, electrofusión, unión mecánica).

Compactación

El relleno lateral compactado de una tubería contribuye a soportar la acción de cargas externas. Podemos hablar de tres tipos de compactación buena, moderada o ninguna.

Una *compactación buena* es aquella en la que se toma en cuenta la colocación de material granular en área de acostillado, cubriendo la tubería con al menos 15 cm y realizando un relleno compactado posterior en capas de un máximo de 30 cm, de tal manera que se obtenga una densidad de Proctor Normal mayor al 95%.

En una *compactación moderada* se cubre el tubo con una capa de al menos 15 cm y el relleno se coloca en capas de un máximo de 50 cm. La densidad de Proctor Normal se considera entre 87% y 94%.

Ninguna, se considera cuando el relleno es volteado o colocado directamente sin compactación, lo cual no es recomendable.

3.1.4.2.2 Instalación superficial tubería PE100

Existen proyectos en que las condiciones del terreno no permiten el enterrado de la tubería, motivo por el cual la misma debe ser instalada en condiciones adversas.

Las tuberías de PE100 gracias a su flexibilidad, tenacidad y comportamiento a diferentes temperaturas pueden ser instaladas en condiciones dificultosas a la intemperie en la cual una instalación subterránea no es viable.

Para este tipo de instalaciones se recomienda la tubería de polietileno de color negro con franjas azules con un contenido negro de humo de 2,5% y además tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

Golpes y Maltrato. Se deben evaluar riesgos a los que la tubería estará expuesta como temperatura, rayos UV y golpes producto de rocas, derrumbes o por acción de transeúntes. Es necesario evaluar el trazado de la tubería evitando los riesgos antes señalados. Las tuberías de mayor espesor son más resistentes a los golpes y ralladuras, por tanto hay que tomar en cuenta esto además de las presiones de servicio estimadas. Se puede

considerar que una tubería está afectada cuando ha sido dañado más del 10% de su espesor.

Temperatura y presión. Las tuberías de PEAD pueden soportar temperaturas entre los -60°C a 50°C . Las presiones de trabajo según el tipo de material se consideran a una temperatura de 20°C .

En general temperaturas bajo los 0°C no afectan mayormente a la tubería, sin embargo continuos eventos de congelamiento y descongelamiento del agua contenida pueden afectar la vida útil de la tubería.

El rango de entre 0 y 20°C es el ideal de operación para el diseño de una vida útil de 50 a 100 años. Temperaturas superiores a 20°C disminuye la resistencia de presión interna para el tiempo de vida útil de diseño. Para estos casos se deben considerar coeficientes de reducción de la presión de servicio con el fin de no afectar el tiempo de vida de diseño de la tubería.

La temperatura de funcionamiento a tomar en cuenta es la temperatura del sistema (agua y tubo) cuando el sistema se encuentra en funcionamiento y bajo presión.

También es necesario considerar la expansión y contracción lineal sufrida por la tubería debido a los cambios de temperatura. La siguiente expresión permite el cálculo de la contracción y expansión lineal:

$$\Delta L = 0,0002 \times L(T_f - T_0) \quad (38)$$

Dónde: ΔL = Expansión/Contracción lineal [m]

L = Longitud inicial [m]

T_0 = Temperatura inicial de la tubería [°C]

T_f =temperatura final de la tubería [°C]

Puentes y pasos en quebradas. El peso ligero y flexibilidad de las tuberías de PEAD permite la instalación sobre quebradas mediante puentes colgantes sin que necesariamente estos formen una línea recta. La estructura de sujeción debe tomar en cuenta el peso del cable, tubería y agua transportada.



Figura 32. Ilustración tubería HDPE en puente colgante

Fuente: Guía Técnica PLASTIFORTE SRL, Bolivia

Instalación aérea

En instalaciones aéreas se requiere uniones resistentes a tensiones longitudinales que se pueden dar a causa de una contracción o expansión

térmica. Las tuberías áreas pueden estar soportadas por sujetadores colgantes, o apoyadas sobre una estructura similar a una repisa.

En trazados rectos la dilatación puede ser controlada con cambios de dirección caso contrario será necesario el uso de sistemas compensadores de dilatación. Una de las opciones para compensar la dilatación es realizar quiebres en “L” o en “U” de tal manera que un quede fijo y otro absorba las dilataciones.

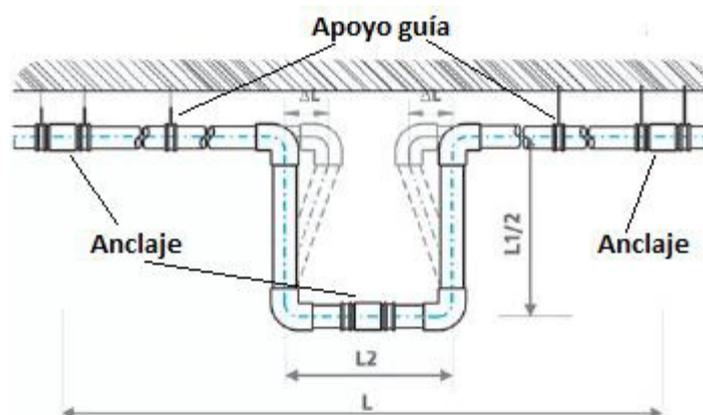


Figura 33. Ilustración de un sistema de compensación en U.

Fuente: Guía técnica. Recomendaciones de instalación. ECO-SIS Water. Por abc Pipe Systems

3.2 Tuberías de PE100-RC

El avance tecnológico ha permitido desarrollar los materiales de los cuales se componen las tuberías de polietileno obteniendo mejoras significativas en cuanto a resistencia y durabilidad en comparación a la tubería de polietileno tradicional, sin afectar la integridad del fluido

transportado garantizando la salubridad de las redes. Este tipo de tuberías se caracteriza por una excelente resistencia al crecimiento de fisuras o grietas a largo plazo con una vida útil de servicio de más de 100 años incluso trabajando en condiciones extremas.

El desarrollo de estas tuberías es producto de la exigencia a modernas técnicas de instalación o métodos de instalación alternativos donde se requiere sistemas más fiables a largo plazo, como instalación sin cama de arena e instalación de tubería sin zanja (NO-DIG).

A este tipo de material se lo ha denominado PE100-RC, el cual es capaz de resistir más de 18.000 horas a la prueba de resistencia al crack FNCT ²². Además cumplen con las normas alemanas GW 321, 322 y 323 las cuales indican los requisitos mínimos a cumplir para la instalación de perforación direccional horizontal para tuberías de polietileno.

Los nuevos requerimientos en métodos alternativos de instalación de tuberías, el tiempo de vida útil de servicio y estrictas pruebas de resistencia han dado como resultado la publicación de una nueva especificación denominada The Publicly Available Specification - PAS 1075 las cuales se consideran como un complemento a las normas y reglamentos; y están

²² FNCT : Full Notch Creep Test. Descrito en ISO/DIS16770: "Plastics- Determination of environmental Stress Cracking (ESC) of polyethylene (PE) – Full Notch Test (FNCT)"

dirigidas a tuberías de Polietileno aplicadas a métodos alternativos de instalación.

Las tuberías de PE100-RC, cumplen características similares a las tuberías tradicionales de PE100. La diferencia significativa entre ambas es la gran resistencia al agrietamiento de las tuberías de PE100-RC. Las letras “RC” se refieren a la resistencia al agrietamiento (Resistance to cracking).

Las tuberías PE100-RC al igual que las tradicionales PE100 se pueden unir mediante uniones de tipo fija como termofusión, electrofusión o uniones mecánicas desmontables. Además, son compatibles para ser unidas entre ellas, siempre y cuando sean de la misma serie. Las dimensiones de tubos y accesorios son las mismas que las normalizadas para las tuberías tradicionales de PE100. Los accesorios para unión se pueden ser de material PE100 o PE100-RC.

La instalación de PE100-RC brinda ventajas sobre la tubería de PE100, como instalar la tubería directamente sobre la zanja sin la necesidad de usar cama de arena y utilizar el mismo material de excavación como relleno. Así mismo permiten realizar instalaciones sin zanja tecnología No-Dig. Con esto se puede realizar instalaciones más rápidas con poca afectación ambiental, con lo cual se puede reducir costos de instalación y de inversión misma del proyecto.

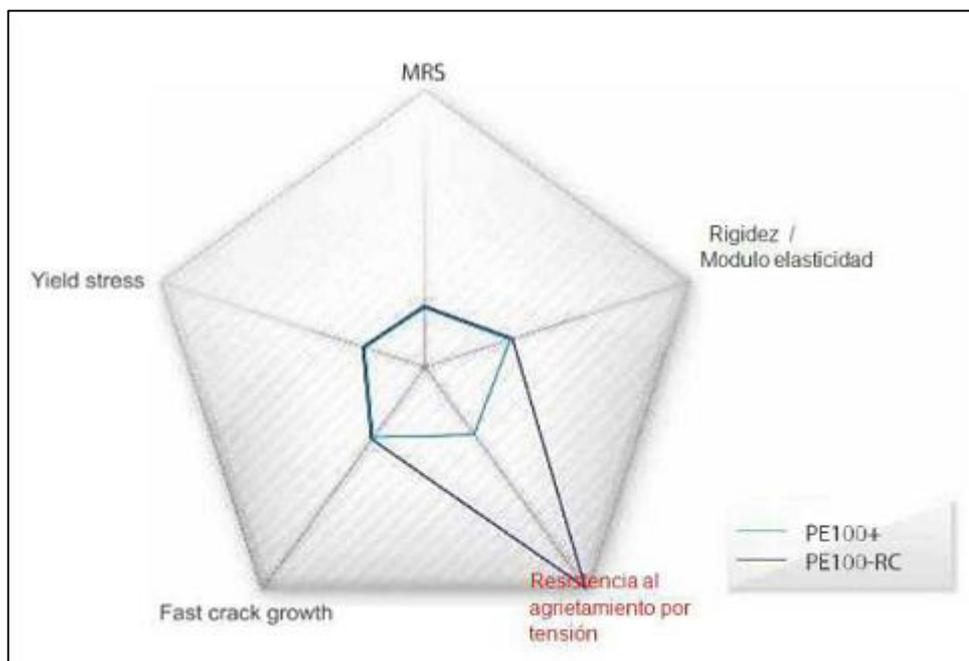


Figura 34. Comparación entre las propiedades de las tuberías de PE100 y PE100-RC

Fuente: Guía Técnica Konti Hidroplast PE100-RC Multilayer Pipe. 2014

3.2.1 Clasificación tuberías PE100-RC

De acuerdo a la PAS1075 las tuberías de PE100-RC pueden ser de tres tipos:

Tubería mono capa en PE100-RC (Tipo 1)

Tubo de material PE100-RC, de una sola capa acorde a lo definido en la norma ISO 4065 o DIN 8074. Se hacen de un solo color de acuerdo a su aplicación (azul=agua, naranja=gas, marrón=aguas residuales) o tubos de color negro con franjas de colores acorde a su aplicación.

Tubería con capas protectoras integradas de PE100-RC (Tipo2)

Tubo de doble capa integradas, con una capa protectora en PE100 o PE100-RC y una capa protectora interna co-extruida en material de PE100-RC.

Tubo de triple capa con protección integrada de PE100 o PE100-RC. Capa interna y externa protectora co-extruidas de PE-100 RC.

Las capas co-extruidas son fusionadas juntas en la misma herramienta extrusora lo que garantiza su inseparabilidad.

La capa interna hecha en PE100-RC se integra como una capa funcional en la estructura de la pared. La medida de las capas debe ser al menos 2,5mm y debe tener propiedades de protección contra la formación de agrietamiento por tensión.

Estos tubos se pueden producir en dos o tres capas de diferentes colores dependiendo de la aplicación

Tubería acorde a DIN 8074 / ISO 4065 con capa protectora externa adicional (Tipo3)

Tubo elaborado con dimensiones acorde a ISO 4065 y DIN 8074 con una capa externa protectora que consiste en un tubo central de PE 100-RC y una

protección externa mejorada de polipropileno con un espesor mínimo de 0,8mm. Para tuberías de mayores dimensiones el espesor debe ser el apropiado considerando que se tendrán cargas mayores. La unión de cohesión entre la capa protectora y la parte central del tubo debe ser la suficiente para compensar las fuerzas y esfuerzos a los que estará sometido durante la instalación.

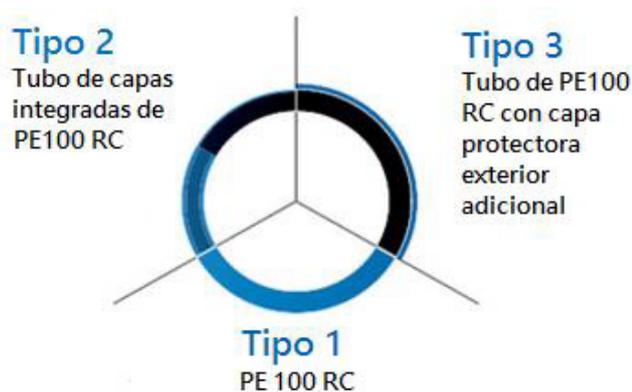


Figura 35. Clasificación de tubería de PE100-RC

Fuente: Egeplast Guía Técnica: Guideline for decision-markers Alternative installation methods with polyethylene pipes 2009

3.3 Especificación PAS 1075

La especificación DIN PAS 1075 publicada el 2009 por el instituto alemán de Estandarización (Deutsche Institut Fur Normunge.V.) determina todas las propiedades, requisitos y los procedimientos que deben realizarse y cumplir las tuberías de tipo PE100-RC, para garantizar su aplicación, utilizando métodos de instalación alternativos o no convencionales, incluso

bajo condiciones de trabajo extremas; para una vida útil de servicio de no menos de 100 años.

Existen varias normas y especificaciones que describen los parámetros exigidos para las tuberías de PE, sin embargo esta especificación describe de manera especial a tuberías de polietileno que tienen una alta resistencia al crecimiento lento de grietas respecto a las tuberías de P80 y P100 tradicionales. Las especificaciones del PAS 1075 recogen de manera detallada las áreas de aplicación, normas de referencia a cumplir, designación del material, clasificación, pruebas técnicas, entre otros.

Las dimensiones estandarizadas para las tuberías PE100 son aplicadas también para las tuberías de PE100-RC y pueden operar en sistemas de flujo a gravedad, presión o vacío.

Normativas de referencia

En el PAS-1075 se incluye regulaciones tomadas de otras publicaciones las cuales se encuentran en el siguiente listado:

PAS 1031.	Material Polyethylene (PE) for the manufacture of pressure pipes and – fitting–Requirements and tests
PAS 1065	Spirally wounded pipes made out of polyethylene (PE100)-tangentially extruded-Dimensions, technical requirements and test

DIN 8075	Pipes made from polyethylene (PE) PE63, PE80, PE100, PE-HD – Dimensions
DIN 16961-1	Pipes and fittings made from thermoplastics with a profiled wall and smooth pipe inside surfaces – Part1: Dimensions
DIN 16961-2	Pipes and fittings made from thermoplastics with a profiled wall and smooth pipe inside surfaces – Part2: Technical delivery specifications
EN 1555	Plastics piping systems for the supply of gaseous fuels- Polyethylene (PE)
EN 12201	Plastics piping systems for the supply of water-Polyethylene (PE)
EN 13244	Plastics piping systems for buried and above-ground pressure systems for water for general purposes, drainage and sewerage. Polyethylene(PE)
ISO 16770	Plastics – Determination of environmental stress cracking (ESC) of polyethylene- Full-notch creep test (FNCT).

Tabla XI. Normas de referencia

Fuente: PAS 1075:2009-04

Material

De acuerdo al PAS 1075, el material de las tuberías a utilizarse para los métodos alternativos de instalación de tuberías es el PE-100 (según lo establece el PAS 1031), pero con un significativo incremento en la resistencia al crecimiento lento de grietas (Resistencia al agrietamiento por tensión). Este material debe cumplir con un mínimo nivel de resistencia a esfuerzos de

agrietamiento, el cual está definido por la prueba FNCT, bajo ciertos parámetros con un tiempo de exposición de 8760 horas. Para que pueda ser denominado como PE 100-RC debe cumplir con el resto de requisitos descritos en esta norma (PAS 1075) y ser aprobado por un organismo de certificación acreditado.

Además existe una clasificación que distingue tres tipos de tuberías fabricadas en PE RC como ya se vio anteriormente en el sub-capítulo 3.2.1 *Clasificación de tuberías PE RC*.

3.3.1 Pruebas y ensayos (PAS-1075)

Los principales ensayos y pruebas para el aseguramiento del control de calidad de las instalaciones alternativas de tuberías PE son:

- Prueba FCNT
- Prueba de carga puntual
- Envejecimiento térmico

Para acortar el tiempo de las pruebas también se usan métodos de ensayo acelerados. Los laboratorios que realizarán estas pruebas deben poseer experiencia en los procedimientos de los ensayos de al menos 3 años y deben estar certificados bajo la norma EN ISO 17025:2005.

Existen diferencias entre un ensayo de aprobación y un ensayo de control de producción. Además se debe diferenciar entre ensayos realizados al material y un elemento o componente (tubo).

Los ensayos que deben ser realizados para la aprobación inicial de un material PE 100-RC se encuentran definidos en la publicación PAS 1031 los cuales se indican en la siguiente tabla:

N°	Prueba	Requisitos	Comentarios
1	Prueba de agrietamiento por tensión de la materia prima	>8760 horas, a 80°C, 4 N/mm ² , 2% Arkopal N-100	Ensayo FNCT en 6 muestras separadas
2	Prueba de carga puntual	8760 horas a 80°C, 4 N-mm ² , 2% Arkopal N-100	3 muestras separadas por ejemplo a 80°C y/o muestras separadas proporcionalmente acorde a un modelo matemático (por ejemplo: Arrhenius)
3	Ensayo de envejecimiento térmico	>100 años a 20°C	Ensayo a elevada temperatura y comprobación de una mínima activación de energía requerida
4	Prueba de muesca sobre pared completa de tubería (DIN EN ISO 13479)	>8760 horas	Selección posible de construcción de canalización definida

Tabla XII. Ensayo de homologación aditivo especial en material PE100-RC para evidenciar resistencia de agrietamiento por tensión y resistencia a envejecimiento térmico.

Fuente: PAS 1075:2009-04

Adicionalmente a lo marcado en el PAS 1031 se debe cumplir con lo siguiente:

N°	Propiedad	Requerimientos		Prueba Estándar
1	Densidad	Densidad mínima de la resina	$\geq 945 \text{ kg/m}^3$ (Información suministrada por proveedor de la materia prima con valor nominal y tolerancias)	EN ISO 1183 EN ISO 1872-1
2	Índice de fluidez (MFR)	Información sobre el rango MFR	Información a 190°C / 5 kg max (0,2 a 0,4) g/10 min	EN ISO 1133

Tabla XIII. Requerimientos adicionales para material PE 100-RC (adicional a PAS 1031)

Fuente: PAS 1075:2009-04.

Las pruebas y ensayos a cumplir para asegurar la calidad del material se listan en la siguiente tabla:

N°	Prueba	Requisitos	Frecuencia	
			Control calidad interna	Control de calidad externo
1	Prueba FNCT	>8760 horas a 80°C, 4 N/mm ² , 2% Arkopal N-100 (materia prima) o al correspondiente proceso de prueba, ejemplo: 320 horas de acuerdo a ensayo de fluencia acelerada (materia prima)	Cada lote	-
2	Prueba de carga puntual	8760 horas a 80°C, 4 N/mm ² , 2% Arkopal N-100		Cada 3 años si no se observa irregularidad
3	Prueba de Muesca (DIN EN ISO 13479)	8760 horas		Alternado 1 a 3 años, sino se presenta irregularidad

Tabla XIV. Prueba especial adicional para el control de calidad de los materiales en PE100-RC para verificar la resistencia del agrietamiento por tensión.

Fuente: PAS 1075:2009-04.

Los ensayos requeridos para las tuberías de polietileno aplicando métodos alternativos de instalación son:

No	Test	Requerimientos	Comentarios
1	Comportamiento del ensayo de agrietamiento por tensión	>3300 horas a 80°C, 4 N/mm, 2 % Arkopal N-100 (muestra mecanizada a partir de la tubería)	2NCT muestra por separado, del más pequeño y más grande espesor de pared de tubería + diámetro 110, SDR11 sobre la sección transversal del tubo
2	Prueba de carga puntual	8760 horas a 80°C 4 N/mm ² , % Arkopal N-100	3 muestras separadas, ej.: a 80°C y/o muestras separadas (diámetro 110, SDR11) seleccionado de acuerdo a la temperatura según modelo matemático (ejemplo: Arrhenius)
3	Prueba de penetración (simulación de un fragmento de un tubo de hierro producto de un burstlined)	Espesor de pared de tubería luego de 9000 horas > 50% del espesor original	Condiciones de prueba según MAC(*). Concepto tomando en cuenta la resistencia de agrietamiento por tensión y envejecimiento térmico.

(*) Directiva DVS2203-4; Hoja complementaria 3

Tabla XV. Ensayo de tubería de polietileno para métodos alternativos de instalación y requerimientos

Fuente: PAS 1075:2009-04

Las pruebas a llevarse a cabo para el aseguramiento de control de calidad de las tuberías son las mostradas a continuación:

No	Prueba	Requerimientos	Frecuencia	Comentarios
1	Prueba de agrietamiento por tensión del tubo	>3300 horas a 80°C, 4N/mm, 2 % Arkopal N-100, co-relacionado a un procedimiento de prueba. Ejemplo: 160 horas con ensayos de fluencia acelerada	1 x medio año, pero al menos por grupo fabricado 1 x año	Prueba 2NCT y/o FNCT, en 3 muestras separadas (superficie interna de la tubería debe estar incluida en las muestras)
2	Prueba de carga puntual	8760 horas a 80°C 4 N/mm ² , % Arkopal N-100	Anualmente grupos 1 y 2 fabricado, una vez en 3 años grupo 3 fabricado	Muestras separadas a 80°C

Tabla XVI. Prueba de control de calidad de la tubería

Fuente: PAS 1075:2009-04

En la prueba de resistencia al agrietamiento por tensión acorde a la tabla XI No.1, tabla XIV No.1 y tabla XV No.1, no se deberían observar fracturas quebradizas antes del tiempo requerido de la prueba. Para considerar fracturas de este tipo se debe seleccionar los parámetros de las pruebas acorde a la norma ISO 16770 para evitar una fractura dúctil. Los parámetros de pruebas alternativas deberían de ser co-relacionadas con al menos 3 grupos en la prueba de carga puntual.

La relación de 2,65 obtenida del ensayo de resistencia al agrietamiento por tensión de la materia prima (Tabla XI: 8760 horas) y de la resistencia al

agrietamiento por tensión de las muestras del tubo (tabla XIV: 3300 horas) debe ser confirmada si se utilizan parámetros de pruebas ajustados. Por ejemplo, se requiere un tiempo de ensayo de 424 horas para la muestra de la materia prima, si para el ensayo de resistencia al agrietamiento por tensión para una muestra de esta tubería se obtuvo 160 horas usando parámetros ajustados ($424/160= 2,65$).

Prueba FNCT (Full Notch Creep Test). Con este ensayo es posible determinar la resistencia al crecimiento lento de grietas. El esfuerzo aplicado debe ser tal que induzca a una fractura frágil en la superficie de acuerdo a la ISO 16770.

Para este ensayo las muestras deben ser cortadas de un mismo material y con sus lados paralelos. La distancia mínima entre las abrazaderas (clamps) y la ranura o muesca (notch) debe ser 2 veces "a". Siendo "a" la medida del lado del cuadrado, "b" es el ancho de la muestra y "c" la profundidad de la ranura o muesca, la cual va en el centro de la longitud total de la muestra. La profundidad de la muesca debe ser $17\% \pm 2\%$ del espesor. Las medidas estándar de la muestra son $10 \times 10 \text{ mm}^2$ ($a=10\text{mm}$).

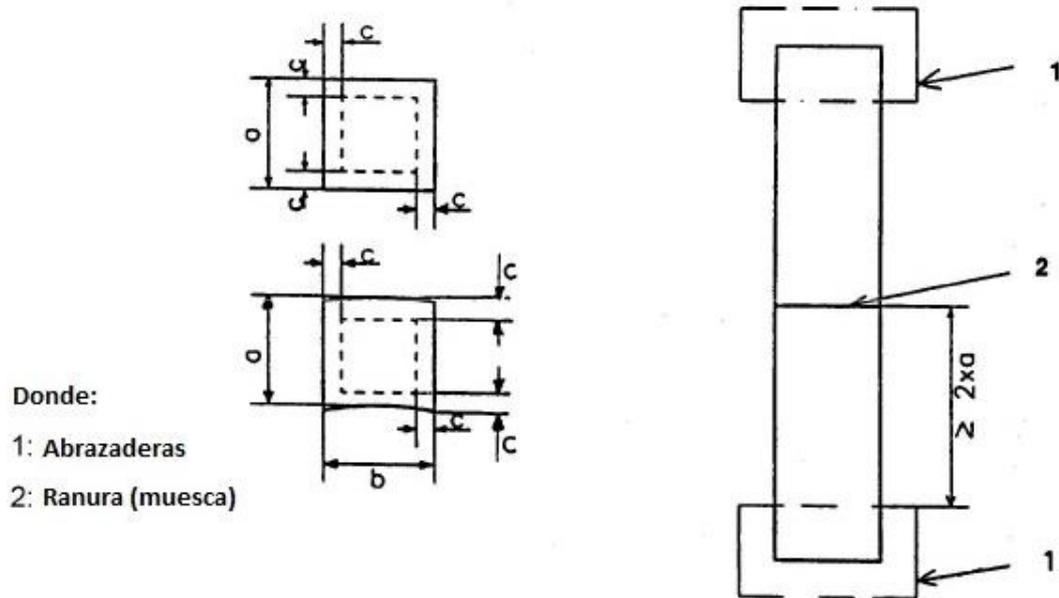


Figura 36. Muestras para prueba FNCT (Full Notch Creep Test)

Fuente: Norma PAS 1075:2009-04.

La ranura debe ser producida por una hoja de afeitar o herramienta similar en una habitación con temperatura de $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Para el cálculo de la carga aplicada en la prueba se considera lo siguiente:

$$F = A * \sigma \quad (39)$$

Dónde: F = Carga de la prueba

A = Área en contacto con abrazadera después de realizada la ranura.

σ = Esfuerzo de tensión (N/mm^2)

La consistencia de los resultados de la prueba debe ser demostrada mediante el uso de las muestras de referencia. Los resultados de las muestras de referencia deben estar disponibles con una frecuencia de al menos una muestra por cada 100 horas a lo largo del tiempo total de la prueba.

Las muestras son cargadas con una constante de esfuerzo de tensión de 4 N/mm² \pm 0,02 N/mm². La temperatura durante la prueba debe mantenerse constante en un rango de \pm 0,5 K.

Las pruebas de FNCT deben ser desarrolladas utilizando una solución acuosa de ®ARKOPAL N-100 en agua desmineralizada (2/100, w/w). El fluido debe ser agitado durante la prueba para evitar su dispersión.

El ®ARKOPAL N-100 (nonilfenol etoxilado de 10 moles) es utilizado en la fabricación de productos que contienen agua, aceites o derivados del petróleo. Es un excelente emulsionante, que permite preparar emulsiones estables y que ofrece una gran acción humectante. En la prueba FCNT es utilizado para formar una solución acuosa la cual permite acelerar la formación de grietas.

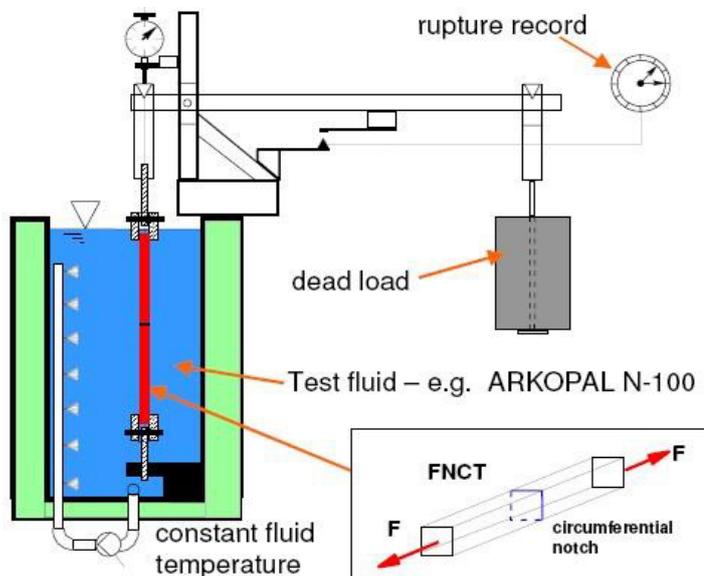


Figura 37. Figura descriptiva de la prueba FNCT

Fuente: PE pressure pipes made from PE 100-RC. Dipl.- Ing. Sven Nonhoff, Dr.-Ing. Joachim Hessel

Prueba 2NCT (Two Notch Creep Test). El mismo procedimiento del FNCT se aplica al 2NCT excepto por las dimensiones de las muestras.

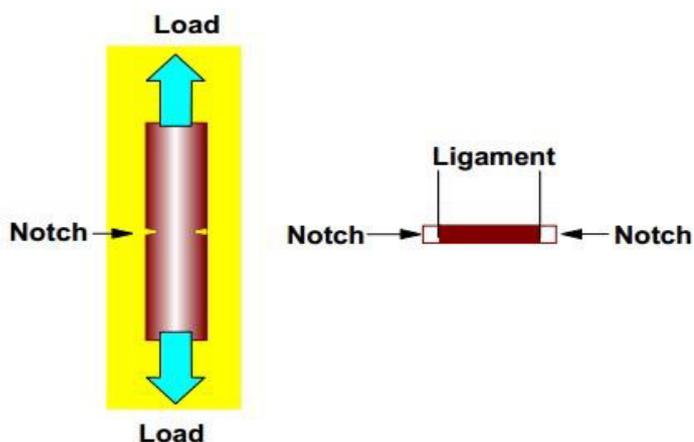


Figura 38. Imagen esquemática de la preparación de la prueba de 2NCT

Fuente: Resistance of large diameter PE pipes to internal pressure - A new approach using a cost-cutting test method. Fig 4, pag 3. J. Hessel

Se practican dos muescas sobre ambos lados de una muestra rectangular delgada. La norma de referencia de este ensayo es la EN 12814-3.

Prueba de carga puntual. Esta prueba permite determinar la resistencia al crecimiento lento de grietas del tubo aplicando una carga puntual externa. El máximo esfuerzo que experimentará la tubería debido a la carga puntual será el esfuerzo de fluencia. Con este ensayo se asegura que el desplazamiento de la carga puntual en la pared del tubo es suficiente para causar una elongación en la pared interior del tubo. La elongación de la superficie requerida en la pared interior de la tubería es producida por el desplazamiento de una herramienta cuyo extremo tiene un radio de 5mm a lo largo del radio de la tubería.

En la prueba se aplica la carga a la muestra a $23^{\circ}\text{C} \pm 2\text{K}$. La herramienta se moverá en dirección radial, el desplazamiento de esta herramienta va a producir una elongación en la pared interna de la tubería. El radio de esta herramienta debe ser $5\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$

Para la evaluación se debe documentar el modo de fallo. Solo las fallas entre un radio de 4 veces el espesor de la pared del tubo deben ser considerados en la evaluación de los resultados de la prueba.

Prueba de Penetración. El propósito de este ensayo es simular la penetración de un fragmento afilado a través de la pared de una tubería bajo

presión interna. Las muestras deben ser tuberías de diámetro externo 110mm y SDR 11. Para simular el fragmento afilado se utilizará una herramienta (die stamp) cuyo desplazamiento durante la prueba será igual a 8.18% del diámetro externo de la tubería.

Durante el periodo de la prueba el tubo será llenado con agua y sumergido en un medio acondicionado con agua a 80°C, 60°C, 40°C y 20°C; en este último durante la prueba es indiferente si esta al ambiente o inmerso en agua. La presión durante el tiempo que dura el ensayo debe ser constante con un margen de $\pm 2,5\%$. El espesor de la pared que se encuentra debajo de la cuña será medido después de un tiempo de ensayo de 9000 horas.

La tubería no deberá presentar agrietamiento por el esfuerzo aplicado antes del comienzo del envejecimiento térmico²³.

²³ Más detalles de esta prueba y del envejecimiento térmico ver Anexo 5.

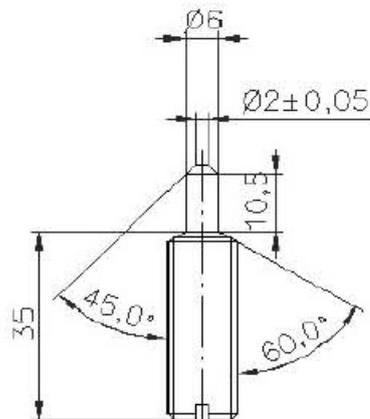


Figura 39. Dimensiones de herramienta (die stamp) utilizada en prueba de penetración

Fuente: Norma PAS 1075:2009-04. Fig. A4.1

Prueba de envejecimiento térmico. Se utiliza para examinar la estabilidad térmica de la tubería para una vida de servicio considerando el efecto del envejecimiento térmico.

Las condiciones bajo las que se realizan esta prueba son las siguientes:

- Temperatura: (80, 90, 100, 110)°C
- Presión: 1 bar
- Velocidad del flujo : 1 m/s \pm 0,2 m/s
- Medio: agua potable (O₂ de 6 a 9 mg/lit)
- Sustitución de medio: semanalmente

El contenido del equipo debe ser reemplazo semanalmente.

La estabilidad térmica del tubo se determina en un equipo capaz de hacer circular el medio de ensayo. El equipo trata de un conjunto de tuberías de acero con un sistema circulatorio el cual forman un circuito cerrado en el cual son introducidos los tubos de la prueba. La temperatura de la prueba debe permanecer constante.

La energía de activación para el envejecimiento térmico es calculada usando el tiempo de rotura y la ley de Arrhenius. El comienzo del envejecimiento térmico con un límite inferior de confianza de 100 años a 20°C tiene que ser probado por extrapolación.

La norma ISO 9080 especifica un método para la predicción a largo plazo de la resistencia hidrostática de materiales termoplásticos a través de la extrapolación de datos estadísticos obtenidos en base a pruebas realizadas a sistemas de tuberías

Prueba de Muesca (DIN EN ISO 13479). Consiste en realizar cuatro muescas a un tubo a lo largo de su longitud, el cual estará sujeto a una prueba de presión hidrostática constante mientras se encuentra inmerso en un tanque de agua a 80°C. Esta es una prueba de presión que permite determinar la resistencia de los tubos (poliolefina) a la propagación lenta de grietas, para tuberías con espesor de paredes mayores a 5mm.

Se recomienda preparar tres piezas de ensayo, las cuales deben ser lo suficientemente largas para tener una longitud libre mínima de $(3 \text{ DN} \pm 5)$ mm entre sus extremos. Para tuberías mayores a 315 mm la longitud libre mínima entre extremos de $(3 \text{ DN} \pm 5)$ mm debería ser usada; de otra manera esta podría ser mayor o igual a 1000mm. Las muescas deben ser equidistantes alrededor de la circunferencia del tubo.

La presión hidrostática de la prueba se aplica acorde a lo indicado en la norma ISO 1167 a una temperatura de 80°C. La presión debe ser aplicada de manera lenta y progresiva. Una vez estabilizado hay que procurar que estos parámetros no varíen durante la prueba. Se mantiene presurizado hasta que la pieza de ensayo falle o el tiempo de falla haya transcurrido. Es importante registrar el tiempo en cada evento.

En el reporte de la prueba debe constar la siguiente información:

- Referencia del estándar internacional.
- Detalles necesarios para completar identificación del tubo.
- Detalles del equipo utilizado.
- Características del proceso y operación realizada.
- Medida del diámetro externo del tubo en mm.
- Espesor de ligamentos por cada muesca realizada.
- Detalles de muesca y cualquier falla presentada.
- Prueba de presión.

- Tiempo de duración de la prueba.
- Detalles de factores que afectan la prueba, incidentes u operaciones no especificadas en especificaciones.
- Fecha de la prueba.

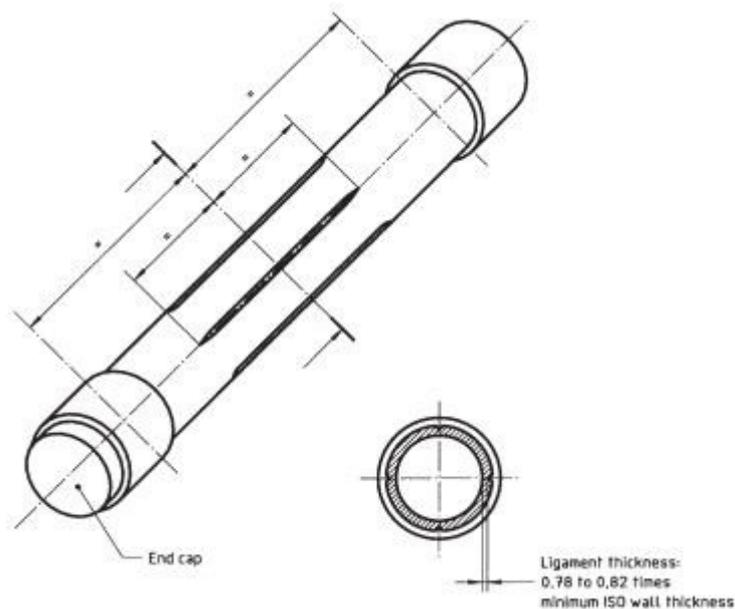


Figura 40. Ilustración de muestra de ensayo

Fuente: EN ISO 13479 : 1997. Fig.1, Pag.6

3.3.1.1 Pruebas y ensayos acelerados

El comportamiento respecto al crecimiento lento de fisuras o grietas (SCG) es el mecanismo de falla más importante para definir las características del polietileno. El SCG es un proceso de rotura dependiente del tiempo difícil de definir con precisión.

Varios métodos de ensayo son empleados para la caracterización de los tubos de polietileno. Estas pruebas y ensayos pueden durar largos periodos de tiempo, meses o años, en especial para los nuevos polietilenos de alta densidad con características de resistencia mejoradas.

Según la especificación PAS 1075 los métodos de prueba utilizados para el control de tuberías de PE100-RC, pueden ser ajustados con el fin de acortar el tiempo de las pruebas, sin embargo estos siguen sin ser prácticos al durar varios días o semanas. Además, la especificación advierte que mediante métodos acelerados no es permisible extrapolar datos para estimar el envejecimiento, con lo cual no se podría con certeza garantizar el tiempo de vida de la tubería.

A partir de esto han surgido investigaciones proponiendo nuevos métodos de ensayos acelerados, los cuales permitan en tiempos razonables estimar la resistencia o comportamiento del material frente al mecanismo de SCG de polietilenos de alta densidad

PENT (Pennsylvania Edge-Notch Tensile), fue uno de los primeros trabajos propuestos en los años 90 para determinar la resistencia del material a SCG, el cual es un procedimiento reconocido en la norma ASTM F1473 e ISO16241, para la caracterización de los materiales plásticos. En este ensayo se somete a tracción una probeta rectangular prismática, en la cual

se practica una ranura de ciertas características con el fin de provocar una condición de deformación plana. Al igual que en ensayos como el FNCT se acelera el fallo sumergiendo la probeta en un agente humectante a temperaturas de 80°C. Pese a esto para los nuevos grados de polietileno (PE100-RC) los tiempos de rotura resultan muy grandes, lo cual ha limitado su uso y no garantizan el mecanismo de fallo SCG.

CDNT (Circumferentially Deep Notch Tensile), es otro método de ensayo utilizado para estimar el tiempo de fallo del material por SCG, en el cual se emplea una probeta cilíndrica a la que se practica una ranura, que favorece la formación de grietas frente al flujo plástico. Este método se realiza en las mismas condiciones que la prueba de PENT, esto es a 80° C sumergido en un agente humectante.

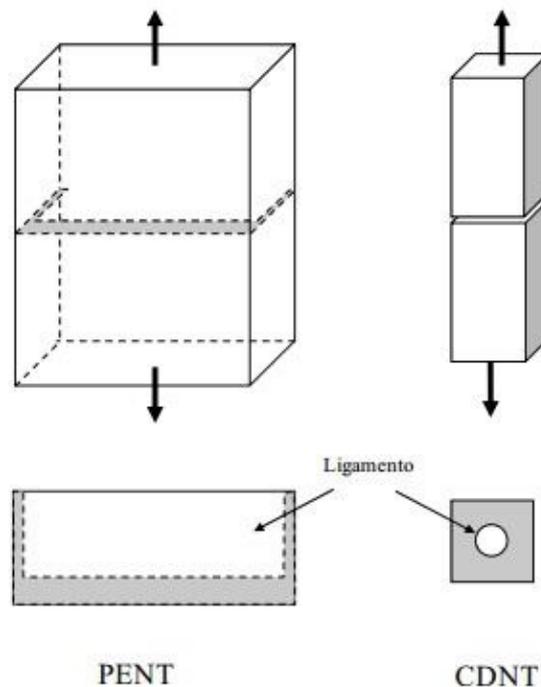


Figura 41. Esquema de las geometrías PENT y CDNT

Fuente: "Caracterización de polietilenos de alta densidad frente al fenómeno del crecimiento lento de grietas". A. Adib, C. Dominguez, R. A. Garcia, M. Aroca, M. A. Garrido, J. Rodríguez. Anales de Mecánica de Fractura 28, GEF. Vol.1 (2011)

3.4 Métodos alternativos de Instalación

Las tuberías de PE100-RC se instalan de manera muy similar a las tuberías tradicionales de PE100, pero con la diferencia que este tipo de tubos admiten ser instalados con técnicas modernas o métodos alternativos, como instalación en zanja sin cama de arena y posible reutilización de material excavado, así como también la instalación sin apertura de zanja (NO-DIG).

Esto gracias a su alta resistencia a esfuerzos puntuales, así como también

una alta resistencia al crecimiento lento de grietas, lo cual permite realizar instalaciones rápidas de manera segura evitando fugas o roturas.

Para el uso de técnicas de instalación sin apertura de zanja se requiere de terrenos estables y libres de rocas de gran tamaño. Estos métodos a excepción de la perforación direccional se limitan a pequeñas profundidades.

A continuación, resumen de los métodos alternativos de instalación:

Método apertura de Zanja, sin cama de arena

Esta instalación se realiza con la apertura de una zanja de menores dimensiones respecto a una zanja tradicional. Se coloca el tubo en la zanja sin necesidad de colocar base de granular (para mejoramiento de fondo de zanja o acostillado) para asentar o cubrir tubería. En su lugar se rellena la zanja reutilizando el material previamente excavado o se puede también colocar material de relleno seleccionado.



Figura 42. Sección de Zanja sin cama de arena

Fuente: Sistemas en PE-RC (Resistance to crack). Catálogo de producto edición enero 2014 . abn Pipe Systems.

Método de zanja por fresado

Este método se emplea en terrenos difíciles de excavar, mayormente en zonas rurales y en terrenos libres de tráfico. Una máquina zanjadora realiza la apertura de la zanja mientras se introduce directamente de manera inmediata el tubo. Posteriormente se cubre tubería utilizado el mismo material suelto excavado.

Durante la instalación con este método la tubería puede resultar con ralladuras, además restos de roca punzantes pueden quedar en permanente contacto con el tubo.

Los tubos utilizados deben de ser un material de alta resistencia. Una utilización de una tubería de alta resistencia permite además prescindir del uso de cama de arena.

Una zanjadora es una maquina diseñada especialmente para realizar la rápida apertura de zanjas sobre terreno natural. Existen diversos tipos de máquinas zanjadoras (trenchers) grandes, medianas y compactas, así como también implementos o accesorios ajustables a minicargadores o retroexcavadoras los cuales se seleccionan de acuerdo a la necesidad del proyecto. Comúnmente las grandes y medianas son las más adecuadas para instalaciones de conducción de agua, gas, etc.



Figura 43. Ilustración esquemática de zanja realizada por excavadora de zanjas

Fuente: Sistemas en PE-RC (Resistance to crack). Catálogo de producto edición enero 2014. abn Pipe Systems.

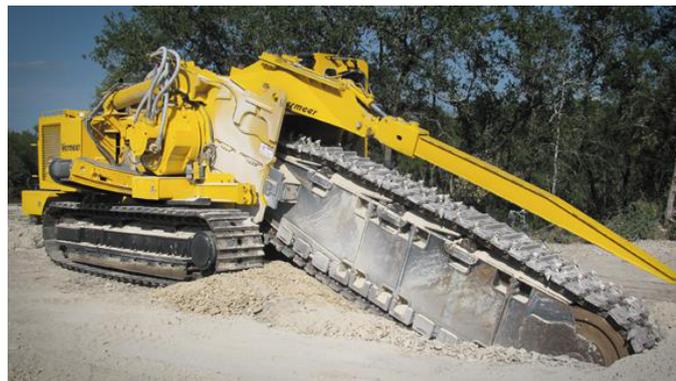


Figura 44. Zanjadora (Trencher) de oruga

Fuente: Catalogo de equipos y maquinarias Vermeer Trenchers -Pipeline



Figura 45. Accesorio montado a minicargador – Zanjadora

Fuente: Catálogo de equipos y maquinarias Trencher Bobcat

Método de arado sin apertura de zanja

Este método consiste en introducir la tubería en el suelo a través de herramientas de arado vibratorio y el uso de maquinaria pesada especializada. La tubería se va introduciendo a medida que avanza el arado por medio de un tubo alimentador que junto al equipo montado dejan enterrada la tubería.

Debido al tipo de instalación la tubería que entra en contacto con el suelo puede estar expuesta a esfuerzos de tensión o de punzonamiento, los cuales pueden persistir aun finalizada la instalación, por largos periodos de tiempo.

Con este método es posible instalar tuberías hasta profundidades de dos metros, además también de poder instalar varios conductos en paralelo, de una sola vez.

Se lo considera muy eficiente y rentable al poder conseguir rendimiento promedio de hasta 5000 m/día. Es respetuoso con el medio ambiente ya que se considera una baja afectación del arado sobre el suelo.



Figura 46. Ilustración de método de arado

Fuente: Sistemas en PE-RC (Resistance to crack). Catálogo de producto edición enero 2014 . abn Pipe Systems.

Rehabilitación por rotura

En este método conocido también como *Pipe Bursting* se introduce una cabeza de ruptura junto con la tubería nueva a través de la tubería a rehabilitar, provocando una fractura sobre la tubería vieja y dejando instalada la tubería nueva. Fragmentos de la tubería vieja pueden provocar rayones, muescas o aparición de cargas puntuales sobre la

superficie de la tubería nueva, por tanto ésta debe ser resistente a cargas dinámicas y puntuales.

La tubería a rehabilitar debe de ser de igual o mayor diámetro respecto a la existente, con lo cual se debe considerar el tipo de suelo circundante de manera que se pueda prever una posible complicación en la instalación de la tubería nueva.

Este tipo de instalación sin zanja es recomendable para la rehabilitación de tuberías de agua potable y gas, donde existan instalaciones o canalizaciones próximas, y que pudiesen ser afectas mediante una instalación de tipo tradicional.



Figura 47. Ilustración referencial de rehabilitación por rotura.

Fuente: Sistemas en PE-RC (Resistance to crack). Catálogo de producto edición enero 2014 . abn Pipe Systems.

Perforación horizontal dirigida

Este método de instalación sin zanja es empleado en la instalación de redes nuevas, las cuales pueden ser de gran longitud, utilizando una máquina de perforación direccional con varios componentes asociados. Se puede realizar perforación sin importar el tipo de terreno. Se realiza una perforación inicial guía para luego introducir la tubería con ayuda de un equipo de inserción. Desde la superficie la trayectoria, posición y orientación de la perforación es seguida mediante un localizador.

Dependiendo de las condiciones del terreno la tubería puede sufrir rayones o quedar expuesta a cargas puntuales y esfuerzos de tensión.



Figura 48. Perforación horizontal dirigida

Fuente: Sistemas en PE-RC (Resistance to crack). Catálogo de producto edición enero 2014 . abn Pipe Systems.

Las tuberías PE100-RC cumplen ampliamente las especificaciones de las tuberías de PE100 (tradicional) y son absolutamente recomendables para este tipo de instalaciones extremas sin que se vea afectado su vida útil de

servicio (mayor de 100 años). Estas tuberías cumplen con exigentes normas alemanas que determinan requisitos mínimos de tuberías de polietileno en instalaciones de perforación dirigida sin zanja.

Para instalaciones superficiales en general se toman en cuenta las mismas consideraciones que para la tubería tradicional de PE100.

3.5 Otros usos

Las tuberías de polietileno han experimentado un gran avance en los últimos años tanto en su materia prima, como en su proceso de fabricación. Sus principales aplicaciones han sido la conducción de agua (abastecimiento, saneamiento, riego, drenaje, etc.) en redes nuevas y rehabilitación de redes existentes. Sin embargo su uso se ha extendido a campos como la conducción de gas, aplicaciones industriales, canalización eléctrica, etc.

Para el caso de suministro de gas natural se debe considerar la aplicación de un coeficiente de servicio de diseño mínimo de 2 sobre el valor del MRS, a una PN de servicio de 12,5 bares según las normas europeas. La tubería empleada para gas natural se caracteriza por ser de color amarillo, naranja o negro con bandas amarillas.

Gracias a su peso liviano, fácil manejo, resistencia mecánica y química pueden ser utilizadas en aplicaciones específicas como la canalización y

transporte de aguas de procesos del sector industrial, pesquero y marítimo. (Ej.: canalización de líquidos con sólidos en suspensión, riego de lixiviados, conducción de soluciones ácidas y alcalinas, emisarios submarinos, bombeo de dragas, recolección residuos marinos, aguas recicladas, etc.)

Además dependiendo del proveedor los colores de su capa exterior pueden facilitar la identificación del sistema. (Ej.: negro con rayas rojas- redes contra incendios, negro con rayas verdes- riego, negro con rayas lilas- aguas recicladas, negro con rayas marrones- aguas residuales).

CAPITULO 4

4. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA TUBERÍA PE100 - RC

El análisis de la tubería de PE100-RC en este trabajo se enfocará en los siguientes puntos:

Pruebas y ensayos. Se realizará pruebas y ensayos (no normalizados) a tuberías de PVC, PE100 y PE100-RC Tipo 2 (3 capas) para verificar su comportamiento. Además se evaluará si a partir de ellos se puede establecer alguno como ensayo o prueba de referencia para el control de calidad o caracterización del tubo en el caso de las tuberías de PE100-RC Tipo 2.

Comportamiento hidráulico. Consideración del uso de la tubería de PE100-RC en un sistema de distribución de agua potable y comparación con la utilización de una tubería tradicional de PVC. Uso de software de modelación para verificar comportamiento del sistema hidráulico considerando ambos tipos de materiales de tubería.

Comportamiento Mecánico (Deflexión Transversal). Análisis específico sobre deflexión transversal generada en tubería de PE100-RC Tipo 2 debido a la acción de cargas muertas y cargas móviles a distintas profundidades de instalación. Considerando instalación en zanja abierta (tradicional). Utilización de programa *External Load For Uni-Bell Flexible Conduits*, para estimar de deflexiones.

Comparación de costos. En base de un proyecto de referencia se considerará la utilización de distintos tipos de tuberías PE100-RC Tipo 2, PE100 y PVC. Se tomará en cuenta el método de instalación convencional con zanja abierta para los tres tipos de tuberías.

4.1. Pruebas y Ensayos Propuestos

Las pruebas y ensayos para el análisis y evaluación de las tuberías de PE100-RC están claramente definidas en la especificación PAS-1075. Estas pruebas sirven para homologar y aseguran la calidad de las tuberías y su materia prima, para los métodos alternativos de instalación.

Estas pruebas se centran principalmente en el fenómeno de crecimiento lento de la grieta (SGC), las cuales requieren de tiempos prolongados de ensayo pudiendo extenderse por meses o años. Las investigaciones en torno a este tema se centran en determinar métodos de ensayo acelerados que permitan caracterizar las tuberías correctamente.

Para el presente trabajo se proponen 3 pruebas no normalizadas con el fin de verificar el comportamiento hidráulico y mecánico de la tubería PE100-RC (Tipo 2) y comparar estos resultados con los obtenidos en los mismos ensayos realizados para las tuberías de PE100 y PVC.²⁴

La tubería de PE100-RC Tipo 2 es una tubería multicapa conformada de 2 o 3 capas, considerada para los métodos de instalación de zanja abierta sin recubrimiento de cama de arena, la cual posee características de lento crecimiento de grietas acorde al PAS1075. Este tipo de tubería ofrece protección sobre cargas puntuales provocadas por rocas o fragmentos, pero no tiene protección para muescas o ranuras.

Trazado y marcado de Tuberías a realizar pruebas y ensayos.

- **PVC:**

²⁴ Ver en Anexo 6 Informe de pruebas realizadas

PLASTIGAMA TUBO PARA PRESION 90X3,5MM S:12,5 PN:1,0MPA SELLO INEN
NORMA 1373 IND.ECUATORIANA 2015-01-31 14:28 XT-03 B

- **PE100:**

TIGRE TUBO DE POLIETILENO PARA CONDUCCIÓN DE AGUA A PRESIÓN PE100
90X5,4MM SDR 17 PN 1,0 MPA S:8 L:140529 10 02:30 NORMA ECUATORIANA
SELLO DE CALIDAD INEN 1744

- **PE100 RC (Tipo 2)**

IDROTHERM2000 RENOVATION VRC+ BUREAU VERITAS137/004 UNI EN12201 W
ISO4427 PE100 RC 090X5,4 PN10 SDR17 2B 3B 2B 11/07/13 POLIETILENE VERGINE
100% ROTOLO DA 100MT MADE IN ITALY WWW.IDROTHERM2000.COM
COESTRUSO m00513



Figura 49. Probetas para la realización de los distintos ensayos

Fuente: Roberto X. Ramírez Aguilar

Ensayo de Resistencia al Impacto por Baliza.

Objeto.

Verificar resistencia al impacto por baliza de tubos de PVC, PE100 y PE100 Tipo2 (3 capas).

Resumen del Método de ensayo.

Se trata de un ensayo propuesto experimental, el cual toma de referencia el ensayo de la norma INEN 504-2003, que consiste en dejar caer libremente una masa provista de un percutor a cierta altura conocida, sobre la zona marcada de una probeta con la ayuda de un aparato de ensayo.

Las probetas deben tener 200mm de longitud, con cortes perpendiculares al tubo de acuerdo a norma de referencia. Para el ensayo se prepararon un total de 10 probetas para cada material de tubería.

Se seleccionó percutor tipo C especificado en la norma ASTM D2444-99, suponiendo que este tipo de percutor ocasionará una mayor afectación a las tuberías durante los ensayos.

Se solicitó además realizar dos impactos por probeta, donde el segundo impacto se lo realiza del lado opuesto del primer impacto, con el fin de forzar la falla del tubo. Para los ensayos se denomina falla cuando se produce el

agrietamiento o rotura dentro del área de impacto del percutor, la deformación del tubo no se identifica como falla para este ensayo en específico.

Procedimiento.

Se inicia con una energía de impacto de 44,15 J el cual corresponde al valor mínimo para tuberías de PVC de DN 90mm, según norma INEN1373:2013. A partir de ello se incrementa gradualmente la energía de impacto (método escalonado) variando la altura de caída de la masa, hasta que se produzca la falla. El percutor seleccionado fue el de una masa de 9,1 kg tipo C

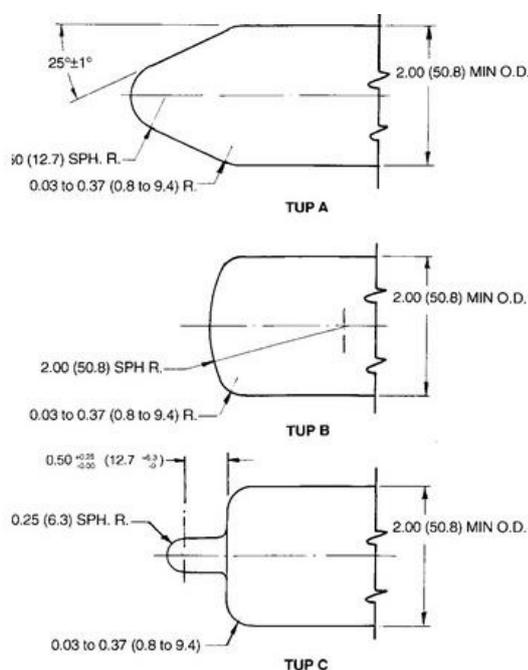


Figura 50. Tipos de percutores

Fuente: ASTM-D2444 Impact Resistance of Plastics and Fitting, 1998



Figura 51. Prueba de impacto. (Izq) Colocación de probeta, (Der) Selección altura de impacto

Fuente: Roberto X. Ramírez Aguilar

Resultados.

#	Energía de impacto (J)	Masa (kg)	Altura (m)	Resultado de impacto PVC	
				Impacto # 1	Impacto # 2
1	44,64	9,1	0,50	A	A
2	66,95	9,1	0,75	A	A
3	89,27	9,1	1,00	A	A
4	111,59	9,1	1,25	A	A
5	133,91	9,1	1,50	A	A
6	156,22	9,1	1,75	A	A
7	178,54	9,1	2,00	P	N/A
8	156,22	9,1	1,75	A	A
9	165,15	9,1	1,85	P	N/A
10	178,54	9,1	2,00	P	N/A

(P) presencia de falla, (A) ausencia de falla, (N/A) no aplica

Tabla XVII. Impacto por Baliza para PVC

Fuente: Tomado en base a Informe 15-098 Ensayo de Resistencia al Impacto por Baliza. Lemat.

#	Energía de impacto (J)	Masa (kg)	Altura (m)	Resultado de impacto PE100		Resultado de impacto PE100 RC (Tipo 2)	
				Impacto # 1	Impacto # 2	Impacto # 1	Impacto # 2
1	44,64	9,1	0,50	A	A	A	A
2	66,95	9,1	0,75	A	A	A	A
3	89,27	9,1	1,00	A	A	A	A
4	111,59	9,1	1,25	A	A	A	A
5	133,91	9,1	1,50	A	A	A	A
6	156,22	9,1	1,75	A	A	A	A
7	178,54	9,1	2,00	A	A	A	A
8	200,86	9,1	2,25	A	A	A	A
9	223,18	9,1	2,50	A	A	A	A
10	249,96	9,1	2,80	A	A	A	A
11	373,56	13,6	2,80	A	P	A	P

(P) presencia de falla, (A) ausencia de falla, (N/A) no aplica

Tabla XVIII. Impacto por baliza para Polietileno (PE100 y PE100-RC)

Fuente: Tomado en base a Informe 15-098 Ensayo de Resistencia al Impacto por Baliza. Lemat.

Para las tuberías de PE100 y PE100-RC se realizaron 10 impactos, en ellos no se detectó fallo en el material, solo deformación. Dado esto se decidió realizar un impacto adicional utilizando una masa de 13,6 kg a la altura máxima de funcionamiento del aparato de impacto (2,80m), imprimiendo una energía de impacto de 373.56 J. Al realizar esto se tuvo un fallo en los dos materiales al realizar el segundo impacto.



Figura 52. Afectación de las tuberías durante pruebas de impacto. Superior izq. PVC, Superior der. PE100, Inferior PE100-RC

Fuente: Roberto X. Ramírez Aguilar

Ensayo de Presión Hidrostática

Objetivo.

Verificar resistencia de los tubos de PVC, PE100 y PE100 Tipo2 (3 capas) a la presión hidrostática durante el tiempo aproximado de 1 hora.

Resumen del Método de ensayo.

Para este ensayo se utilizaron dos métodos:

Método escalonado:

Se parte de una presión inicial de 10 bares y se aumenta presión interna en intervalos de 5 bares con un tiempo de sostenimiento de 10 minutos hasta que se produzca el fallo.

Método Lineal (Con impacto de probeta):

Para este ensayo se ha aplicado previamente a la muestra un impacto por baliza, calculando una energía de impacto de 156,22 J utilizando un percutor tipo C de masa 9,1 kg a una altura de 1750 mm. Se inicia con una presión de cero y se aumenta gradualmente la presión a una razón de aproximadamente 0,8 bar/min hasta producirse el fallo.

Procedimiento:

Para ambos métodos a partir de las tuberías de DN 90mm se prepara las probetas de 50 cm de longitud y se practica un bisel en sus extremos. Se montan tapones sobre las probetas y se verifica su hermeticidad. Se acondiciona durante una hora antes de comenzar la prueba.

Luego de ello se procede según los métodos indicados (escalonado o lineal).



Figura 53. Prueba de presión hidrostática. Preparación de probeta

Fuente: Roberto X. Ramírez Aguilar



Figura 54. Prueba de Presión hidrostática. Introducción de probeta a cámara de presión

Fuente: Roberto X. Ramírez Aguilar

Resultados:

Método Escalonado:

Material	Presión interna de ensayo (Bares)	Tiempo de sostenimiento (minutos)	Resultado
PVC	10,0	10	No falla
	15,0	10	No falla
	20,0	10	No falla
	25,0	10	No falla
	30,0	10	No falla
	35,0	10	No falla
	40,0	10	Falla

Tabla XIX. Tabla de resultados. Método escalonado PVC

Fuente: Tomado en base a Informe 15-098 Ensayo de Presión Hidrostática Interna. Lemat.

Material	Presión interna de ensayo (Bares)	Tiempo de sostenimiento (minutos)	Resultado
PE100	10,0	10	No falla
	15,0	10	No falla
	20,0	10	No falla
	25,0	10	No falla
	30,0	10	Falla

Tabla XX. Tabla de resultados. Método escalonado PE100

Fuente: Tomado en base a Informe 15-098 Ensayo de Presión Hidrostática Interna. Lemat.

Muestra	Presión interna de ensayo (Bares)	Tiempo de sostenimiento (minutos)	Resultado
PE100 RC (Tipo2)	10,0	10	No falla
	15,0	10	No falla
	20,0	10	No falla
	25,0	10	Falla

Tabla XXI. Tabla de resultados. Método escalonado PE100 RC (Tipo2)

Fuente: Tomado en base a Informe 15-098 Ensayo de Presión Hidrostática Interna. Lemat.

Método Lineal:

- Material PVC Material falla a los 43,21 bar.

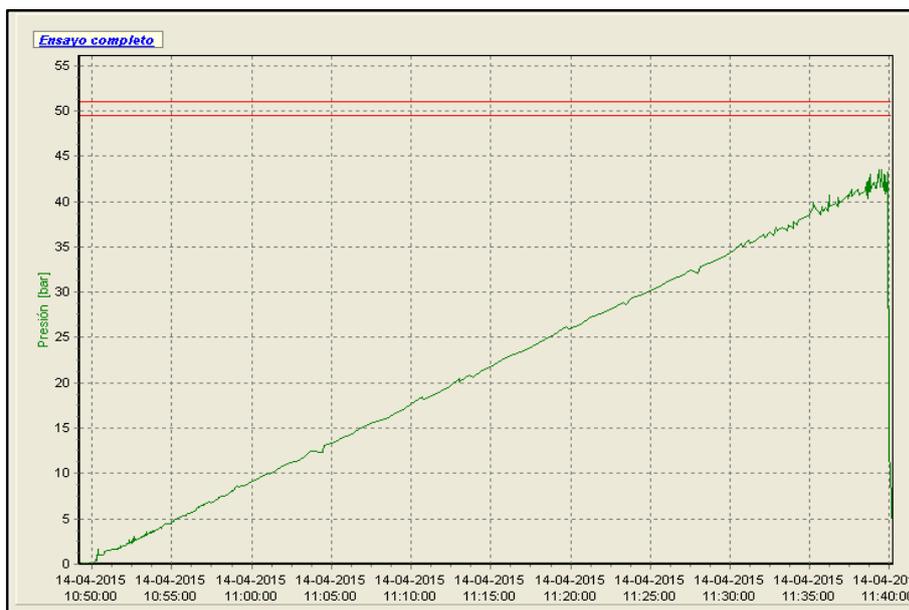


Figura 55. Grafico Presión vs Tiempo. Método lineal Material PVC.

Fuente: Suplemento de informe 15-089 Ensayo de presión Hidrostática. Lemat

- Material PE100 Material falla a los 32,56 bar.

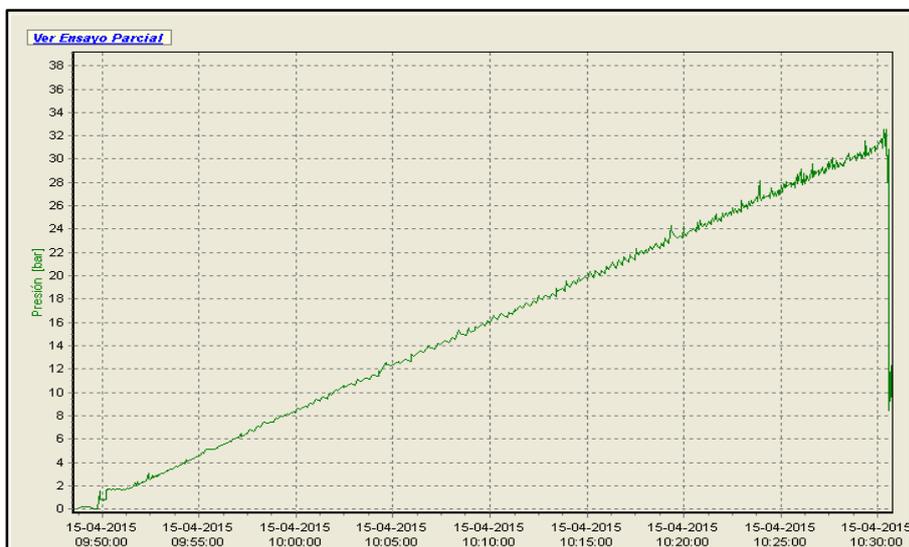


Figura 56. Grafico Presión vs Tiempo. Método lineal Material PE100

Fuente: Suplemento de informe 15-089 Ensayo de presión Hidrostática. Lemat

- Material PE100-RC Tipo2 Material falla a los 29,68 bar.

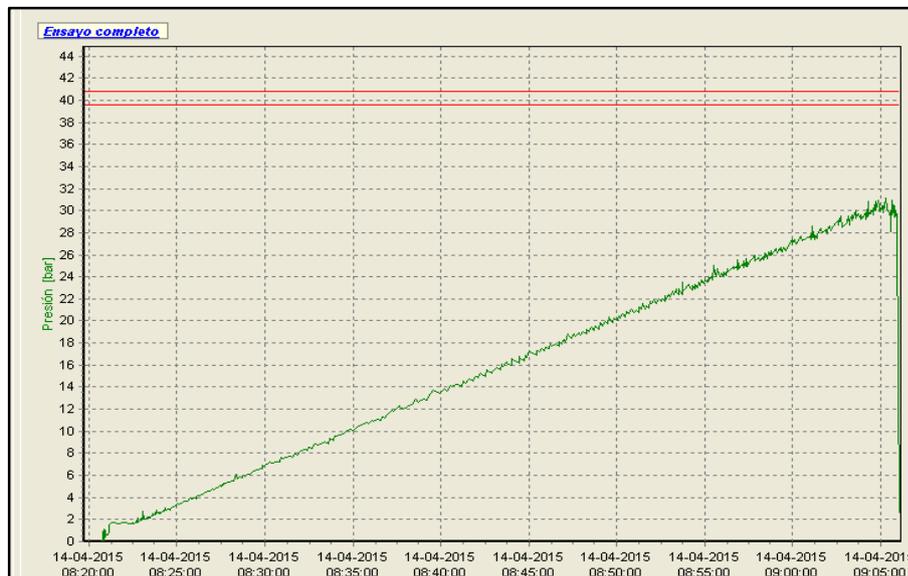


Figura 57. Grafico Presión vs Tiempo. Método Lineal Material PE100-RC tipo 2
Fuente: Suplemento de informe 15-089 Ensayo de presión Hidrostática. Lemat

Rigidez Anular Método de la Carga Variable

Objetivo.

Obtener la rigidez anular de tubos de PVC, PE100 y PE100 Tipo2 (3 capas)

Resumen del Método de ensayo.

El ensayo se realizó en base a la norma ISO 9969:2007.

Existe una desviación en la norma ya que la longitud de las tuberías fue de 150 mm y la deflexión diametral seleccionada fue de 5%. Además para el

cálculo de la rigidez anular se tomó en consideración el diámetro interior promedio y no el mínima como indica la norma.

Procedimiento.

Se marca en las probetas el menor espesor de pared y luego se mide a partir de este a intervalos de 60°.

Se registra la longitud de los tubos y el diámetro interior.

Se coloca tubo en máquina de ensayo y se mide diámetro interior vertical d la probeta. Luego se pone la probeta sobre las placas del equipo de ensayo de manera que se mantenga fija la tubería sin generar ninguna fuerza en principio con placa superior. Finalmente se inicia compresión de la muestra a una velocidad próxima de 10 ± 5 mm/min, se registra la deflexión con ayuda del deformímetro hasta alcanzar una deflexión requerida.

Se aplica carga y se comprime hasta alcanzar deflexión requerida.

Resultados.

#	Fuerza al 5% (kN)	Longitud (mm)	Diámetro interior (mm)	Rigidez anular individual (kN/m ²)
1	0,41	150,00	82,41	12,84
2	0,60	150,00	82,14	18,75
3	0,60	150,00	82,34	18,86
Rigidez anular de la tubería				16,82

Tabla XXII. Ensayo de rigidez anular (PVC)

Fuente: Tomado en base a informe 15-098, Ensayo de Rigidez Anular. Lemat

#	Fuerza al 5% (kN)	Longitud (mm)	Diámetro interior (mm)	Rigidez anular individual (kN/m ²)
1	0,68	150,00	81,36	21,53
2	0,72	150,00	81,39	22,73
3	0,71	150,00	81,81	22,36
Rigidez anular de la tubería				22,21

Tabla XXIII. Ensayo de rigidez anular (PE100)

Fuente: Tomado en base a informe 15-098, Ensayo de Rigidez Anular. Lemat

#	Fuerza al 5% (kN)	Longitud (mm)	Diámetro interior (mm)	Rigidez anular (kN/m ²)
1	0,83	150,00	82,14	25,91
2	0,77	150,00	82,60	23,89
3	0,79	150,00	82,24	24,63
Rigidez anular de la tubería				24,81

Tabla XXIV. Ensayo de rigidez anular (PE100 RC Tipo2)

Fuente: Tomado en base a informe 15-098, Ensayo de Rigidez Anular. Lemat



Figura 58. Ensayo de Rigidez anular. (Izq.) Preparación de muestras, (der) Maquina de ensayo Universal utilizada para la prueba

Fuente: Roberto X. Ramírez Aguilar

4.2. Comportamiento Hidráulico

Un sistema de tuberías puede ser analizado en términos hidráulicos, de acuerdo a su eficiencia en la conducción, esto es una mayor capacidad de caudales entregados con un mínimo de pérdidas de cargas, continuas o locales, en función de su DN, PN y propiedades intrínsecas del material.

Tuberías plásticas como el PE y PVC se caracterizan por contar con superficies lisas, de muy baja rugosidad y de alta resistencia a la corrosión o incrustaciones lo cual permite una excelente capacidad de escurrimiento en comparación con otros materiales.

De la misma manera las tuberías de PE100-RC comparten estas propiedades y dependiendo del proveedor estas tuberías pueden incluir mejoras como aditivos antiadherentes, lo cual puede significar reducción de las pérdidas de carga debido a la fricción existente entre el líquido transportado y la pared de la tubería. Sin embargo, esto como característica del tubo suministrado por el proveedor, no más como una característica propia de las tuberías PE100-RC

Para verificar el comportamiento hidráulico con distintos materiales de tubería se empleará software de modelación "*WaterGEMS*", aplicado a un proyecto de rehabilitación de redes. A continuación detalles de proyecto de referencia

Información General	
Nombre Proyecto de Referencia	"REHABILITACIÓN DE LA RED DE AGUA POTABLE PARA EL SECTOR CRO-025 CRISTO DEL CONSUELO"
Descripción General	Rehabilitación de redes de agua potable, en sector Cristo del Consuelo ubicado al sur-oeste de la ciudad de Guayaquil, en área de aproximadamente 66,40 Has. Sector fue propuesto a rehabilitación debido a altos porcentajes de agua no contabilizada y elevados índices de pérdida (% aproximado de ANC= 85%). Material de redes existentes fibrocemento y PVC, con más de 30 años de funcionamiento
Limites	Al norte calle 33 B SO (Carlos Guevara Moreno); al sur calle 42 SO (Callejón Parra); al este Av. 11 SO (Lizardo García); y al oeste Av. 21 SO (Callejón Federico Godín)
Topografía	Área de topografía regular, con niveles entre 2,80 m y 3,10 m.
Abastecimiento	Salida radial de 400mm, que se deriva de acueducto de 800 mm HD ubicado en calle Guerrero de Valenzuela y Domingo Sabio.

Presión en Abastecimiento	Presión Promedio = 29,50 mca Presión Máxima = 33,95 mca Presión Mínima = 25,05 mca
Periodo de Diseño	25 años
Población	Calculado en base a número de predios y densidades poblacionales según INEC (año 2012) # Predios: 2965 Densidad poblacional (país): 4,5 Densidad futura: 6 Población Actual= 13343 hab. Población Futura= 17790 hab.
Dotación Proyectada	De acuerdo a zona de planificación urbana de la ciudad de Guayaquil y plan maestro de agua potable para Guayaquil, la dotación proyección esperada para esta zona es: 140 lt/hab/día
Caudal de diseño	Q medio diario= 21,62 lt/s Q Máximo diario= 32,43 lt/s Q máximo horario= 43,24 lt/s
Velocidad máxima de circulación	v= 1,5 m/s

Tabla XXV. Datos de proyecto de referencia y características de distintos materiales de tubería a considerar.

Elaboración: Roberto X. Ramírez Aguilar, 2015

4.2.1 Software WaterGems

Para realizar la modelación hidráulica de la red se ha utilizado el software de modelación WaterGEMS.

WaterGEMS es una aplicación de modelación hidráulica para sistemas de distribución de agua que constituye una herramienta de Planificación, Operación y Mantenimiento, Diseño y Simulación, Gestión y Administración de los sistemas de abastecimiento, permitiendo construir modelos geospaciales y realizar varias hipótesis con posibles soluciones en distintos escenarios, con la finalidad de facilitar al diseñador el encontrar y decidir la mejor opción que se adapte a las necesidades reales.

Aplicaciones

- Simulaciones en estado estacionario
- Simulaciones de periodos extendidos
- Diseño y Planeación Maestra de redes de distribución
- Esquemas Operativos
- Análisis de uso del agua
- Control en tiempo real
- Auditoría y detección de fugas
- Protección contra incendios
- Modelación de Calidad de Agua
- Análisis de vulnerabilidad
- Modelado de válvulas
- Modelado de rociadores

Características del Software

WaterGEMS es capaz de operar como una plataforma independiente o ser ejecutado en otras aplicaciones como ArcGIS, AutoCAD o MicroStation.

Es un programa con muchas opciones avanzadas de modelación que permite incrementar la eficiencia de los proyectos.

Es posible ingresar datos de forma manual o cargar en el programa información existente. El software cuenta con una librería de tuberías y accesorios de distintos tipos de materiales.

Realiza una optimización y calibración automática del modelo utilizando el DARWIN CALIBRATOR

Fases de la Modelación

Para la elaboración de los modelos hidráulicos es necesario dividir el proceso en las siguientes fases:

Fase 1: Realizar la construcción topológica

Fase 2: Proveer la información de la infraestructura

Fase 3: Asignar las cotas y elevaciones del proyecto

Fase 4: Estimar la demanda. Con el modulo LOAD BUILDER se calculan los caudales de demanda en los nudos de la red.

Fase 5: Efectuar la esqueletización de la red

Fase 6: Crear diferentes escenarios y alternativas

Fase 7: Ejecutar las simulaciones

Fase 8: Calibrar y ajustar las características del modelo hidráulico para tener un comportamiento más real.

Variables y Datos Base

Para la utilización del software, se requiere contar con una base de datos iniciales, los cuales se deben ingresar en la modelación en la fase correspondiente:

Para la construcción topológica:

- Información de dibujos CAD, Archivos GIS o planos de obra
- Características de las tuberías a ser incluidas
- Identificar los nodos y conexiones

Información de la infraestructura:

- Longitudes
- Diámetros de tuberías y accesorios
- Coeficientes de rugosidades actuales
- Número de tuberías
- Número de nudos
- Material de redes principales y secundarias
- Material de relleno

Asignación de Elevaciones:

- Línea piezométrica
- Valores de elevación de tubería, suelo, tanques, bombas, válvulas, reservorios, hidrantes.

Estimación de la demanda:

- Balance hidráulico
- Estimación de uso de agua
- Corrección por agua no contabilizada
- Proyecciones espaciales y temporales de la población

Calibración

- Información de dispositivos de medición y/o estaciones de control automáticas.

4.2.2 Modelación Caso de Análisis

Para la modelación realizada en particular, se ha utilizado la misma red de distribución pero cambiando las propiedades del material de las tuberías empleadas.

Se planteó tres distintos escenarios donde se tomó en consideración las tuberías de material PVC-U, PE100 y PE100-RC

Características de las tuberías		
PVC-U	PN 10 (SDR 21) $\varnothing_e = 90 \text{ mm}$; $e = 4,3 \text{ mm}$; $\varnothing_{int} = 81,4 \text{ mm}$ $\varnothing_e = 110 \text{ mm}$; $e = 4,2 \text{ mm}$; $\varnothing_{int} = 101,6 \text{ mm}$ $\varnothing_e = 250 \text{ mm}$; $e = 9,6 \text{ mm}$; $\varnothing_{int} = 230,8 \text{ mm}$	
	Rugosidad	Coeficiente de Manning = 0,009 Hazen-Williams = 150 Rugosidad Absoluta = 0,0015 mm
PE100	PN 10 (SDR 17) $\varnothing_e = 90 \text{ mm}$; $e = 5,4 \text{ mm}$; $\varnothing_{int} = 79,2$ $\varnothing_e = 110 \text{ mm}$; $e = 6,6 \text{ mm}$; $\varnothing_{int} = 96,8 \text{ mm}$ $\varnothing_e = 250 \text{ mm}$; $e = 14,8 \text{ mm}$; $\varnothing_{int} = 220,4 \text{ mm}$	
	Rugosidad	Coeficiente de Manning = 0,008 Hazen-Williams = 150 Rugosidad Absoluta = 0,0015 mm
PE100-RC (Tipo2- Multicapa)	PN 10 (SDR 17) $\varnothing_e = 90 \text{ mm}$; $e = 5,4 \text{ mm}$; $\varnothing_{int} = 79,2$ $\varnothing_e = 110 \text{ mm}$; $e = 6,6 \text{ mm}$; $\varnothing_{int} = 96,8 \text{ mm}$ $\varnothing_e = 250 \text{ mm}$; $e = 14,8 \text{ mm}$; $\varnothing_{int} = 220,4 \text{ mm}$	
	Rugosidad	Coeficiente de Manning = 0,008 Hazen-Williams = 150 Rugosidad Absoluta = 0,003 mm (De acuerdo especificaciones técnicas de fabricante)

Tabla XXVI. Características de distintos materiales de tubería a considerar

Elaboración: Roberto X. Ramírez Aguilar, 2015

Se realizaron las modelaciones A, B y C con tuberías de PVC, PE100 Y PE 100-RC respectivamente con la finalidad de analizar el comportamiento hidráulico del sistema con cada alternativa.

Procedimiento para Modelación

Construcción.

Se configura sistema definiendo unidades de Sistema Internacional.

Se iniciando transferencia de datos a WaterGEMS, importando plano digital de formato DWG

Se procede con la creación de tuberías y nudos.

Se genera modelo en pantalla con ayuda de módulo Model Builder

Se guardan los archivos en formato WTG de WaterGEMS.

Depuración.

Con módulo QUERY NETWORK REVIEWS se verifican posibles problemas con nudos y tuberías (red aislada, nudos aislados, cruce de tuberías, nudos falsos).

Asignación de Cotas.

Se cargan curvas de nivel en formatos DFX o de otros modelos digitales. Con Módulo TREX se leen estos archivos y se carga de manera automática cotas a los nudos.

Asignación de caudal.

Mediante modulo LOAD BUILDER se calculan caudales de demanda en los nudos de la red.

Configuración final

Se asignan características físicas y geométricas de: Numero de Tuberías, Numero de Nudos, Longitud de tuberías, Diámetros, Material de redes de distribución, Coeficientes de Rugosidad, la Topología de la red, asignación de Cotas en los nudos; así como también características hidráulicas de Caudales de Demanda , calibración de presiones y caudales recalculando rugosidades y/o demandas.

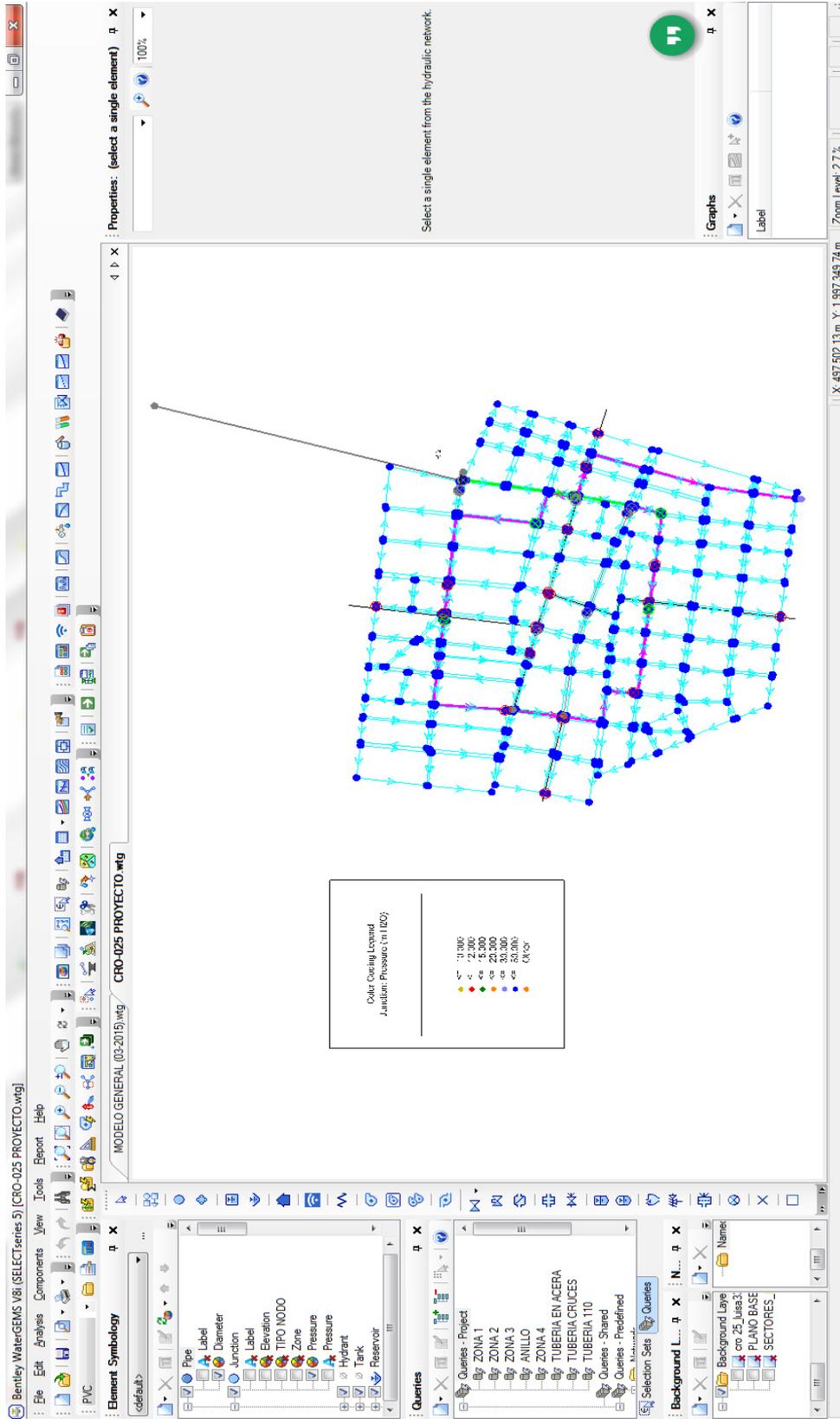


Figura 59. Transferencia de datos de red de distribución a WaterGEMS.

Fuente: Software WaterGems

FlexTable: Junction Table (Current Time: 0.000 hour) (CRO-025 PROYECTO.wtg)

Label	Emitter Coefficient (L/s/(m H ₂ O) ^{0.5})	Zone	DETALLE	Demand Collection	Pressure (Maximum) (m H ₂ O)	Pressure (Minimum) (m H ₂ O)	Elevation (m)
31: 3-4	0.000	<None>		<Collection: 0 Items>	31.916	17.295	3.56
33: 3-5	0.000	<None>		<Collection: 0 Items>	31.912	17.268	3.56
38: 3-7	0.000	<None>		<Collection: 0 Items>	31.906	17.235	3.56
48: 3-12	0.000	<None>		<Collection: 0 Items>	32.354	17.431	3.06
50: 3-13	0.000	<None>		<Collection: 0 Items>	31.976	17.056	3.44
52: 3-14	0.000	<None>		<Collection: 0 Items>	32.379	17.479	3.04
54: 3-15	0.000	<None>		<Collection: 0 Items>	32.093	17.412	3.37
56: 3-16	0.000	<None>		<Collection: 0 Items>	32.144	17.623	3.35
58: 3-17	0.000	<None>		<Collection: 0 Items>	32.354	18.038	3.18
73: 3-23	0.000	ZONA 2		<Collection: 1 Item>	31.777	15.355	3.34
74: 3-24	0.000	ZONA 2		<Collection: 1 Item>	31.715	15.280	3.40
76: 3-25	0.000	ZONA 2		<Collection: 1 Item>	31.869	15.457	3.25
78: 3-26	0.000	ZONA 2		<Collection: 1 Item>	31.722	15.373	3.41
81: 3-27	0.000	ZONA 2		<Collection: 1 Item>	31.699	15.234	3.41
82: 3-28	0.000	ZONA 2		<Collection: 1 Item>	31.776	15.349	3.34
84: 3-29	0.000	ZONA 2		<Collection: 1 Item>	31.715	15.278	3.40
86: 3-30	0.000	ZONA 2		<Collection: 1 Item>	32.019	15.557	3.09
89: 3-31	0.000	ZONA 3		<Collection: 1 Item>	32.087	16.329	3.16
90: 3-32	0.000	ZONA 3		<Collection: 1 Item>	32.377	16.620	2.87
92: 3-33	0.000	ZONA 3		<Collection: 1 Item>	32.496	16.739	2.75
94: 3-34	0.000	ZONA 3		<Collection: 1 Item>	32.057	16.298	3.19
97: 3-35	0.000	ZONA 3		<Collection: 1 Item>	32.377	16.622	2.87
98: 3-36	0.000	ZONA 3		<Collection: 1 Item>	32.497	16.742	2.75
100: 3-37	0.000	ZONA 3		<Collection: 1 Item>	32.319	16.579	2.93
102: 3-38	0.000	ZONA 3		<Collection: 1 Item>	32.319	16.580	2.93
105: 3-39	0.000	ZONA 3		<Collection: 1 Item>	32.320	16.583	2.93

448 of 463 elements displayed

Figura 60. Verificación de presiones máximas y mínimas en nudos.

Fuente: Software WaterGems

FlexTable: Pipe Table (Current Time: 0.000 hours) (CRO-025 PROYECTO.wtg)

Label	Diameter (mm)	Material	Darcy-Weisbach e (m)	Length (m)	Pressure Loss (m H2O)	Is Active?	Minor Loss Coefficient (Local)	Flow (Maximum) (L/s)	Flow (Minimum) (L/s)	Headloss (m)
34: P-2	400.0 HD		0.2500	11	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	26.883	10.843	0.0043
39: P-5	400.0 HD		0.2500	14	0.01	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	26.883	10.843	0.0054
51: P-11	230.8 PVC		0.0015	77	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	-1.450	-3.737	0.0008
59: P-15	230.8 PVC		0.0015	75	0.04	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	-11.121	-27.826	0.0402
64: P-18	400.0 HD		0.2500	111	0.04	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	26.883	10.843	0.0444
75: P-24	81.4 PVC		0.0015	88	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	0.370	0.168	0.0020
77: P-25	81.4 PVC		0.0015	66	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	-0.225	-0.588	0.0041
79: P-26	81.4 PVC		0.0015	89	0.01	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	-0.336	-0.847	0.0129
80: P-27	81.4 PVC		0.0015	66	0.01	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	1.070	0.426	0.0150
83: P-28	81.4 PVC		0.0015	72	0.01	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	-0.280	-0.732	0.0075
85: P-29	81.4 PVC		0.0015	89	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	0.314	0.144	0.0013
87: P-30	81.4 PVC		0.0015	66	0.01	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	0.624	0.247	0.0054
88: P-31	81.4 PVC		0.0015	96	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	0.197	0.086	0.0008
91: P-32	81.4 PVC		0.0015	77	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	-0.070	-0.180	0.0005
93: P-33	81.4 PVC		0.0015	150	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	0.697	0.024	0.0003
95: P-34	81.4 PVC		0.0015	78	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	0.156	0.057	0.0004
96: P-35	81.4 PVC		0.0015	151	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	-0.015	-0.043	0.0002
99: P-36	81.4 PVC		0.0015	141	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	-0.005	-0.042	0.0001
101: P-37	81.4 PVC		0.0015	55	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	-0.188	-0.488	0.0018
103: P-38	81.4 PVC		0.0015	143	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	-0.026	-0.068	0.0004
104: P-39	81.4 PVC		0.0015	56	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	0.566	0.199	0.0023
107: P-40	81.4 PVC		0.0015	42	0.01	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	-0.372	-0.969	0.0073
109: P-41	81.4 PVC		0.0015	143	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	0.230	0.120	0.0016
111: P-42	81.4 PVC		0.0015	42	0.01	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	0.875	0.337	0.0062
112: P-43	81.4 PVC		0.0015	143	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	-0.037	-0.123	0.0005
117: P-45	81.4 PVC		0.0015	79	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	0.695	0.039	0.0003
120: P-47	81.4 PVC		0.0015	70	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	-0.164	-0.377	0.0014
122: P-48	81.4 PVC		0.0015	70	0.01	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	-0.244	-0.597	0.0055
124: P-49	81.4 PVC		0.0015	82	0.01	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	-0.295	-0.734	0.0093
125: P-50	81.4 PVC		0.0015	69	0.02	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	1.094	0.436	0.0163
129: P-52	81.4 PVC		0.0015	66	0.02	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	-0.438	-1.085	0.0158
135: P-55	81.4 PVC		0.0015	105	0.01	<input checked="" type="checkbox"/>	0.000	0.586	0.233	0.0072

795 of 795 elements displayed

Figura 61. Verificación de caudales máximos, mínimos y pérdidas en distintos tramos de red (tubería PVC).

Fuente: Software WaterGems

Resultados de Modelación²⁵

Perdidas de carga de la red

Material	Øint. (mm)	Ks	Longitud red (m)	Hf (m)
PVC	81,4	0,0015	33.642,0	3,91
PE100	79,2	0,0015	33.642,0	4,54
PE100RC	79,2	0,003	33.642,0	5,7

Tabla XXVII. Perdidas de carga por fricción de la red

Elaboración: Roberto X. Ramírez Aguilar, 2015

Presiones en redes para máxima demanda horaria

Material	Presión promedio (mH20)
PVC	16,44
PE100	16,15
PE100RC	15,67

Tabla XXVIII . Presión promedio para maxima demanda horaria

Elaboración: Roberto X. Ramírez Aguilar, 2015

²⁵ Ver en Anexo 7. Tabla de resultados de Modelación

4.3. Comportamiento mecánico (Deflexión Transversal)

Las tuberías flexibles enterradas presentan deflexiones transversales debido a la acción de cargas externas. Un porcentaje elevado de deflexión puede afectar la capacidad de conducción (ver tabla VI de capítulo 2), así como también sobreesfuerzos pueden provocar el fallo o afectar al tiempo de vida útil de la tubería.

A continuación con la ayuda del programa *External Load For Uni-Bell Flexible Conduits* se estimará las deflexiones transversales que se producirían en las tuberías de PE100-RC, PE100 y PVC para diferentes profundidades de instalación y distintas condiciones de suelo, con el fin de verificar la profundidad de instalación óptima para cada tipo de tubería, de acuerdo a su comportamiento mecánico.

Entiéndase por profundidad óptima, la profundidad de instalación mínima de la tubería sin que se vea afectada la conducción del fluido (reducción de caudal), ni la capacidad de resistencia de la tubería, durante su tiempo de vida útil.

Se tomará en cuenta los casos en que la tubería soporte la carga del terreno, así como también la carga del terreno combinada con cargas móviles para diferentes tipos de suelo.

Programa *External Load For Uni-Bell Flexible Conduits*

El programa *External Load For Uni-Bell Flexible Conduits*, ha sido desarrollado para calcular las deflexiones a largo plazo de conducciones de saneamiento de PVC, sin embargo se puede utilizar para el cálculo a largo plazo de deflexiones de cualquier material de tubería flexible, tomando las consideraciones debidas.



Figura 62. Pantalla inicial de programa *External Load Design for Unibell Flexible Conduits*

Fuente: Programa *External Load Design for Unibell Flexible Conduits*

El programa usa la Fórmula de Iowa Modificada en el cálculo de las deflexiones, para lo cual se debe definir distintos parámetros:

- Factor de deflexión (DFL). Condición de carga prismática para tuberías flexibles o condición de carga de zanja para tuberías rígidas. Para condición de carga de zanja se puede utilizar un valor conservativo de 1,5. Cuando se considera tuberías flexibles con condición de carga de prisma el valor del DLF puede ser igual a 1,0.

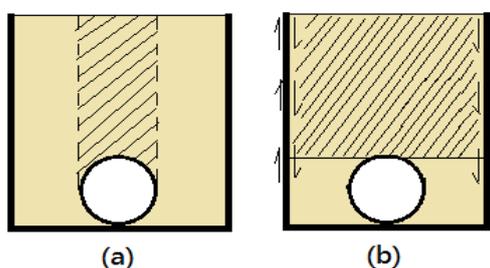


Figura 63. Condición de carga externa. (a) Condición Carga de prisma, (b) Condición carga de zanja

Elaborado: Roberto X. Ramírez Aguilar

- Constante de encamado (K). Factor que acomoda la reacción del tubo a la fuerza opuesta ejercida por la cama de soporte.
- Rigidez del tubo (PS). Valor específico para tubos flexibles que indica la carga unitaria requerida para producir una determinada deflexión (usualmente 5%) en paralelo sobre una placa de carga
- Módulo de reacción del suelo (E'). Puede ser definido como la capacidad de resistencia del suelo a la deflexión. Para su estimación se puede hacer uso de la tabla de deflexiones de suelos propuesta por Amster K. Howard la cual contiene valores promedio de diferentes tipos y densidades de suelo (ver tabla VII).

- Deflexión máxima permisible. Deflexión necesaria para transmitir sobrecargas sin que se afecte su rendimiento a largo plazo.

Parameter Number	Parameter Name	Value
1	Deflection Lag Factor (DLF)	1.00
2	Bedding Constant (K)	0.100
3	Pipe Stiffness (PS)	46 psi
4	Soil Modulus (E')	1000 psi
5	Show External Load Values	YES
6	Maximum Allowable Deflection	7.5 %
7	External Load Parameters	
C	Execute Modified Iowa Formula with Entered External Loads	

Figura 64. Parámetros de Formula de Iowa

Fuente: Programa External Load Design for Unibell Flexible Conduits

Así mismo se debe definir Parámetros de Cargas Externas, (carga muerta y carga viva). Además se especifica la profundidad de enterrado de la tubería a considerar pudiendo seleccionar incrementos constantes de la misma hasta un valor límite, para su análisis.

- Condición de carga Externa. Se determina la condición de carga para la consideración de la carga muerta, por zanja o prisma.
- Peso específico de material de Relleno. Peso específico típico tomado en consideración 1800 kg/m³. Factor $k \mu'$ definido a partir del tipo de suelo.

- Carga móvil. Consideración de cargas móvil vehicular. En el Programa se puede ingresar el valor de la carga móvil de acuerdo a lo establecido en la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) o directamente ingresada de acuerdo a consideración del diseñador.
- Profundidad de instalación
- Diámetro exterior

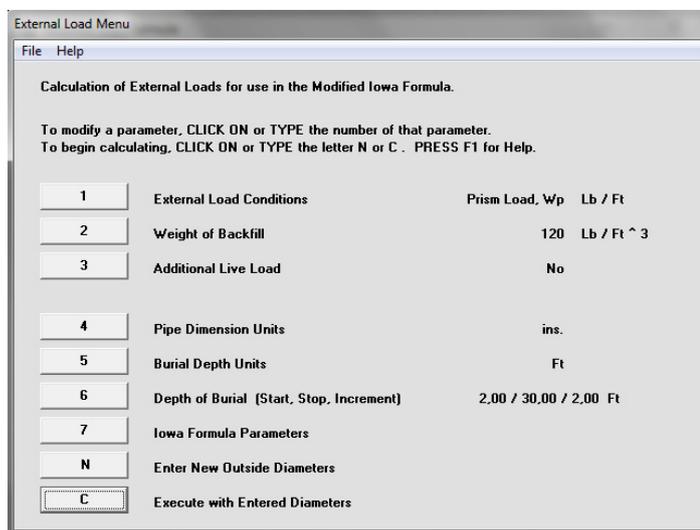


Figura 65. Parámetros de ingreso de cargas externas y profundidad de tubería

Fuente: Programa External Load Design for Unibell Flexible Conduits

De acuerdo a lo solicitado por el programa, se ingresarán los distintos parámetros de análisis correspondientes a cada tipo de tubería (PE100RC, PE100 y PVC).

Ingreso de datos para análisis de deflexiones en el programa, considerando relleno de grava y arena (sin finos) GW, GP, SW, SP.

$E' = 6895$ Kpa

Parámetros para Formula de Iowa Modificada:					
#	Parámetro	PE100RC	PE100	PVC	Observación
1	DFL	1.0	1.0	1.0	Para tuberías flexibles con proyección de carga proyectada por un prisma
2	K	0,11 0,083			$\alpha = 0^\circ$, sin cama de arena $\alpha = 180^\circ$, hasta lomo del tubo
3	PS	25,72	22,79	17,52	De acuerdo a ensayo de aplastamiento. Unidad [KPa]
4	E'	6895			Densidad relativa para arena y grava (no finos). Unidad [KPa] Grado de compactación: Leve, <85% y proctor <40%
5	Unidades de cargas externas	Si			Diámetro [mm]; profundidad [m]
6	Máxima deflexión permisible	5%			deflexión permisible considerada
Parámetros de cargas externas en Formula de Iowa Modificada					
7	Condición de carga externa (1)	Carga Prisma			Mostrar en [Kg/m]
	Peso específico de relleno (2)	1800			Peso específico [kg/m ³]. Arena con humedad (Ordinario) $k_\mu = 0,165$
	Carga Viva (3)	0,0 7257			Carga muerta (En acera) Carga Viva (En calle) [kg] Longitud efectiva = 1,00m

	Unidades. Dimensiones de tubería (4)	Si	Diámetro [mm], profundidad [m]
	Unidades. Profundidad de enterrado (5)	Si	profundidad [m]
	Profundidad de instalación (6)	A= 0,40 B= 1,20 C=0,10	A=inicial [m] B=final [m] C=incremento [m]
N	Ejecutar programa de calculo	90 mm	Selección de diámetros de tubería

Tabla XXIX. Datos para análisis de deflexiones considerando E'= 6895 Kpa

Elaboración: Roberto X. Ramírez Aguilar, 2015

Calculated Deflections			
PIPE DEFLECTION, % (Single Wheel Live Load)		Including a 7257 kg MOVING Wheel Load Effective Length of Wheel Load: 1,00 m	
DLF = 1,00	K = 0,110	PS = 26 kPa	E' = 6895 kPa
Prism Load, Wp, Condition		Backfill Weight = 1800 kg / m ^ 3	
	Outside Diameter, mm		
Depth, m	90,00		
0,40	3,85 %		
0,50	3,01 %		
0,60	2,46 %		
0,70	1,81 %		
0,80	1,58 %		
0,90	1,42 %		
1,00	1,19 %		
1,10	1,13 %		
1,20	1,08 %		

Figura 66. Presentación de cálculo de deflexiones en el programa

Fuente: Programa External Load Design for Unibell Flexible Conduits

Resultados:

$\alpha=0$		PE100RC	PE100	PVC		PE100RC	PE100	PVC
H	Carga Muerta kg/m	ΔY	ΔY	ΔY	Carga Muerta + Móvil kg/m	ΔY	ΔY	ΔY
0,40	64,80	0,18	0,18	0,18	1363,00	3,85	3,85	3,86
0,50	81,00	0,23	0,23	0,23	1067,60	3,01	3,02	3,02
0,60	97,20	0,27	0,27	0,28	869,70	2,46	2,46	2,46
0,70	113,40	0,32	0,32	0,32	640,30	1,81	1,81	1,81
0,80	129,60	0,37	0,37	0,37	559,20	1,58	1,58	1,58
0,90	145,80	0,41	0,41	0,41	501,70	1,42	1,42	1,42
1,00	162,00	0,46	0,46	0,46	421,90	1,19	1,19	1,19
1,10	178,20	0,50	0,50	0,50	399,10	1,13	1,13	1,13
1,20	194,40	0,55	0,55	0,55	384,20	1,08	1,09	1,09
$\alpha=180$		PE100RC	PE100	PVC		PE100RC	PE100	PVC
H	Carga muerta kg/m	ΔY	ΔY	ΔY	Carga Muerta + Móvil kg/m	ΔY	ΔY	ΔY
0,40	64,80	0,14	0,14	0,14	1363,00	2,90	2,91	2,91
0,50	81,00	0,17	0,17	0,17	1067,60	2,27	2,28	2,28
0,60	97,20	0,21	0,21	0,21	869,70	1,85	1,85	1,86
0,70	113,40	0,24	0,24	0,24	640,30	1,36	1,37	1,37
0,80	129,60	0,28	0,28	0,28	559,20	1,19	1,19	1,19
0,90	145,80	0,31	0,31	0,31	501,70	1,07	1,07	1,07
1,00	162,00	0,35	0,35	0,35	421,90	0,90	0,90	0,90
1,10	178,20	0,38	0,38	0,38	399,10	0,85	0,85	0,85
1,20	194,40	0,41	0,41	0,42	384,20	0,82	0,82	0,82

Tabla XXX. Resumen de cargas aplicadas y deflexiones obtenidas del programa (E'=6895 Kpa)

Elaboración: Roberto X. Ramírez Aguilar, 2015

Ingreso de datos para análisis de deflexiones en el programa, considerando relleno de arena y grava con finos CL, ML, ML-CL.

$E'=2758$ Kpa

Parámetros para Formula de Iowa Modificada:					
#	Parámetro	PE100RC	PE100	PVC	Observación
1	DFL	1.0	1.0	1.0	Para tuberías flexibles con proyección de carga proyectada por un prisma
2	K	0,11 0,083			$\alpha=0^\circ$, sin cama de arena $\alpha=180^\circ$, cubierto de arena
3	PS	25,72	22,79	17,52	De acuerdo a ensayo de aplastamiento. Unidad [KPa]
4	E'	2758			Densidad relativa para Suelos de grano fino. Unidad [KPa] Grado de compactación: Leve, <85% y proctor <40%
5	Unidades de cargas externas	Si			Diámetro [mm]; profundidad [m]
6	Máxima deflexión permisible	5%			deflexión permisible considerada
Parámetros de cargas externas en Formula de Iowa Modificada					
7	Condición de carga externa (1)	Carga Prisma			Mostrar en [Kg/m]
	Peso específico de relleno (2)	1800			Peso específico [kg/m ³]. Capa superior de suelo saturada $k_\mu= 0,15$
	Carga Viva (3)	0,0 7257			Carga muerta (En acera) Carga Viva (En calle) [kg]
	Unidades. Dimensiones de	Si			Diámetro [mm], profundidad [m]

	tubería (4)		
	Unidades. Profundidad de enterrado (5)	Si	profundidad [m]
	Profundidad de instalación (6)	A= 0,40 B= 1,20 C=0,10	A=inicial [m] B=final [m] C=incremento [m]
N	Ejecutar programa de calculo	90 mm	Selección de diámetros de tubería

Tabla XXXI. Datos para análisis de deflexiones considerando E'= 2758 Kpa

Elaboración: Roberto X. Ramírez Aguilar, 2015

Resultados:

$\alpha=0$		PE100RC	PE100	PVC		PE100RC	PE100	PVC
H	Carga muerta kg/m	ΔY	ΔY	ΔY	Carga muerta + móvil kg/m	ΔY	ΔY	ΔY
0,40	64,80	0,45	0,45	0,45	1363,00	9,49	9,52	9,56
0,50	81,00	0,56	0,57	0,57	1067,60	7,43	7,45	7,49
0,60	97,20	0,68	0,68	0,68	869,70	6,06	6,07	6,10
0,70	113,40	0,79	0,79	0,80	640,30	4,46	4,47	4,49
0,80	129,60	0,90	0,90	0,91	559,20	3,89	3,90	3,92
0,90	145,80	1,02	1,02	1,02	501,70	3,49	3,50	3,52
1,00	162,00	1,13	1,13	1,14	421,90	2,94	2,95	2,96
1,10	178,20	1,24	1,24	1,25	399,10	2,78	2,79	2,80
1,20	194,40	1,35	1,36	1,36	384,20	2,68	2,68	2,69
$\alpha=180$		PE100RC	PE100	PVC		PE100RC	PE100	PVC
H	Carga muerta kg/m	ΔY	ΔY	ΔY	Carga muerta + móvil kg/m	ΔY	ΔY	ΔY
0,40	64,80	0,34	0,34	0,34	1363,00	7,16	7,18	7,21
0,50	81,00	0,43	0,43	0,43	1067,60	5,61	5,62	5,65
0,60	97,20	0,51	0,51	0,51	869,70	4,57	4,58	4,60

0,70	113,40	0,60	0,60	0,60	640,30	3,36	3,37	3,39
0,80	129,60	0,68	0,68	0,69	559,20	2,94	2,95	2,96
0,90	145,80	0,77	0,77	0,77	501,70	2,64	2,64	2,65
1,00	162,00	0,85	0,85	0,86	421,90	2,22	2,22	2,23
1,10	178,20	0,94	0,94	0,94	399,10	2,10	2,10	2,11
1,20	194,40	1,02	1,02	1,03	384,20	2,02	2,02	2,03

**Tabla XXXII. Resumen de cargas aplicadas y deflexiones obtenidas del programa
(E'=2758 Kpa)**

Elaboración: Roberto X. Ramírez Aguilar, 2015

**Ingreso de datos para análisis de deflexiones en el programa,
considerando relleno de suelo de grano fino CL, ML, ML-CL.**

E'=1379Kpa

Parámetros para Formula de Iowa Modificada:					
#	Parámetro	PE100RC	PE100	PVC	Observación
1	DFL	1.0	1.0	1.0	Para tuberías flexibles con proyección de carga proyectada por un prisma
2	K	0,11 0,083			$\alpha=0^\circ$, sin cama de arena $\alpha=180^\circ$, cubierto de arena
3	PS	25,72	22,79	17,52	De acuerdo a ensayo de aplastamiento. Unidad [KPa]
4	E'	1379			Densidad relativa para Suelos de grano fino. Unidad [KPa] Grado de compactación: Leve, <85% y proctor <40%
5	Unidades de cargas externas	Si			Diámetro [mm]; profundidad [m]
6	Máxima deflexión permisible	5%			deflexión permisible considerada

Parámetros de cargas externas en Formula de Iowa Modificada			
7	Condición de carga externa (1)	Carga Prisma	Mostrar en [Kg/m]
	Peso específico de relleno (2)	1800	Peso específico [kg/m ³]. Capa superior de suelo saturada $k_{\mu}= 0,15$
	Carga Viva (3)	0,0 7257	Carga muerta (En acera) Carga Viva (En calle) [kg] Longitud efectiva 1m
	Unidades. Dimensiones de tubería (4)	Si	Diámetro [mm], profundidad [m]
	Unidades. Profundidad de enterrado (5)	Si	profundidad [m]
	Profundidad de instalación (6)	A= 0,40 B= 1,20 C=0,10	A=inicial [m] B=final [m] C=incremento [m]
N	Ejecutar programa de calculo	90 mm	Selección de diámetros de tubería

Tabla XXXIII. Datos para análisis de deflexiones considerando $E'= 1379$ Kpa

Elaboración: Roberto X. Ramírez Aguilar, 2015

Resultados:

$\alpha=0$		PE100RC	PE100	PVC		PE100RC	PE100	PVC
H	Carga Muerta kg/m	ΔY	ΔY	ΔY	Carga Muerta + Móvil kg/m	ΔY	ΔY	ΔY
0,40	64,80	0,88	0,89	0,89	1363,00	18,57	18,66	18,8
0,50	81,00	1,10	1,11	1,12	1067,60	14,54	14,62	14,7
0,60	97,20	1,32	1,33	1,34	869,70	11,85	11,91	12,0
0,70	113,40	1,54	1,55	1,57	640,30	8,72	8,77	8,84
0,80	129,60	1,77	1,77	1,79	559,20	7,62	7,66	7,72
0,90	145,80	1,99	2,00	2,01	501,70	6,83	6,87	6,93

1,00	162,00	2,21	2,22	2,24	421,90	5,75	5,78	5,83
1,10	178,20	2,43	2,44	2,46	399,10	5,44	5,46	5,51
1,20	194,40	2,65	2,66	2,68	384,20	5,23	5,26	5,31
$\alpha=180$		PE100RC	PE100	PVC		PE100RC	PE100	PVC
H	Carga Muerta kg/m	ΔY	ΔY	ΔY	Carga Muerta + Móvil kg/m	ΔY	ΔY	ΔY
0,40	64,80	0,67	0,67	0,68	1363,00	14,01	14,08	14,2
0,50	81,00	0,83	0,84	0,84	1067,60	10,97	11,03	11,1
0,60	97,20	1,00	1,00	1,01	869,70	8,94	8,98	9,06
0,70	113,40	1,17	1,17	1,18	640,30	6,58	6,61	6,67
0,80	129,60	1,33	1,34	1,35	559,20	5,75	5,78	5,83
0,90	145,80	1,50	1,51	1,52	501,70	5,16	5,18	5,23
1,00	162,00	1,67	1,67	1,69	421,90	4,34	4,36	4,40
1,10	178,20	1,83	1,84	1,86	399,10	4,10	4,12	4,16
1,20	194,40	2,00	2,01	2,03	384,20	3,95	3,97	4,00

Tabla XXXIV. Resumen de cargas aplicadas y deflexiones obtenidas del programa ($E'=1379$ Kpa)

Elaboración: Roberto X. Ramírez Aguilar, 2015

4.4. Comparación de costos

A partir de un proyecto de referencia se considerará la instalación de la tubería de PE100-RC para verificar sus costos de instalación y realizar una comparación frente al uso de otros materiales como PE100 y PVC. Como método de instalación se tomará en cuenta la apertura de zanja para los tres tipos de tuberías. En el caso particular del material PE100-RC se plantea realizar presupuesto sin tomar en cuenta el recubrimiento o protección de cama de arena y utilizar el mismo material excavado como relleno.

Para la tubería PE100-RC, de acuerdo al tipo de instalación se selecciona la Tubería Tipo 2 multicapa la cual se adapta al método la instalación sin cama de arena, arado o perforación horizontal.

Proyecto de Referencia

Proyecto de rehabilitación de redes de AA.PP. del sector del “Cristo de Consuelo” (Sector Hidráulico: CRO-025), se verificará los costos de instalación referentes al circuito 1 del proyecto.

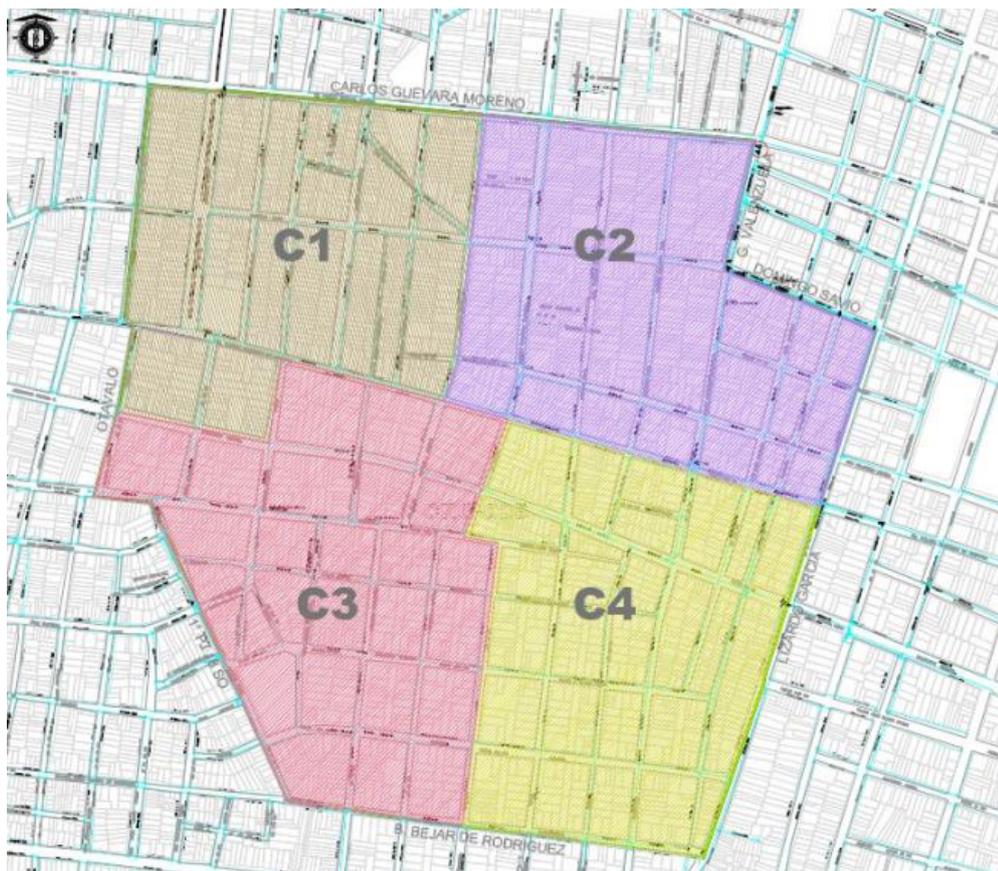


Figura 67. Implantación General Proyecto de Referencia

Fuente: Proyecto de Rehabilitación de redes de Agua Potable CRO-025 Cristo del Consuelo. Plano N° AP-3692 1/10 Interagua C. Ltda.

El circuito 1 se encuentra localizado entre las calles Dr. Carlos Guevara Moreno al norte, calle Francisco Segura al sur, calle Nicolás Segovia al este y Callejón Federico Godin al oeste.

Datos como datos del Circuito 1 en consideración, se tiene: servicio a 800 Usuarios; 6811 m. de longitud de red de distribución; 2 Conexiones a tubería de 250mm, 3 hidrantes, 2 válvulas de aire y un desagüe

Para la elaboración del presupuesto se tomará en cuenta rubros concernientes a materiales, obra civil y costos por disposición final de materiales desalojado. Materiales comprende suministros de tubería, accesorios, guías domiciliarias, hidrantes, válvulas de aire y desagües. La obra civil comprende actividades adicionales de contratista (elaboración de planos, preparación del sitio), instalación de redes instalación de guías domiciliarias, instalación de hidrantes, instalación de válvulas de aire, instalación de desagües, medidas de seguridad industrial y rubros ambientales. Por último se toma en cuenta los costos de material de desalojo a botadero de Las Iguanas.

La instalación de la tubería se realizará en acera considerando cruces de calle de pavimento rígido y flexible. La geometría de las zanjas²⁶ será la siguiente de acuerdo al tipo de tubería para los diámetros de 90 y 110 mm:

Tipo de Tubería	Ancho mínimo (mm)	Profundidad mínima sobre clave del tubo (m)
Instalación en Pavimento Rígido y Flexible		
PVC-U	400	1.00
PE100	400	0,80
PE100-RC	300	0,80
Instalación en Acera		
PVC-U	400	0,80
PE100	400	0,60
PE100-RC	300	0,60

Tabla XXXV. Zanjas para tuberías de AAPP a considerar

Fuente: Referencia NTS-IA-003 Norma Técnica de Servicio - Excavaciones

²⁶ Ver en Anexo8 esquema de zanja para la instalación de la red de distribución considerado para cada tipo de tubería

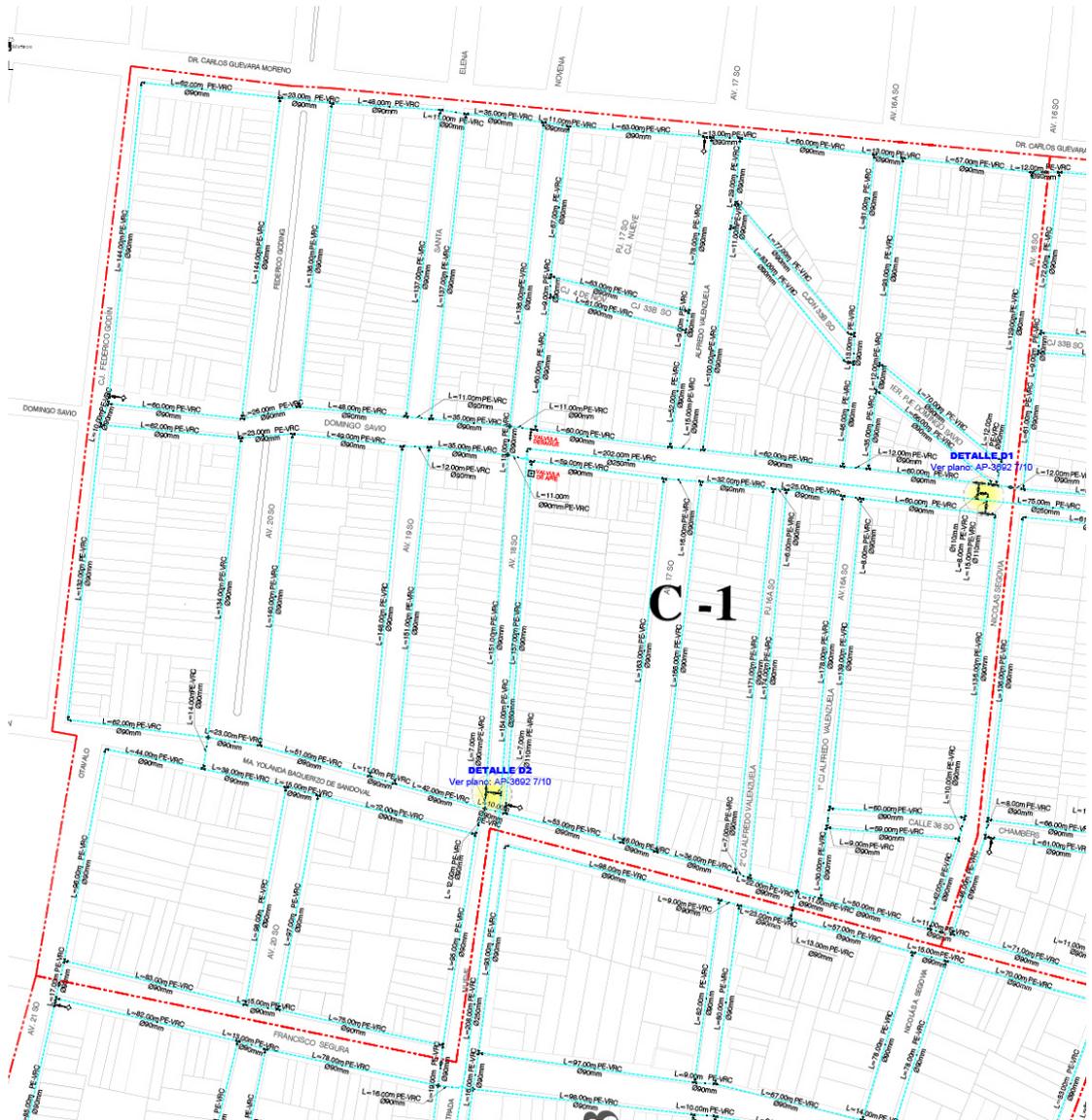


Figura 68. Red de distribución del Circuito 1 proyectada

Fuente: Rehabilitación de redes CRO-025 Circuito 1, Cristo del Consuelo. Plano N° 3692 3/10. Interagua C. Ltda.



Figura 69. Descripción de calle Sector Cristo del Consuelo CRO-025

Fuente: Rehabilitación de redes CRO-025 Circuito 1, Cristo del Consuelo. Interagua Plano N° 3692 2 /10. Interagua C. Ltda.

RESUMEN DE PRESUPUESTOS (Ver En Anexo 8 detalle de presupuestos)

PRESUPUESTO UTILIZANDO TUBERÍA PE100-RC (TIPO 2)						
CLAVE		DESCRIPCIÓN	UNID.	CANT.	P. U.	TOTAL
	1	MATERIALES				\$ 102.313,85
	1.1	SUMINISTRO				\$ 102.313,85
	1.1.1	SUMINISTRO DE TUBERÍA PE-100RC Y ACCESORIOS DE AAPP.				\$ 83.144,77
	1.1.2	SUMINISTRO DE TUBERIA DE PEAD Y ACCESORIOS DE AAPP. PARA GUÍAS DOMICILIARIAS				\$ 10.848,00
	1.1.3	SUMINISTRO PARA HIDRANTE CON EXTREMO BRIDADO Y MEDIDOR CON ADAPTADOR DE BRIDA				\$ 6.926,07
	1.1.4	SUMINISTRO PARA VÁLVULA DE AIRE DE 20MM				\$ 827,22
	1.1.5	SUMINISTRO PARA VÁLVULA DE DESAGÜE DE 90MM				\$ 567,79
	2	OBRA CIVIL				\$ 140.146,79
	2.1	INSTALACIÓN				\$ 129.347,73
	2.1.1	ACTIVIDADES ADICIONALES DEL CONTRATISTA				\$ 236,83
	2.1.2	PREPARACIÓN DEL SITIO Y REPLANTEO DE LAS OBRAS. SONDEO				\$ 1.979,25
	2.1.3	INSTALACIÓN DE RED CON TUBERÍA PE-100 RC MULTILAYER PN 10 Ø 90 Y 110MM				\$ 110.791,59
	2.1.4	INSTALACIÓN DE GUÍAS DOMICILIARIAS				\$ 8.104,00
	2.1.5	INSTALACIÓN DE HIDRANTES				\$ 7.208,79

	2.1.6	INSTALACIÓN DE VÁLVULA DE AIRE EN ACERA				\$	906,74
	2.1.7	INSTALACIÓN DE VÁLVULA DE DESAGÜE				\$	120,53
	2.2	MEDIDAS DE SEGURIDAD INDUSTRIAL Y FACTORES AMBIENTALES				\$	10.799,06
	2.2.1	SEGURIDAD INDUSTRIAL Y SEÑALIZACIÓN				\$	4.388,00
	2.2.2	RUBROS AMBIENTALES				\$	6.411,06
	3	COSTOS DISPOSICIÓN FINAL DE MATERIAL DESALOJADO				\$	2.897,49
							SUBTOTAL \$ 245.358,12
							19% INDIRECTOS \$ 46.618,04
							SUBTOTAL SIN IVA \$ 291.976,17
							12% IVA (SIN 19% DE INDIRECTOS DE COSTOS DISPOSICIÓN FINAL DE MATERIAL DESALOJADO) \$ 34.623,38
							SUBTOTAL CON IVA \$ 326.599,55
							TOTAL \$ 326.599,55

NOTA: Costo de precios unitarios (2015) obtenidos del Departamento de Presupuesto de Proyectos – INTERAGUA C. LTDA.

Tabla XXXVI. Resumen de Presupuesto de proyecto de referencia (CRO-025 Circuito 1) considerando instalación de tubería PE100-RC

Elaboración: Roberto X. Ramírez Aguilar, 2015

RESUMEN DE PRESUPUESTOS (Ver En Anexo 12 detalle de presupuestos)

PRESUPUESTO UTILIZANDO TUBERÍA PE100						
CLAVE		DESCRIPCIÓN	UNID.	CANT.	P. U.	TOTAL
	1	MATERIALES				\$ 62.214,93
	1.1	SUMINISTRO				\$ 62.214,93
	1.1.1	SUMINISTRO DE TUBERIA DE PEAD Y ACCESORIOS DE AAPP.				\$ 45.365,75
	1.1.2	SUMINISTRO DE TUBERÍA DE PEAD Y ACCESORIOS DE AAPP. PARA GUÍAS DOMICILIARIAS				\$ 8.544,00
	1.1.3	SUMINISTRO PARA HIDRANTE CON EXTREMO BRIDADO Y MEDIDOR CON ADAPTADOR DE BRIDA				\$ 6.875,13
	1.1.4	SUMINISTRO PARA VÁLVULA DE AIRE DE 20MM				\$ 815,70
	1.1.5	SUMINISTRO PARA VÁLVULA DE DESAGÜE DE 90MM				\$ 614,35
	2	OBRA CIVIL				\$ 178.867,36
	2.1	INSTALACIÓN				\$ 168.068,30
	2.1.1	ACTIVIDADES ADICIONALES DEL CONTRATISTA				\$ 236,83
	2.1.2	PREPARACIÓN DEL SITIO Y REPLANTEO DE LAS OBRAS. SONDEO.				\$ 1.979,25
	2.1.3	INSTALACIÓN DE TUBERÍA DE PEAD				\$ 149.512,16
	2.1.4	INSTALACIÓN DE GUÍAS DOMICILIARIAS				\$ 8.104,00
	2.1.5	INSTALACIÓN DE HIDRANTES				\$ 7.208,79
	2.1.6	INSTALACIÓN DE VÁLVULA DE AIRE EN ACERA				\$ 906,74
	2.1.7	INSTALACIÓN DE DESAGÜE				\$ 120,53

	2.2	MEDIDAS DE SEGURIDAD INDUSTRIAL Y FACTORES AMBIENTALES				\$ 10.799,06
	2.2.1	SEGURIDAD INDUSTRIAL Y SEÑALIZACIÓN				\$ 4.388,00
	2.2.2	RUBROS AMBIENTALES				\$ 6.411,06
	3	COSTOS DISPOSICIÓN FINAL DE MATERIAL DESALOJADO				\$ 22.216,42
					SUBTOTAL	\$ 263.298,71
					19% INDIRECTOS	\$ 50.026,76
					SUBTOTAL SIN IVA	\$ 313.325,47
					12% IVA (SIN 19% DE INDIRECTOS DE COSTOS DISPOSICIÓN FINAL DE MATERIAL DESALOJADO)	\$ 30.478,38
					SUBTOTAL CON IVA	\$ 343.803,85
					TOTAL	\$ 343.803,85

NOTA: Costo de precios unitarios (2015) obtenidos del Departamento de Presupuesto de Proyectos – INTERAGUA C. LTDA.

Tabla XXXVII. Presupuesto de proyecto de referencia (CRO-025 Circuito 1) considerando instalación de tubería PE100

Elaboración: Roberto X. Ramírez Aguilar, 2015

RESUMEN DE PRESUPUESTOS (Ver En Anexo 12 detalle de presupuestos)

PRESUPUESTO UTILIZANDO TUBERÍA PVC-U						
CLAVE		DESCRIPCIÓN	UNID.	CANT.	P. U.	TOTAL
	1	MATERIALES				\$ 42.318,38
	1.1	SUMINISTRO				\$ 42.318,38
	1.1.1	SUMINISTRO DE TUBERÍA DE PVC Y ACCESORIOS DE AAPP.				\$ 24.655,29
	1.1.2	SUMINISTRO DE TUBERÍA DE PVC Y ACCESORIOS DE AAPP. PARA GUÍAS DOMICILIARIAS				\$ 9.728,00
	1.1.3	SUMINISTRO PARA HIDRANTE CON EXTREMO BRIDADO Y MEDIDOR CON ADAPTADOR DE BRIDA				\$ 6.864,66
	1.1.4	SUMINISTRO PARA VÁLVULA DE AIRE DE 20MM				\$ 815,14
	1.1.5	SUMINISTRO PARA VÁLVULA DE DESAGÜE DE 90MM				\$ 255,29
	2	OBRA CIVIL				\$ 182.974,28
	2.1	INSTALACIÓN				\$ 172.175,22
	2.1.1	ACTIVIDADES ADICIONALES DEL CONTRATISTA				\$ 236,83
	2.1.2	PREPARACIÓN DEL SITIO Y REPLANTEO DE LAS OBRAS. SONDEO.				\$ 1.979,25
	2.13	INSTALACION DE TUBERÍA DE PVC				\$ 153.619,08
	2.1.4	INSTALACIÓN DE GUÍAS DOMICILIARIAS				\$ 8.104,00
	2.1.5	INSTALACIÓN DE HIDRANTES				\$ 7.208,79

	2.1.6	INSTALACIÓN DE VÁLVULA DE AIRE EN ACERA				\$	906,74		
	2.1.7	INSTALACIÓN DE DESAGÜE				\$	120,53		
	2.2	MEDIDAS DE SEGURIDAD INDUSTRIAL Y FACTORES AMBIENTALES				\$	10.799,06		
	2.2.1	SEGURIDAD INDUSTRIAL Y SEÑALIZACIÓN				\$	4.388,00		
	2.2.2	RUBROS AMBIENTALES				\$	6.411,06		
	3	COSTOS DISPOSICIÓN FINAL DE MATERIAL DESALOJADO				\$	26.308,49		
							SUBTOTAL	\$	251.601,15
							19% INDIRECTOS	\$	47.804,22
							SUBTOTAL SIN IVA	\$	299.405,36
							12% IVA (SIN 19% DE INDIRECTOS DE COSTOS DISPOSICIÓN FINAL DE MATERIAL DESALOJADO)	\$	28.107,40
							SUBTOTAL CON IVA	\$	327.512,76
							TOTAL	\$	327.512,76

NOTA: Costo de precios unitarios (2015) obtenidos del Departamento de Presupuesto de Proyectos – INTERAGUA C. LTDA.

Tabla XXXVIII. Resumen de Presupuesto de proyecto de referencia (CRO-025 Circuito 1) considerando instalación de tubería PVC

Elaboración: Roberto X. Ramírez Aguilar, 2015

Resumen de costos.

En las siguientes tablas se presentara un comparativo entre los costos de tuberías y costo total de presupuesto referencial para cada tipo de material.

	Suministro	U	P.Unit.
PE100-RC	TUBO PE-VRC RENOVATION MULTILAYER PN10 SDR 17 90mm X 5.4mm	M	10,81
	TUBO PE-VRC RENOVATION MULTILAYER PN10 SDR 17 110mm X 5.4mm	M	16,03
	TUBO RENOVATION VRC MULTI DM 20 PN16	M	2,09
PE100	TUBO PEAD PE 100 PN 10 BARS SDR 17 DIAM 90 MM	M	5,15
	TUBO PEAD PE 100 PN 10 BARS SDR 17 DIAM 110 MM	M	8,34
	TUBO PEAD PE 100 PN 10 BARS SDR 9 DIAM 20 MM ROLLO X 100 MT	M	0,65
PVC	TUBO PVC UNIÓN ELASTOMERICA PRESIÓN 1,00 MPA D=90MM (6MTS)	M	2,90
	TUBO PVC UNIÓN ELASTOMERICA PRESIÓN 1,00 MPA D=110MM (6MTS)	M	4,25
	TUBO PVC ROSCABLE 1/2" L=6MTS (AAPP)	M	1.08

Tabla XXXIX. Comparación costos de tuberías PE100-RC, PE100, PVC

Elaboración: Roberto X. Ramírez Aguilar, 2015

Rehabilitación de redes de AAPP. Presupuesto de referencia CRO-025 Circuito 1	Costo Total
Tubería PE100-RC	\$ 326.599,55
Tubería PE 100	\$ 343.803,85
Tubería PVC	\$ 327.512,76

Tabla XL. Comparativo costos totales considerando tubería PE100-RC, PE100 y PVC

Elaboración: Roberto X. Ramírez Aguilar, 2015

CAPITULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Análisis de resultados de pruebas y ensayos

1. Ensayo de Resistencia al impacto por baliza.

El ensayo de resistencia al impacto por baliza es requisito para las tuberías de PVC de acuerdo a la Norma INEN 1373. El cual determina conformidad de la tubería a pruebas de impacto establecida (generalmente no destructivas).

Para las tuberías de Polietileno no se solicita prueba de impacto por baliza en norma INEN 1744. Sin embargo se realizó esta prueba para verificar el impacto de falla y comparar comportamiento de las tuberías a ensayadas.

Como resultado se obtuvo que las tuberías de polietileno tiene una alta resistencia al impacto, a diferencia de las tuberías de PVC, la cual fallo a una energía de impacto de 178,54 J.

Las tuberías de Polietileno no fallaron por rotura o agrietamiento al ensayar 10 probetas como se tenía definido previamente el ensayo. Sin embargo es evidente la deformación sufrida debido al impacto.

Se solicitó realizar un impacto adicional con la máxima energía que podría ensayarse con aparato para pruebas de impacto, la cual fue de 373,56 J. utilizando una masa de 13,6 kg y una altura de 2,80m. Con ello las pruebas de polietileno no fallaron al primer impacto, no obstante al realizar el segundo impacto sobre el lado opuesto las dos tuberías de polietileno fallaron.

Las tuberías de Pe100-RC (Tipo 2) tienen como característica la resistencia al lento crecimiento de grietas (*SCG*), no a la propagación rápida de la grieta (*RCP*). Por tanto con el ensayo realizado se verifica la alta resistencia al impacto de las tuberías de polietileno, pero durante el proceso del mismo no

fue posible determinar la energía de impacto necesaria para el fallo de cada una de las tuberías de PE.

Se verificó además que la falla producida en el segundo impacto fue producto del choque del material con su lado opuesto, debido al debilitamiento de la probeta al realizar el primer impacto.

2. Ensayo de presión hidrostática.

Este ensayo fue propuesto para verificar la resistencia hidrostática del material con un tiempo de ensayo promedio de una hora.

Como conclusión se pudo verificar una mayor resistencia del PVC en relación a las tuberías de Polietileno. Verificando un tipo de falla explosiva, mientras que en las tuberías de polietileno se detectó la falla de tipo dúctil.

En principio se esperaba una mayor resistencia a la presión hidrostática de las tuberías de PE100 RC (Tipo 2) sobre las tuberías de PE100, sin embargo vale anotar que las característica especial de las tuberías de PE100-RC es la resistencia al lento crecimiento de la grieta y en específico de la tubería PE100-RC tipo 2 la resistencia a largo plazo de cargas puntuales causadas por rocas o fragmentos. Al igual que en el ensayo de impacto, en la prueba de presión hidrostática se da una en el tubo de tipo RCP.

Aunque las tuberías de PE fallaron a una menor presión respecto a las tuberías de PVC-U, estas lo hicieron alrededor de 3 veces su presión nominal, lo cual es considerable guardando un factor de seguridad conservador, suficiente para soportar eventos transitorios. Además es de tomar en cuenta que para proyectos de conducción y distribución de AAPP, no se suelen realizar diseños de funcionamiento del sistema ajustados a la presión nominal de la tubería, usualmente esta presión es menor a la PN del tubo.²⁷

Las pruebas y ensayos se realizaron con una tubería de PVC-U de PN 1,0MPa al igual que las tuberías de polietileno. Este tipo de tubería de PVC no es muy comercial, en su lugar se emplea mayormente tuberías de PVC con PN de 0,8MPa.

En la prueba realizada se verifica el sobredimensionado en sus características de resistencia. Sin embargo esto se debe a que este tipo de tuberías se dimensionan para la resistencia que tendrían en 50 años (tiempo de servicio).

Cabe anotar que la mayoría de fallos en las tuberías de PVC en servicio se dan en sus uniones o accesorios. Los fallos sobre la tubería de PVC son

²⁷ Ver Anexo 10

típicos cuando se ha realizado una instalación inadecuada sin respetar profundidades de instalación recomendadas, omisión de protección de cama de arena, compactación deficiente o mano de obra no calificada en instalación.

3. Ensayo de Rigidez Anular método de la carga variable.

En este ensayo se pudo verificar que la propiedad de rigidez anular al 5% de deflexión de la tubería de PE100-RC (Tipo 2) es mayor.

Sin embargo al analizar las deflexiones generadas en la tubería mediante el programa *External Load For Uni-Bell Flexible Conduits* se verificó que éstas son muy similares en los tres tipos de tubería.

Del ensayo se determinó la rigidez al 5%, no obstante como se puede visualizar en la figura 74 que a mayor carga la deformación del PE100-RC (Tipo 2) es menor en relación al PVC-U y PE100.

Habría que tomar en cuenta que en el caso práctico del PVC, al usar una tubería con PN de 0,8 MPA es muy probable que las deflexiones en esta incrementen.

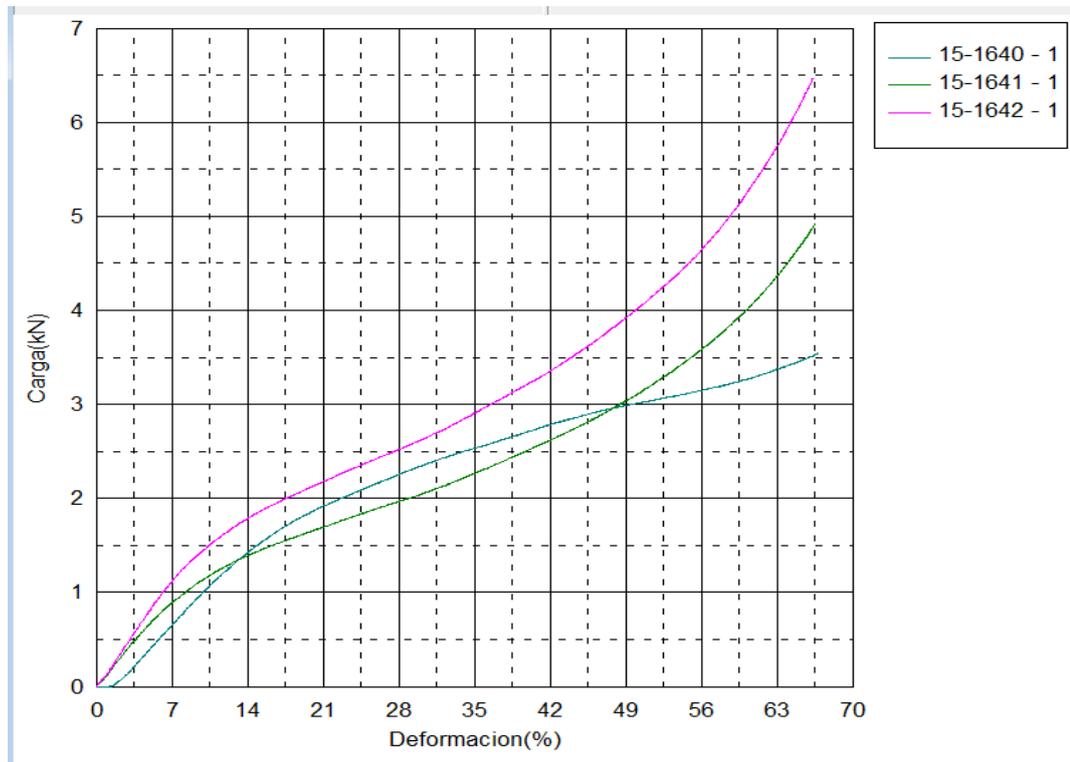


Figura 70. Gráfica Carga vs Deformación de la muestras.

Fuente: Informe 15-089 Ensayo de Rigidez anular. Lemat

Por otro lado, al verificar el diferente comportamiento de los distintos materiales se puede caracterizar el comportamiento del PE100-RC (Tipo2) en relación al PE100 y PVC en referencia a esta propiedad de rigidez anular.

5.2 Conclusiones

1. De acuerdo al criterio de selección moderna de tuberías por prestaciones equivalentes, se verificó que la tubería de PE100-RC (Tipo 2) representa una excelente opción a considerar, frente a otros materiales evaluados.

2. Se establecieron diferencias en relación a las tuberías de PE100 tradicional, siendo la principal característica de las tuberías de PE100-RC la resistencia al fenómeno de crecimiento lento de las grietas y tiempo de vida útil de más de 100 años bajo condiciones extremas de trabajo.
3. A partir del análisis de su especificación se identifican 3 tipos de tuberías de PE100-RC para condiciones específicas de uso. Se verifica que la tubería Tipo2, utilizada en diferentes pruebas y ensayos en el desarrollo de esta tesis, es particularmente recomendada para instalaciones en zanja abierta sin protección o recubrimiento de arena, teniendo como característica principal la capacidad de resistir cargas puntuales ocasionadas por rocas o fragmentos.
4. De ensayos y pruebas experimentales propuestas, se verificó lo siguiente:
 - Una alta resistencia al impacto de las tuberías PE100-RC (Tipo 2), propiedad compartida con las tuberías de polietileno tradicional, sin lograr establecer de manera precisa la energía de impacto requerida para causar la falla.

- Aceptable resistencia a presión hidrostática de la tubería PE100-RC (Tipo2) en comparación a los otros materiales, en condiciones normales y bajo afectación de impacto previo utilizando un percutor tipo C de masa 9,1 kg a una altura de 1750 mm.
 - Tubería PE100-RC (Tipo2) en comparación con tuberías de PE100 y PVC-U son relativamente más rígidas.
5. En el Modelo Hidráulico se verifican mayores pérdidas de carga en la tubería de PE100-RC respecto al PE100 y PVC, aunque estas no difieren en más de un 1,05% respecto a la de mejor comportamiento. Se debe considerar que se tomó de referencia el coeficiente de rugosidad menos favorable para el análisis de la tubería de PE100-RC, debido a la especificación técnica del fabricante.
 6. En el análisis mecánico se verifica similar comportamiento de los tres tipos de tuberías. Sin embargo se debe destacar que ante deflexiones o cargas que puedan causar el fallo en la tubería a largo plazo el PE100-RC tendrá un mejor comportamiento en la resistencia de las mismas debido a las características del material del que se conforma.
 7. En relación a costos de instalación, se verifica que gracias a los métodos alternativos de instalación con la tubería de PE100-RC se

disminuyen ciertos rubros y cantidades de obra, con lo cual se tiene un presupuesto competitivo en relación a la tubería de PVC y PE100-RC

5.3 Recomendaciones

1. Para la utilización de la tubería se recomienda adoptar de manera local una norma o especificación para la homologación o caracterización de tuberías PE100 RC.
2. Al considerar la instalación de redes con tuberías PE100 RC es importante definir el tipo de tubería a usar (Tipo1, Tipo2 o Tipo3) acorde al propósito y método de instalación (con zanja sin recubrimiento de arena, sin zanja).
3. En proyectos futuros donde se requiera realizar la instalación o rehabilitación de redes es recomendable considerar la opción de métodos alternativos de instalación sin apertura de zanja a fin de minimizar el impacto de afectación al entorno.
4. En el ámbito constructivo, en la instalación de las tuberías de PE100-RC o de cualquier otro material es necesario contar con mano de obra calificada.

BIBLIOGRAFÍA

1. Instituto tecnológico Leopoldo Marechal SGBATOS, Nociones de hidráulica referidas a conducciones a presión, Argentina, 2011.
2. Rocha Felices Arturo, Hidráulica de Tuberías y Canales, Perú, 2007.
3. Mott Robert L. Mecánica de Fluidos, 6° Edición Pearson Educación, México, 2006
4. Ing. Perez Farras Luis E. Ing. Pérez Sandra, Criterios de Diseño, Cálculo y Selección de Tuberías en Base al Criterio de las Prestaciones Equivalentes, Argentina, 2007
5. Valdez Enrique Cesar, Abastecimiento de agua potable, Volumen 1, México, 1994

6. DURALON Línea Hidráulica, Productos Nacobre S.A. de C.V. Guía Técnica Criterios de Diseño para Redes de Agua Potable Empleando Tubería de PVC.
7. UniBell PVC Pipe Asosiation. Technical Report Deflection: The Pipe/Soil Mechanism.
8. Domínguez C., Carrero A., Aroca M., Garcia R.A. Resistencia al proceso de crecimiento lento de grieta en polietilenos bimodales utilizados para su aplicación en tubería. Revista de plásticos modernos, Vol. 99 Número 644 (Marzo 2010)
9. Chris O'Connor and Richard Beedell POLYETHYLENE GAS PIPELINE SYSTEMS: DESIGNING OUT RAPID CRACK PROPAGATION. Pipeline & Gas Journal Vol. 241, 2014.
10. ABC Pipe Systems. Guía técnica ECO-SIS Water. 2011
11. Konti Hidroplast Guía Técnica PE100-RC Multilayer Pipe. 2014
12. Dr. rer. pol. Ansgar Strumann, Egeplast, Guideline for decision-markers Alternative installation methods with polyethylene pipes, 2009
13. Hessel J. Resistance of large diameter PE pipes to internal pressure - A new approach using a cost-cutting test method. Fig 4, pag 3. 2008

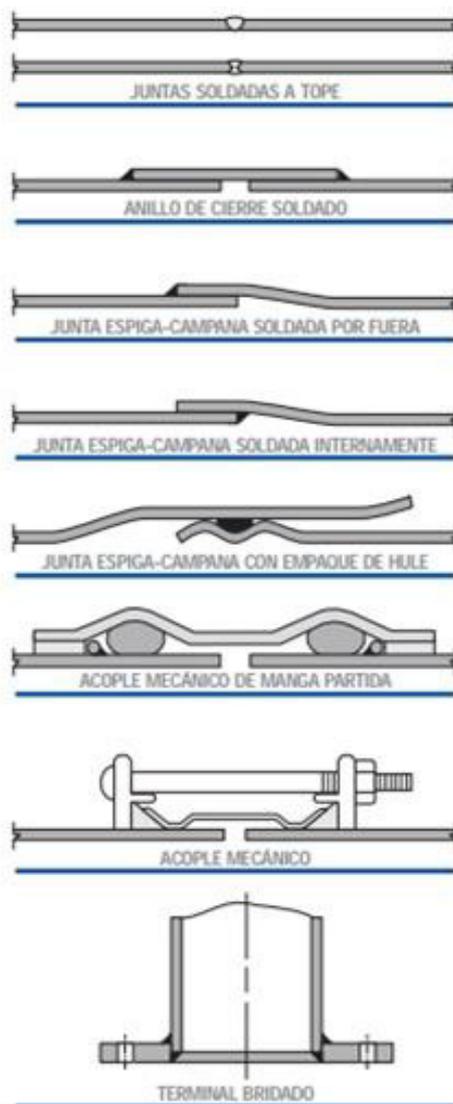
14. D. Balairón Perez, AseTub, Guía técnica: Las Tuberías Plásticas en las Obras Hidráulicas, España
15. EN ISO 13479 : 1997 Polyolefin pipes for the conveyance of fluids- Determination of resistance to crack propagation, 2009
16. ISO-4427.2007 Plastics Piping Systems — Polyethylene (PE) pipes and fittings for water supply. 2007
17. DIN Deutsche Institut für Normung, Publicly Available Specification (PAS-1075:2009), German, 2009
18. A. Adib, C. Dominguez, R. A. Garcia, M. Aroca, M. A. Garrido, J. Rodríguez. “Caracterización de polietilenos de alta densidad frente al fenómeno del crecimiento lento de grietas”. Anales de Mecánica de Fractura 28, GEF. Vol.1 (2011)
19. ASTM-D2444, Impact Resistance of Plastics and Fitting, 1998
20. Interagua. Norma Técnica NTP-IA-016 Construcción de Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado Tubería y accesorios de Acero, Actualización Marzo 05-03-14. Ecuador, 2014
21. Bentley Systems Inc. Generalidades de los Modelos de Simulación y su Aplicación Práctica, 2008

ANEXOS

ANEXO 1

JUNTAS Y SISTEMAS DE UNIONES PARA DIFERENTES TIPOS DE TUBERÍA

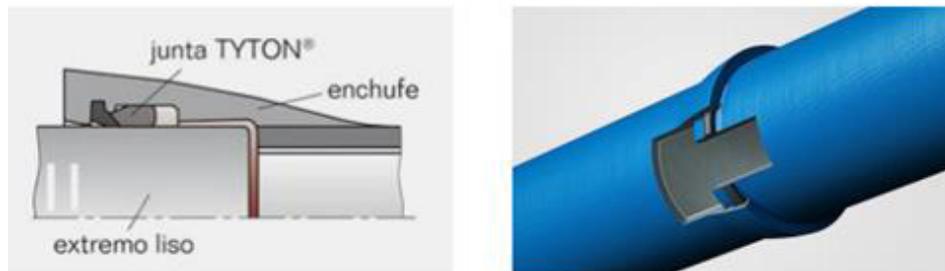
Tubos de Acero.



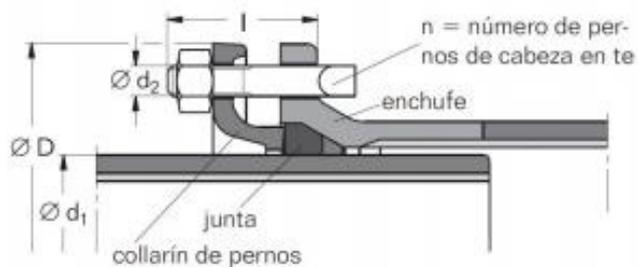
Fuente: Guía “Ingeniería de Tuberías de Acero para Sistema de Agua Potable”, Northwest Pipe Company

Tubería de Hierro Dúctil

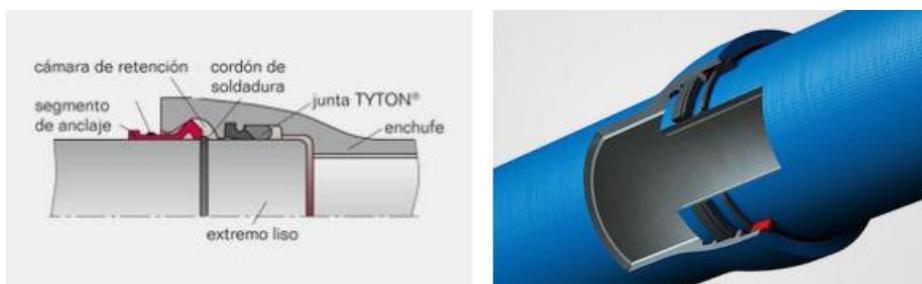
Las uniones flexibles en las tuberías de hierro dúctil pueden ser de tres tipos: Unión de enchufe y extremo liso: Hermeticidad se logra por compresión de anillo elastomérico.



Unión Mecánica: se empatan al igual que la unión de enchufe y extremo liso, pero hermeticidad se logra al comprimir anillo elastomérico mediante el ajuste de una contrabrida con pernos



Unión Acerrojada: Se utiliza en casos que se estime esfuerzos por tracción

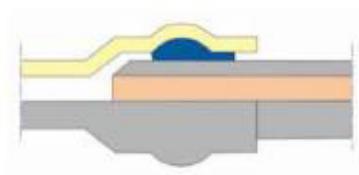


Tubos de PRFV

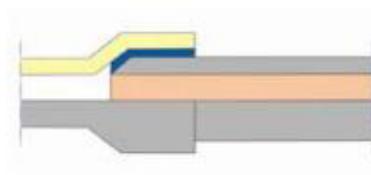


Fuente: Guía técnica “Las tuberías plásticas en las obras hidráulicas”. AseTUB

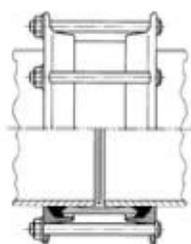
Tubería PVC



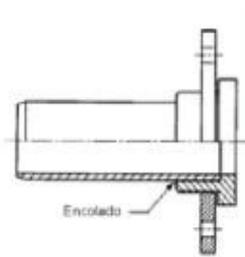
Unión elástica con anillo elastomérico



Unión encolada



Unión mecánica (Gibault)



Unión con bridas

ANEXO 2

Diámetro Nominal

El diámetro nominal (DN) de un tubo representa el diámetro estándar referencial para cada tipo o de tubería, sin representar precisamente su valor medible. En función del tipo de tubería el DN puede referirse al diámetro externo (OD) o interno (ID). La ISO 6708:1995 (Pipework components – Definition and selection of DN, Nominal Size) la representa con las letras DN seguida de un número entero relacionado con el diámetro en milímetros de la tubería.

La siguiente tabla indica la correspondencia característica del DN según los distintos tipos de tuberías.

<i>Tipo de tubo</i>	<i>El DN coincide con:</i>
<i>Materiales termoplásticos de pared lisa (PE, PVC-U, PVC-O)</i>	<i>OD</i>
<i>Materiales termoplásticos de pared estructurada</i>	<i>ID u OD, según tipologías</i>
<i>PRFV</i>	<i>ID u OD, según sistema de fabricación</i>
<i>Hormigón</i>	<i>ID</i>
<i>Gres</i>	<i>ID</i>
<i>Fundición</i>	<i>Aproximadamente ID</i>
<i>Acero</i>	<i>OD</i>

Fuente: Guía técnica “Las tuberías plásticas en las obras hidráulicas”. AseTUB

ANEXO 3

Tabla Sistema Unificado de Clasificación de Suelos D- 2487 ASTM

Divisiones principales	Símbolos del grupo	Nombres típicos	Criterios para la clasificación
<p style="text-align: center;">Suelos de partículas Gruesas Más del 50% es retenido en la malla No. 200</p> <p style="text-align: center;">Suelos de Grano Fino 50% o más pasa la malla No. 200</p>	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, con poco o nada de finos	$C_u = D_{60}/D_{10}$ Mayor que 4 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Entre 1 y 3
	GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena, con poco o nada de finos	No satisfacen ambos criterios para GW
	GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo.	Los límites de Atterberg quedan abajo de la línea "A", o el índice plástico es menor que 4.
	GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla	Los límites de Atterberg quedan arriba de la línea "A" y el índice plástico es mayor que 7
	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, con poco o nada de finos	$C_u = D_{60}/D_{10}$ Mayor que 6 $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Entre 1 y 3
	SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava, con poco o nada de finos	No se satisfacen ambos criterios para SW
	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo	Los límites de Atterberg quedan abajo de la línea "A", o el índice plástico es menor que 4.
	SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla	Los límites de Atterberg quedan arriba de la línea "A" y el índice plástico es mayor que 7
	ML	Limos inorgánicos, arenas muy finas, polvo de roca, limos arenosos o arcillos ligeramente plásticos	<p style="text-align: center;">Carta de plasticidad. Para clasificar suelos de partículas finas y las fracciones finas de los suelos de partículas gruesas. Los límites de Atterberg que quedan en la zona sombreada son clasificaciones indeterminadas que requieren el uso de símbolos dobles. La ecuación de la línea "A" es: $PI = 0.73 (LL - 20)$</p>
	CL	Arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas dobles	
OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad		
MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, limos elásticos		
CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas		
OH	Arcillas orgánicas de media a alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad		
Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos.	Identificación visual o manual	

Clasificación según el porcentaje de finos
 G.W., GP, SW, SP
 G.M., GC, SM, SC
 Clasificación indeterminada que requiere el uso de símbolos dobles

ANEXO 4

TABLA – Espesores de paredes tuberías de Polietileno

Fuente: Tabla 2 ISO-4427-2 :2007

Table 2 — Wall thicknesses

	Pipe series											
	SDR 6	SDR 7,4	SDR 9	SDR 11	SDR 13,6	SDR 17						
	S 2,5	S 3,2	S 4	S 5	S 6,3	S 8						
	Nominal pressure (PN) ^a bar											
PE 40	—	PN 10	PN 8	—	PN 5	PN 4						
PE 63	—	—	—	PN 10	PN 8	—						
PE 80	PN 25	PN 20	PN 16	PN 12,5	PN 10	PN 8						
PE 100	—	PN 25	PN 20	PN 16	PN 12,5	PN 10						
Nominal size	Wall thicknesses ^b mm											
	e _{min}	e _{max}	e _{min}	e _{max}	e _{min}	e _{max}	e _{min}	e _{max}	e _{min}	e _{max}	e _{min}	e _{max}
16	3,0	3,4	2,3 ^c	2,7	2,0 ^c	2,3	—	—	—	—	—	—
20	3,4	3,9	3,0	3,4	2,3 ^c	2,7	2,0 ^c	2,3	—	—	—	—
25	4,2	4,8	3,5	4,0	3,0	3,4	2,3 ^c	2,7	2,0 ^c	2,3	—	—
32	5,4	6,1	4,4	5,0	3,6	4,1	3,0	3,4	2,4	2,8	2,0 ^c	2,3
40	6,7	7,5	5,5	6,2	4,5	5,1	3,7	4,2	3,0	3,5	2,4	2,8
50	8,3	9,3	6,9	7,7	5,6	6,3	4,6	5,2	3,7	4,2	3,0	3,4
63	10,5	11,7	8,6	9,6	7,1	8,0	5,8	6,5	4,7	5,3	3,8	4,3
75	12,5	13,9	10,3	11,5	8,4	9,4	6,8	7,6	5,6	6,3	4,5	5,1
90	15,0	16,7	12,3	13,7	10,1	11,3	8,2	9,2	6,7	7,5	5,4	6,1
110	18,3	20,3	15,1	16,8	12,3	13,7	10,0	11,1	8,1	9,1	6,6	7,4
125	20,8	23,0	17,1	19,0	14,0	15,6	11,4	12,7	9,2	10,3	7,4	8,3
140	23,3	25,8	19,2	21,3	15,7	17,4	12,7	14,1	10,3	11,5	8,3	9,3
160	26,6	29,4	21,9	24,2	17,9	19,8	14,6	16,2	11,8	13,1	9,5	10,6
180	29,9	33,0	24,6	27,2	20,1	22,3	16,4	18,2	13,3	14,8	10,7	11,9
200	33,2	36,7	27,4	30,3	22,4	24,8	18,2	20,2	14,7	16,3	11,9	13,2
225	37,4	41,3	30,8	34,0	25,2	27,9	20,5	22,7	16,6	18,4	13,4	14,9
250	41,5	45,8	34,2	37,8	27,9	30,8	22,7	25,1	18,4	20,4	14,8	16,4
280	46,5	51,3	38,3	42,3	31,3	34,6	25,4	28,1	20,6	22,8	16,6	18,4
315	52,3	57,7	43,1	47,6	35,2	38,9	28,6	31,6	23,2	25,7	18,7	20,7
355	59,0	65,0	48,5	53,5	39,7	43,8	32,2	35,6	26,1	28,9	21,1	23,4

Table 2 (continued)

Pipe series												
SDR 6		SDR 7,4		SDR 9		SDR 11		SDR 13,6		SDR 17		
S 2,5		S 3,2		S 4		S 5		S 6,3		S 8		
Nominal pressure (PN) ^a bar												
PE 40	—		PN 10		PN 8		—		PN 5		PN 4	
PE 63	—		—		—		PN 10		PN 8		—	
PE 80	PN 25		PN 20		PN 16		PN 12,5		PN 10		PN 8	
PE 100	—		PN 25		PN 20		PN 16		PN 12,5		PN 10	
Nominal size	Wall thicknesses ^b mm											
	e_{min}	e_{max}	e_{min}	e_{max}	e_{min}	e_{max}	e_{min}	e_{max}	e_{min}	e_{max}	e_{min}	e_{max}
400	—	—	54,7	60,3	44,7	49,3	36,3	40,1	29,4	32,5	23,7	26,2
450	—	—	61,5	67,8	50,3	55,5	40,9	45,1	33,1	36,6	26,7	29,5
500	—	—	—	—	55,8	61,5	45,4	50,1	36,8	40,6	29,7	32,8
560	—	—	—	—	62,5	68,9	50,8	56,0	41,2	45,5	33,2	36,7
630	—	—	—	—	70,3	77,5	57,2	63,1	46,3	51,1	37,4	41,3
710	—	—	—	—	79,3	87,4	64,5	71,1	52,2	57,6	42,1	46,5
800	—	—	—	—	89,3	98,4	72,6	80,0	58,8	64,8	47,4	52,3
900	—	—	—	—	—	—	81,7	90,0	66,2	73,0	53,3	58,8
1 000	—	—	—	—	—	—	90,2	99,4	72,5	79,9	59,3	65,4
1 200	—	—	—	—	—	—	—	—	88,2	97,2	67,9	74,8
1 400	—	—	—	—	—	—	—	—	102,9	113,3	82,4	90,8
1 600	—	—	—	—	—	—	—	—	117,6	129,5	94,1	103,7
1 800	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	105,9	116,6
2 000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	117,6	129,5

Table 2 (continued)

Pipe series								
SDR 21		SDR 26		SDR 33		SDR 41		
S 10		S 12,5		S 16		S 20		
Nominal pressure (PN) ^a bar								
PE 40	PN 3,2		PN 2,5		—		—	
PE 63	PN 5		PN 4		PN 3,2		PN 2,5	
PE 80	PN 6 ^d		PN 5		PN 4		PN 3,2	
PE 100	PN 8		PN 6 ^c		PN 5		PN 4	
Nominal size	Wall thicknesses ^b mm							
	e_{min}	e_{max}	e_{min}	e_{max}	e_{min}	e_{max}	e_{min}	e_{max}
16	—	—	—	—	—	—	—	—
20	—	—	—	—	—	—	—	—
25	—	—	—	—	—	—	—	—
32	—	—	—	—	—	—	—	—
40	2,0 ^c	2,3	—	—	—	—	—	—
50	2,4	2,8	2,0	2,3	—	—	—	—
63	3,0	3,4	2,5	2,9	—	—	—	—
75	3,6	4,1	2,9	3,3	—	—	—	—
90	4,3	4,9	3,5	4,0	—	—	—	—
110	5,3	6,0	4,2	4,8	—	—	—	—
125	6,0	6,7	4,8	5,4	—	—	—	—
140	6,7	7,5	5,4	6,1	—	—	—	—
160	7,7	8,6	6,2	7,0	—	—	—	—
180	8,6	9,6	6,9	7,7	—	—	—	—
200	9,6	10,7	7,7	8,6	—	—	—	—
225	10,8	12,0	8,6	9,6	—	—	—	—
250	11,9	13,2	9,6	10,7	—	—	—	—
280	13,4	14,9	10,7	11,9	—	—	—	—
315	15,0	16,6	12,1	13,5	9,7	10,8	7,7	8,6
355	16,9	18,7	13,6	15,1	10,9	12,1	8,7	9,7

Table 2 (continued)

Pipe series								
SDR 21		SDR 26		SDR 33		SDR 41		
S 10		S 12,5		S 16		S 20		
Nominal pressure (PN) ^a bar								
PE 40	PN 3,2		PN 2,5		—		—	
PE 63	PN 5		PN 4		PN 3,2		PN 2,5	
PE 80	PN 6 ^d		PN 5		PN 4		PN 3,2	
PE 100	PN 8		PN 6 ^c		PN 5		PN 4	
Nominal size	Wall thicknesses ^b mm							
	e_{min}	e_{max}	e_{min}	e_{max}	e_{min}	e_{max}	e_{min}	e_{max}
400	19,1	21,2	15,3	17,0	12,3	13,7	9,8	10,9
450	21,5	23,8	17,2	19,1	13,8	15,3	11,0	12,2
500	23,9	26,4	19,1	21,2	15,3	17,0	12,3	13,7
560	26,7	29,5	21,4	23,7	17,2	19,1	13,7	15,2
630	30,0	33,1	24,1	26,7	19,3	21,4	15,4	17,1
710	33,9	37,4	27,2	30,1	21,8	24,1	17,4	19,3
800	38,1	42,1	30,6	33,8	24,5	27,1	19,6	21,7
900	42,9	47,3	34,4	38,3	27,6	30,5	22,0	24,3
1 000	47,7	52,6	38,2	42,2	30,6	33,5	24,5	27,1
1 200	57,2	63,1	45,9	50,6	36,7	40,5	29,4	32,5
1 400	66,7	73,5	53,5	59,0	42,9	47,3	34,3	37,9
1 600	76,2	84,0	61,2	67,5	49,0	54,0	39,2	43,3
1 800	85,7	94,4	69,1	76,2	54,5	60,1	43,8	48,3
2 000	95,2	104,9	76,9	84,7	60,6	66,8	48,8	53,8

NOTE 1 bar = 0,1 MPa = 10⁵ Pa; 1 MPa = 1 N/mm².

^a PN values are based on C = 1,25.

^b Tolerances in accordance with ISO 11922-1:1997, grade V, calculated from (0,1 e_{min} + 0,1) mm rounded up to the next 0,1 mm. For certain applications for $e > 30$ mm, ISO 11922-1:1997, grade T, tolerances may be used calculated from 0,15 e_{min} rounded up to the next 0,1 mm.

^c The calculated value of e_{min} according to ISO 4065 is rounded up to the nearest value of either 2,0, 2,3 or 3,0. This is to satisfy certain national requirements. For practical reasons, a wall thickness of 3,0 mm is recommended for electrofusion jointing and lining applications.

^d Actual calculated values are 6,4 bar for PE 100 and 6,3 bar for PE 80.

ANEXO 5

PRUEBA DE PENETRACIÓN RELACIONADA CON EL ENVEJECIMIENTO

TÉRMICO

En las pruebas aceleradas aplicadas a materiales poliméricos, los tiempos de fallos son menores cuando las temperaturas a las que están expuestos aumentan a partir de la temperatura de diseño.

Para modelar los tiempos de fallo incluyendo la temperatura como variable de aceleración, se utilizan relaciones como las de Arrhenius y las de Williams-Landel-Ferry.

Las propiedades y el comportamiento de los materiales poliméricos son susceptibles a cambios debido a la temperatura. Un método eficiente para realizar estimaciones de tiempo de fallo de materiales poliméricos es la aplicación de pruebas aceleradas mediante esfuerzos con temperatura.

PRUEBAS ACELERADAS

El objetivo principal de la aplicación de pruebas aceleradas es llegar a una mejora de la fiabilidad tan pronto sea posible, por lo que, al no conocer con precisión las debilidades futuras de un producto, es necesario recurrir a la aplicación de múltiples esfuerzos. Al someter a un producto a esfuerzos elevados, los fallos ocurrirán más rápidamente.

RELACIÓN DE ARRHENIUS

En un principio el químico Holandés Van't Hoff había observado que por cada 10°C de aumento de la temperatura, la velocidad de reacción se duplicaba. No obstante de forma experimental se observa que realmente queda entre 2 y 4. Por esta razón en 1889 el químico sueco Syante Arrhenius propuso una ecuación empírica conocida hoy en día como la relación de Arrhenius. Esta relación es ampliamente utilizada cuando la temperatura es la variable de aceleración en las pruebas aceleradas.

Existen aplicaciones de esta relación en diversos tipos de pruebas como pruebas con aislantes dieléctricos, semiconductores, baterías, lubricantes, plásticos y lámparas incandescentes, entre otros.

La forma general de esta relación está dado con la siguiente ecuación:

$$\tau(T_a) = A \exp\left(\frac{-E_a}{k T_a}\right) = A \exp\left(\frac{B}{T_a}\right)$$

Donde:

τ = característica de la vida deseada (media, mediana, percentiles, etc)

T_a = variable de aceleración (valores en temperatura absoluta = Temp °C + 273,15)

E_a = energía de activación

k = constante de Boltzmann's en electrón voltios por °C = $8,61 \times 10^{-5} = \frac{1}{11605}$

A, B = parámetros de la relación a ser estimados

Una forma lineal de esta relación se obtiene por:

$$\ln(\tau) = \ln(A) + \frac{1}{T_a} B$$

Donde:

$\ln(A)$ = ordenada de origen

B = pendiente de la recta

T_a = variable independiente del modelo

GRAFICO DE ARRHENIUS

Un gráfico de Arrhenius muestra en las ordenadas el logaritmo de las constantes cinéticas $\ln(k)$ y en el eje de las abscisas el inverso de la temperatura ($1/T$).

Un gráfico de Arrhenius se muestra como línea recta cuando se trata de un único proceso térmicamente activado de velocidad limitada.

ENSAYOS PARA TUBERÍAS DE POLIETILENO

Para el caso del ensayo de penetración para tuberías de polietileno, en el cual se simula la penetración de un fragmento afilado a través de la pared de una tubería bajo presión interna de servicio, los esfuerzos en la pared de la tubería y la temperatura asociada a estos esfuerzos deben ser calculado con la intersección de las ramas de la curva de ruptura a la fluencia (de acuerdo a la norma DIN 8075) y la curva

representando el inicio del envejecimiento térmico de acuerdo al DVS 2205-1, hoja complementaria 19.

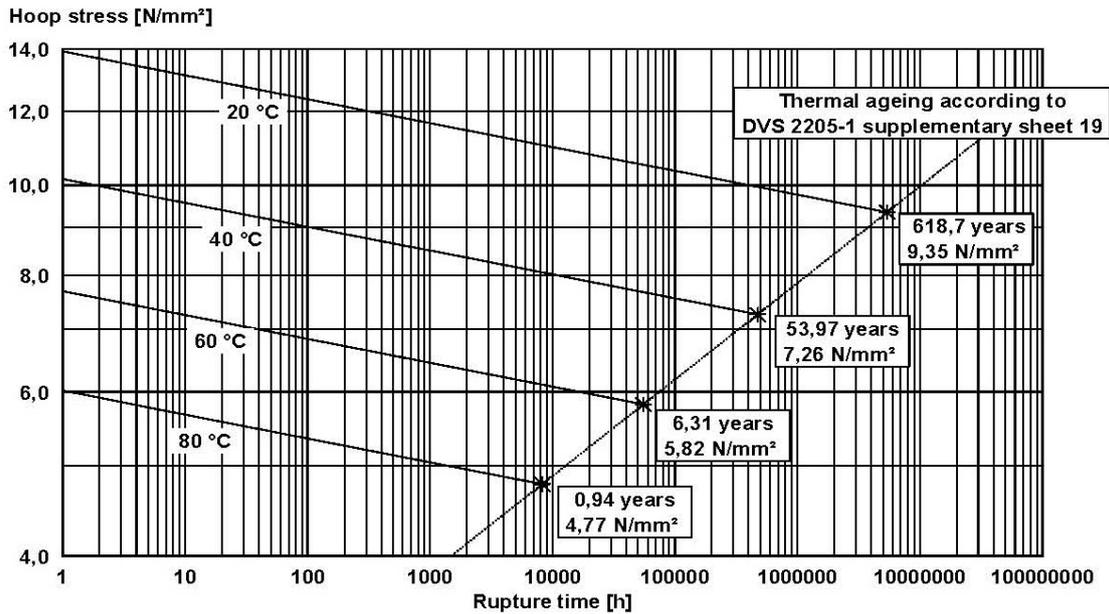


Fig.

Intersección entre la curva de ruptura a la fluencia del PE100 y la curva límite para la aparición del envejecimiento térmico según la DVS 2205-1. Hoja complementaria 19.

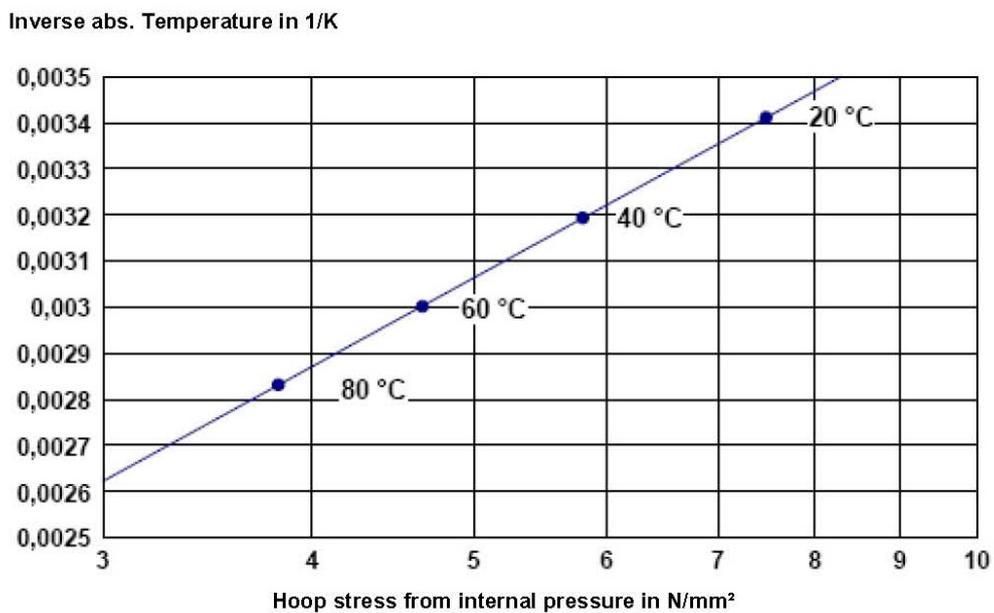


Fig. Ilustración de los parámetros del ensayo en la gráfica Arrhenius

ANEXO 6

INFORME DE ENSAYOS - LEMAT

**Laboratorio de Ensayos
Metrológicos y de
Materiales
LEMAT**



**INFORME DE ENSAYOS/
CERTIFICADO DE
CALIBRACIÓN**



Edición: 4

Hoja: 1 de 17
Nº Informe: 15-098

Fecha de emisión: 04/05/2015
Número de Orden: OT-433-15

SUPLEMENTO DEL INFORME 15-089.

DATOS GENERALES DEL CLIENTE						
Nombre: Roberto Xavier Ramirez Aguilar						
Dirección: Sauces 3 Mz 159 V27						
Teléfono: 2571275			Correo electrónico: robramir@espol.edu.ec			
Persona de Contacto: Roberto Xavier Ramirez						
DATOS DE LA MUESTRA						
Código de Muestra	Descripción de la muestra	Fecha de Recepción	Muestreo realizado por	Maquinado realizado por	Condiciones de la muestra	Fecha de Ensayo
15-1640	PVC	23/03/2015	Cliente <input checked="" type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>	Cliente <input checked="" type="checkbox"/> LEMAT <input type="checkbox"/> No aplica <input type="checkbox"/>	Conforme <input checked="" type="checkbox"/> No conforme <input type="checkbox"/>	Desde el 1 al 15 de Abril del 2015
15-1641	PE100	23/03/2015	Cliente <input checked="" type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>	Cliente <input checked="" type="checkbox"/> LEMAT <input type="checkbox"/> No aplica <input type="checkbox"/>	Conforme <input checked="" type="checkbox"/> No conforme <input type="checkbox"/>	Desde el 1 al 15 de Abril del 2015
15-1642	PE100-RC	23/03/2015	Cliente <input checked="" type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>	Cliente <input checked="" type="checkbox"/> LEMAT <input type="checkbox"/> No aplica <input type="checkbox"/>	Conforme <input checked="" type="checkbox"/> No conforme <input type="checkbox"/>	Desde el 1 al 15 de Abril del 2015

MC2203-01

LOS RESULTADOS DECLARADOS EN ESTE INFORME SE REFIEREN ÚNICAMENTE A LOS OBJETOS ENSAYADOS

Se prohíbe la reproducción total o parcial del presente informe, salvo aprobación escrita del LEMAT.

Guayaquil; Campus "Gustavo Galindo" Km. 30.5 vía perimetral, contiguo a la Cda. Santa Cecilia.

Fax: (593-4)2269293 - Teléfono: 2269375

E-mail: lemat@espol.edu.ec

MC2201 -04



SUPLEMENTO DEL INFORME 15-089.

ENSAYO DE RESISTENCIA AL IMPACTO POR BALIZA

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA.

Tipo de elemento: Tubería

Material: PVC

Diámetro nominal: 90 mm

INFORMACIÓN DEL ENSAYO.

Norma de ensayo: Método interno

Tipo de percutor: Tipo C

Temperatura (mín./máx.): 26.9/28.8 °C

Humedad (mín./máx.): 69.4/79.2 %

Código de muestras	Energía de impacto (J)	Masa (kg)	Altura (m)	Resultado de impacto	
				Impacto # 1	Impacto # 2
15-1640-01	44.64	9.1	0.50	A	A
15-1640-02	66.95	9.1	0.75	A	A
15-1640-03	89.27	9.1	1.00	A	A
15-1640-04	111.59	9.1	1.25	A	A
15-1640-05	133.91	9.1	1.50	A	A
15-1640-06	156.22	9.1	1.75	A	A
15-1640-07	178.54	9.1	2.00	P	N/A
15-1640-08	156.22	9.1	1.75	A	A
15-1640-09	165.15	9.1	1.85	P	N/A
15-1640-10	178.54	9.1	2.00	P	N/A

Tabla 1. Impacto por baliza. Resultados de la muestra 15-1640

P: presencia de una falla

A: ausencia de falla

N/A: No aplica

*Falla: Rotura o agrietamiento dentro del área de impacto del percutor.

Observaciones:

Las muestras y la información de las mismas fueron proporcionadas por el cliente.

El método de ensayo aplicado fue solicitado por el cliente. Se tomó como referencia a la norma INEN 504:2013 para la realización de los ensayos. El método de ensayo fue escalonado (aumento gradual de energía de impacto): se inició con una energía de impacto de 44.15 J (valor mínimo para tuberías de PVC de diámetro nominal de 90 mm, según indica la norma INEN 1373:2013, tabla 5) hasta que la tubería falle. Se usó un percutor tipo C (según indica la norma ASTM D2444:99) para la realización de los ensayos.

LOS RESULTADOS DECLARADOS EN ESTE INFORME SE REFIEREN ÚNICAMENTE A LOS OBJETOS ENSAYADOS.

Se prohíbe la reproducción total o parcial del presente informe, salvo aprobación escrita del LEMAT.

Guayaquil; Campus "Gustavo Galindo" Km. 30.5 vía perimetral, contiguo a la Cda. Santa Cecilia.

Fax: (593-4)2269293 - Teléfono: 2269375

E-mail: lemat@espol.edu.ec

MC2201 -04

SUPLEMENTO DEL INFORME 15-089.

ENSAYO DE RESISTENCIA AL IMPACTO POR BALIZA

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA.

Tipo de elemento: Tubería
Material: PE100
Diámetro nominal: 90 mm

INFORMACIÓN DEL ENSAYO.

Norma de ensayo: Método interno
Tipo de percutor: Tipo C
Temperatura (mín./máx.): 26.9/28.8 °C
Humedad (mín./ máx.): 69.4/79.2 %

Código de muestras	Energía de impacto (J)	Masa (kg)	Altura (m)	Resultado de impacto	
				Impacto # 1	Impacto # 2
15-1641-01	44.64	9.1	0.50	A	A
15-1641-02	66.95	9.1	0.75	A	A
15-1641-03	89.27	9.1	1.00	A	A
15-1641-04	111.59	9.1	1.25	A	A
15-1641-05	133.91	9.1	1.50	A	A
15-1641-06	156.22	9.1	1.75	A	A
15-1641-07	178.54	9.1	2.00	A	A
15-1641-08	200.86	9.1	2.25	A	A
15-1641-09	223.18	9.1	2.50	A	A
15-1641-10	249.96	9.1	2.80	A	A
15-1641-11	373.56	13.6	2.80	A	P

Tabla 2. Impacto por baliza. Resultados de la muestra 15-1641

P: presencia de una falla A: ausencia de falla N/A: No aplica

*Falla: Rotura o agrietamiento dentro del área de impacto del percutor.

Observaciones:

Las muestras y la información de las mismas fueron proporcionadas por el cliente.

El método de ensayo aplicado fue solicitado por el cliente. Se tomó como referencia a la norma INEN 504:2013 para la realización de los ensayos. El método de ensayo fue escalonado (aumento gradual de energía de impacto): se inició con una energía de impacto de 44.15 J (valor mínimo para tuberías de PVC de diámetro nominal de 90 mm, según indica la norma INEN 1373:2013, tabla 5) hasta que la tubería falle. Se usó un percutor tipo C (según indica la norma ASTM D2444:99) para la realización de los ensayos.

LOS RESULTADOS DECLARADOS EN ESTE INFORME SE REFIEREN ÚNICAMENTE A LOS OBJETOS ENSAYADOS.

Se prohíbe la reproducción total o parcial del presente informe, salvo aprobación escrita del LEMAT.

Guayaquil; Campus "Gustavo Galindo" Km. 30.5 vía perimetral, contiguo a la Cdla. Santa Cecilia.

Fax: (593-4)2269293 - Teléfono: 2269375

E-mail: lemat@espol.edu.ec

MC2201 -04

SUPLEMENTO DEL INFORME 15-089.

ENSAYO DE RESISTENCIA AL IMPACTO POR BALIZA

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA.

Tipo de elemento: Tubería

Material: PE100-RC

Diámetro nominal: 90 mm

INFORMACIÓN DEL ENSAYO.

Norma de ensayo: Método interno

Tipo de percutor: Tipo C

Temperatura (mín./máx.): 26.9/28.8 °C

Humedad (mín./ máx.): 69.4/79.2 %

Código de muestras	Energía de impacto (J)	Masa (kg)	Altura (m)	Resultado de impacto	
				Impacto # 1	Impacto # 2
15-1642-01	44.64	9.1	0.50	A	A
15-1642-02	66.95	9.1	0.75	A	A
15-1642-03	89.27	9.1	1.00	A	A
15-1642-04	111.59	9.1	1.25	A	A
15-1642-05	133.91	9.1	1.50	A	A
15-1642-06	156.22	9.1	1.75	A	A
15-1642-07	178.54	9.1	2.00	A	A
15-1642-08	200.86	9.1	2.25	A	A
15-1642-09	223.18	9.1	2.50	A	A
15-1642-10	249.96	9.1	2.80	A	A
15-1642-11	373.56	13.6	2.80	A	P

Tabla 3. Impacto por baliza. Resultados de la muestra 15-1642

P: presencia de una falla

A: ausencia de falla

N/A: No aplica

*Falla: Rotura o agrietamiento dentro del área de impacto del percutor.

Observaciones:

Las muestras y la información de las mismas fueron proporcionadas por el cliente.

El método de ensayo aplicado fue solicitado por el cliente. Se tomó como referencia a la norma INEN 504:2013 para la realización de los ensayos. El método de ensayo fue escalonado (aumento gradual de energía de impacto): se inició con una energía de impacto de 44.15 J (valor mínimo para tuberías de PVC de diámetro nominal de 90 mm, según indica la norma INEN 1373:2013, tabla 5) hasta que la tubería falle. Se usó un percutor tipo C (según indica la norma ASTM D2444:99) para la realización de los ensayos.

LOS RESULTADOS DECLARADOS EN ESTE INFORME SE REFIEREN ÚNICAMENTE A LOS OBJETOS ENSAYADOS.

Se prohíbe la reproducción total o parcial del presente informe, salvo aprobación escrita del LEMAT.

Guayaquil; Campus "Gustavo Galindo" Km. 30.5 vía perimetral, contiguo a la Cda. Santa Cecilia.

Fax: (593-4)2269293 - Teléfono: 2269375

E-mail: lemat@espol.edu.ec

MC2201 -04



SUPLEMENTO DEL INFORME 15-089.

ENSAYO DE RIGIDEZ ANULAR MÉTODO DE LA CARGA VARIABLE

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA.

Tipo de elemento: Tubería

Material: PVC

INFORMACIÓN DEL ENSAYO.

Norma de ensayo : Método interno basado ISO 9969:2007

Temperatura (mín./máx.): 21.7/26.2 °C

Humedad (mín./ máx.): 34.9/51.1 %

Código de muestra	Fuerza al 5% (kN)	Longitud (mm)	Diámetro interior (mm)	Rigidez anular individual (kN/m ²)
15-1640-01	0.41	150.00	82.41	12.84
15-1640-02	0.60	150.00	81.81	18.83
15-1640-03	0.60	150.00	82.07	18.93
Rigidez anular de la tubería				16.87

Tabla 4. Ensayo de Rigidez Anular. Muestra 15-1640

OBSERVACIONES:

Las muestras y la información de las mismas fueron proporcionadas por el cliente.

Desviación de la norma: La longitud de cada muestra fue de 150 mm y la deflexión diametral fue de 5 %.

Las curvas de ensayo de las muestras 15-1640-01, 15-1641-02 y 15-1641-03 fueron adjuntados en anexos.

LOS RESULTADOS DECLARADOS EN ESTE INFORME SE REFIEREN ÚNICAMENTE A LOS OBJETOS ENSAYADOS.

Se prohíbe la reproducción total o parcial del presente informe, salvo aprobación escrita del LEMAT.

Guayaquil; Campus "Gustavo Galindo" Km. 30.5 vía perimetral, contiguo a la Cda. Santa Cecilia.

Fax: (593-4)2269293 - Teléfono: 2269375

E-mail: lemat@espol.edu.ec

MC2201 -04



SUPLEMENTO DEL INFORME 15-089.

ENSAYO DE RIGIDEZ ANULAR MÉTODO DE LA CARGA VARIABLE

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA.

Tipo de elemento: Tubería

Material: PE100

INFORMACIÓN DEL ENSAYO.

Norma de ensayo : Método interno basado ISO 9969:2007

Temperatura (mín./máx.): 21.7/26.2 °C

Humedad (mín./ máx.): 34.9/51.1 %

Código de muestra	Fuerza al 5% (kN)	Longitud (mm)	Diámetro interior (mm)	Rigidez anular individual (kN/m ²)
15-1641-01	0.68	150.00	78.65	22.28
15-1641-02	0.72	150.00	78.71	23.50
15-1641-03	0.71	150.00	79.07	23.13
Rigidez anular de la tubería				22.97

Tabla 5. Ensayo de Rigidez Anular. Muestra 15-1641

OBSERVACIONES:

Las muestras y la información de las mismas fueron proporcionadas por el cliente.

Desviación de la norma: La longitud de cada muestra fue de 150 mm y la deflexión diametral fue de 5 %.

Las curvas de las muestras 15-1641-01, 15-1641-02 y 15-1641-03 fueron adjuntados en anexos.

LOS RESULTADOS DECLARADOS EN ESTE INFORME SE REFIEREN ÚNICAMENTE A LOS OBJETOS ENSAYADOS.

Se prohíbe la reproducción total o parcial del presente informe, salvo aprobación escrita del LEMAT.

Guayaquil; Campus "Gustavo Galindo" Km. 30.5 vía perimetral, contiguo a la Cda. Santa Cecilia.

Fax: (593-4)2269293 - Teléfono: 2269375

E-mail: lemat@espol.edu.ec

MC2201 -04

SUPLEMENTO DEL INFORME 15-089.

ENSAYO DE RIGIDEZ ANULAR MÉTODO DE LA CARGA VARIABLE

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA.

Tipo de elemento: Tubería

Material: PE100-RC

INFORMACIÓN DEL ENSAYO.

Norma de ensayo : Método interno basado ISO 9969:2007

Temperatura (mín./máx.): 21.7/26.2 °C

Humedad (mín./ máx.): 34.9/51.1 %

Código de muestra	Fuerza al 5% (kN)	Longitud (mm)	Diámetro interior (mm)	Rigidez anular (kN/m ²)
15-1642-01	0.83	150.00	77.15	27.59
15-1642-02	0.77	150.00	77.99	25.31
15-1642-03	0.79	150.00	77.09	26.27
Rigidez anular de la tubería				26.39

Tabla 6. Ensayo de Rigidez Anular. Muestra 15-1642

OBSERVACIONES:

Las muestras y la información de las mismas fueron proporcionadas por el cliente.

Desviación de la norma: La longitud de cada muestra fue de 150 mm y la deflexión diametral fue de 5 %.

Las curvas de las muestras 15-1642-01, 15-1642-02 y 15-1642-03 fueron adjuntados en anexos.

LOS RESULTADOS DECLARADOS EN ESTE INFORME SE REFIEREN ÚNICAMENTE A LOS OBJETOS ENSAYADOS.

Se prohíbe la reproducción total o parcial del presente informe, salvo aprobación escrita del LEMAT.

Guayaquil; Campus "Gustavo Galindo" Km. 30.5 vía perimetral, contiguo a la Cda. Santa Cecilia.

Fax: (593-4)2269293 - Teléfono: 2269375

E-mail: lemat@espol.edu.ec

MC2201 -04

SUPLEMENTO DEL INFORME 15-089.

ENSAYO DE PRESIÓN HIDROSTÁTICA INTERNA - MÉTODO ESCALONADO

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA.

Tipo de elemento: Tubería

Material: PVC

Presión nominal: 1 MPa

INFORMACIÓN DEL ENSAYO.

Norma de ensayo : Método interno

Temperatura de ensayo: 20.7 °C

Tiempo de acondicionamiento: 1 hora

Código de muestra	Presión interna de ensayo (Bares)	Tiempo de sostenimiento (minutos)	Resultado
15-1640-1	10.0	10	No falla
	15.0	10	No falla
	20.0	10	No falla
	25.0	10	No falla
	30.0	10	No falla
	35.0	10	No falla
	40.0	10	Falla

Tabla 7. Ensayo de Presión Hidrostática. Muestra 15-1640-1

*Falla de la probeta: presencia de roturas o fisuras en el interior o exterior de la probeta ensayada, verificadas a simple vista. La presencia de hinchamiento en la probeta no se considera falla.

OBSERVACIONES:

Las muestras y la información de las mismas fueron proporcionadas por el cliente.

La curva de ensayo de la muestra 15-1640-1 esta adjunta en anexos.

El método de ensayo aplicado fue solicitado por el cliente. El método de ensayo fue escalonado (aumento de la presión interna en intervalos de 5 bares con un tiempo de sostenimiento de 10 minutos): se inició con una presión de ensayo de 10 bares (equivalente a la Presión nominal de la tubería de PVC de diámetro nominal de 90 mm) hasta que la tubería falle.

LOS RESULTADOS DECLARADOS EN ESTE INFORME SE REFIEREN ÚNICAMENTE A LOS OBJETOS ENSAYADOS.

Se prohíbe la reproducción total o parcial del presente informe, salvo aprobación escrita del LEMAT.

Guayaquil; Campus "Gustavo Galindo" Km. 30.5 vía perimetral, contiguo a la Cda. Santa Cecilia.

Fax: (593-4)2269293 - Teléfono: 2269375

E-mail: lemat@espol.edu.ec

MC2201 -04

SUPLEMENTO DEL INFORME 15-089.

ENSAYO DE PRESIÓN HIDROSTÁTICA INTERNA - MÉTODO ESCALONADO

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA.

Tipo de elemento: Tubería

Material: PE100

Presión nominal: 1 MPa

INFORMACIÓN DEL ENSAYO.

Norma de ensayo : Método interno

Temperatura de ensayo: 20.5 °C

Tiempo de acondicionamiento: 1 hora

Código de muestra	Presión interna de ensayo (Bares)	Tiempo de sostenimiento (minutos)	Resultado
15-1641-1	10.0	10	No falla
	15.0	10	No falla
	20.0	10	No falla
	25.0	10	No falla
	30.0	10	Falla

Tabla 8. Ensayo de Presión Hidrostática. Muestra 15-1641-1

*Falla de la probeta: presencia de roturas o fisuras en el interior o exterior de la probeta ensayada, verificadas a simple vista. La presencia de hinchamiento en la probeta no se considera falla.

OBSERVACIONES:

Las muestras y la información de las mismas fueron proporcionadas por el cliente.

La curva de ensayo de la muestra 15-1641-1 esta adjunta en anexos.

El método de ensayo aplicado fue solicitado por el cliente. El método de ensayo fue escalonado (aumento de la presión interna en intervalos de 5 bares con un tiempo de sostenimiento de 10 minutos): se inició con una presión de ensayo de 10 bares (equivalente a la Presión nominal de la tubería de PVC de diámetro nominal de 90 mm) hasta que la tubería falle.

LOS RESULTADOS DECLARADOS EN ESTE INFORME SE REFIEREN ÚNICAMENTE A LOS OBJETOS ENSAYADOS.

Se prohíbe la reproducción total o parcial del presente informe, salvo aprobación escrita del LEMAT.

Guayaquil; Campus "Gustavo Galindo" Km. 30.5 vía perimetral, contiguo a la Cdla. Santa Cecilia.

Fax: (593-4)2269293 - Teléfono: 2269375

E-mail: lemat@espol.edu.ec

MC2201 -04

SUPLEMENTO DEL INFORME 15-089.

ENSAYO DE PRESIÓN HIDROSTÁTICA INTERNA - MÉTODO ESCALONADO

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA.

Tipo de elemento: Tubería

Material: PE100- RC

Presión nominal: 1 MPa

INFORMACIÓN DEL ENSAYO.

Norma de ensayo : Método interno

Temperatura de ensayo: 20.9 °C

Tiempo de acondicionamiento: 1 hora

Código de muestra	Presión interna de ensayo (Bares)	Tiempo de sostenimiento (minutos)	Resultado
15-1642-1	10.0	10	No falla
	15.0	10	No falla
	20.0	10	No falla
	25.0	10	Falla

Tabla 9. Ensayo de Presión Hidrostática. Muestra 15-1642-1

*Falla de la probeta: presencia de roturas o fisuras en el interior o exterior de la probeta ensayada, verificadas a simple vista. La presencia de hinchamiento en la probeta no se considera falla.

OBSERVACIONES:

Las muestras y la información de las mismas fueron proporcionadas por el cliente.

La curva de ensayo de la muestra 15-1642-1 esta adjunta en anexos.

El método de ensayo aplicado fue solicitado por el cliente. El método de ensayo fue escalonado (aumento gradual de la presión interna): se inició con una presión de ensayo de 10 bares (equivalente a la Presión nominal de la tubería de PE100 RC de diámetro nominal de 90 mm) hasta que la tubería falle.

LOS RESULTADOS DECLARADOS EN ESTE INFORME SE REFIEREN ÚNICAMENTE A LOS OBJETOS ENSAYADOS.

Se prohíbe la reproducción total o parcial del presente informe, salvo aprobación escrita del LEMAT.

Guayaquil; Campus "Gustavo Galindo" Km. 30.5 vía perimetral, contiguo a la Cdla. Santa Cecilia.

Fax: (593-4)2269293 - Teléfono: 2269375

E-mail: lemat@espol.edu.ec

MC2201 -04

SUPLEMENTO DEL INFORME 15-089.

ENSAYO DE PRESIÓN HIDROSTÁTICA INTERNA - MÉTODO LINEAL

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA.

Tipo de elemento: Tubería

Material: PVC

Presión nominal: 1 MPa

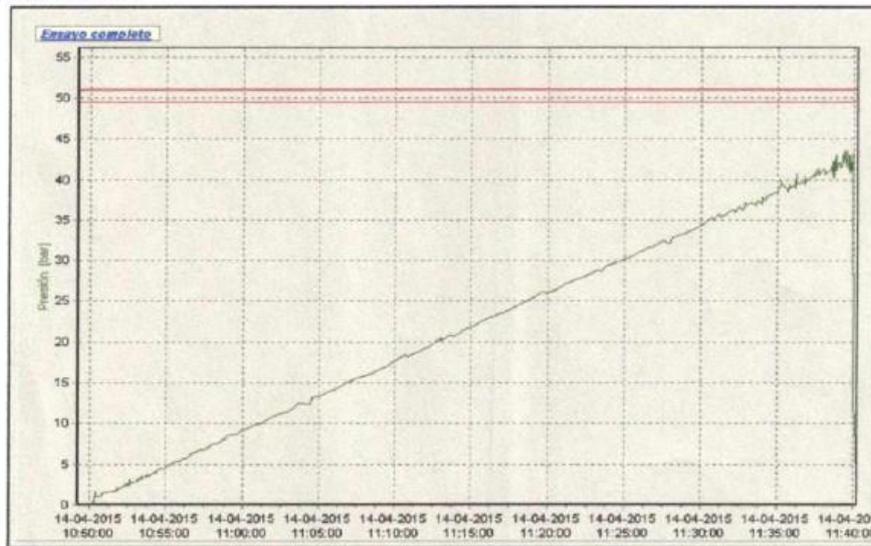
INFORMACIÓN DEL ENSAYO.

Norma de ensayo : Método interno

Temperatura de ensayo: 19.2 °C

Tiempo de acondicionamiento: 1 hora

RESULTADO DEL ENSAYO:



La probeta 15-1640-2 falló a los 43.21 Bares.

OBSERVACIONES:

Las muestras y la información de las mismas fueron proporcionadas por el cliente.

La muestra 15-1640-2 fue alterada por una muesca que situó dentro de la longitud libre de ensayo, misma que fue realizada mediante un percutor por caída de peso, cuya energía fue de 89.22 J.

El método de ensayo aplicado fue solicitado por el cliente. El método de ensayo fue lineal, con aumento de la presión interna a 0.8 Bares/ minutos hasta que la tubería falle.

LOS RESULTADOS DECLARADOS EN ESTE INFORME SE REFIEREN ÚNICAMENTE A LOS OBJETOS ENSAYADOS.

Se prohíbe la reproducción total o parcial del presente informe, salvo aprobación escrita del LEMAT.

Guayaquil; Campus "Gustavo Galindo" Km. 30.3 vía perimetral, contiguo a la Cda. Santa Cecilia.

Fax: (593-4)2269293 - Teléfono: 2269375

E-mail: lemat@espol.edu.ec

MC2201 -04

SUPLEMENTO DEL INFORME 15-089.

ENSAYO DE PRESIÓN HIDROSTÁTICA INTERNA - MÉTODO LINEAL

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA.

Tipo de elemento: Tubería

Material: PE100

Presión nominal: 1 MPa

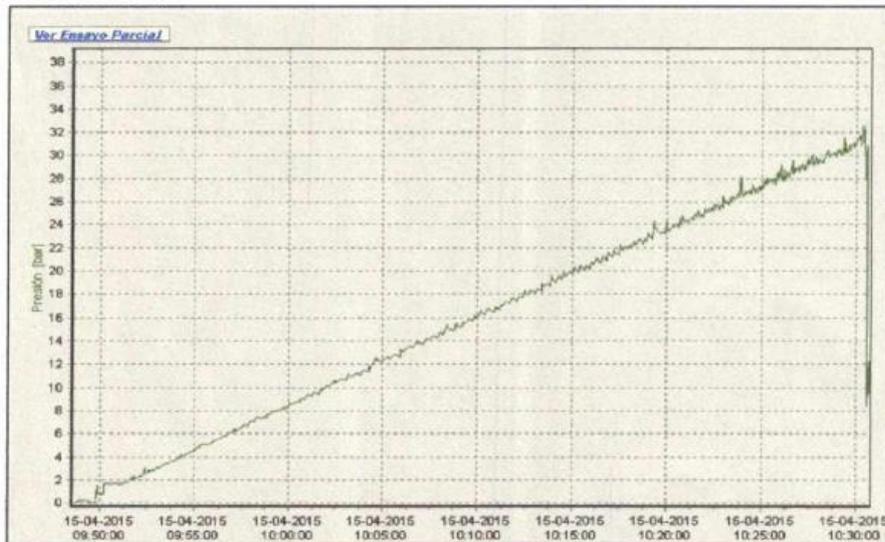
INFORMACIÓN DEL ENSAYO.

Norma de ensayo : Método interno

Temperatura de ensayo: 19.7 °C

Tiempo de acondicionamiento: 1 hora

RESULTADO DEL ENSAYO:



La probeta 15-1641-2 falló a los 32.56 Bares.

OBSERVACIONES:

Las muestras y la información de las mismas fueron proporcionadas por el cliente.

La muestra 15-1641-2 fue alterada por una muesca que situó dentro de la longitud libre de ensayo, misma que fue realizada mediante un percutor por caída de peso, cuya energía fue de 89.22 J.

El método de ensayo aplicado fue solicitado por el cliente. El método de ensayo fue lineal, con aumento de la presión interna a 0.8 Bares/ minutos hasta que la tubería falle.

LOS RESULTADOS DECLARADOS EN ESTE INFORME SE REFIEREN ÚNICAMENTE A LOS OBJETOS ENSAYADOS.

Se prohíbe la reproducción total o parcial del presente informe, salvo aprobación escrita del LEMAT.

Guayaquil; Campus "Gustavo Galindo" Km. 30.3 vía perimetral, contiguo a la Cdla. Santa Cecilia.

Fax: (593-4)2269293 - Teléfono: 2269375

E-mail: lemat@espol.edu.ec

MC2201 -04

SUPLEMENTO DEL INFORME 15-089.

ENSAYO DE PRESIÓN HIDROSTÁTICA INTERNA - MÉTODO LINEAL

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA.

Tipo de elemento: Tubería

Material: PE100-RC

Presión nominal: 1 MPa

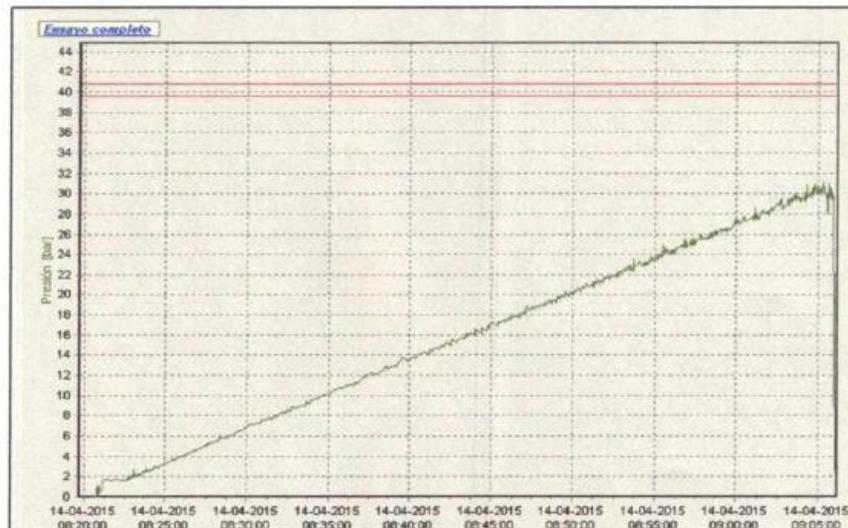
INFORMACIÓN DEL ENSAYO.

Norma de ensayo : Método interno

Temperatura de ensayo: 18 °C

Tiempo de acondicionamiento: 1 hora

RESULTADO DEL ENSAYO:



La probeta 15-1642-2 falló a los 29.68 Bares.

OBSERVACIONES:

Las muestras y la información de las mismas fueron proporcionadas por el cliente.

La muestra 15-1642-2 fue alterada por una muesca que situó dentro de la longitud libre de ensayo, misma que fue realizada mediante un percutor por caída de peso, cuya energía fue de 89.22 J.

El método de ensayo aplicado fue solicitado por el cliente. El método de ensayo fue lineal, con aumento de la presión interna a 0.8 Bares/ minutos hasta que la tubería falle.

LOS RESULTADOS DECLARADOS EN ESTE INFORME SE REFIEREN ÚNICAMENTE A LOS OBJETOS ENSAYADOS.

Se prohíbe la reproducción total o parcial del presente informe, salvo aprobación escrita del LEMAT.

Guayaquil; Campus "Gustavo Galindo" Km. 30.5 vía perimetral, contiguo a la Cdla. Santa Cecilia.

Fax: (593-4)2269293 - Teléfono: 2269375

E-mail: lemat@espol.edu.ec

MC2201 -04

SUPLEMENTO DEL INFORME 15-089.

ANEXOS

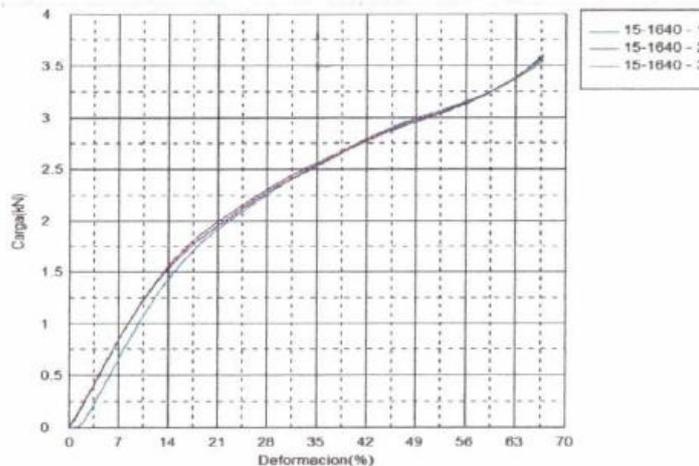


Figura 1. Gráfica Carga vs Deformación de la muestra 15-1640 (Ensayo de Rigidez anular)

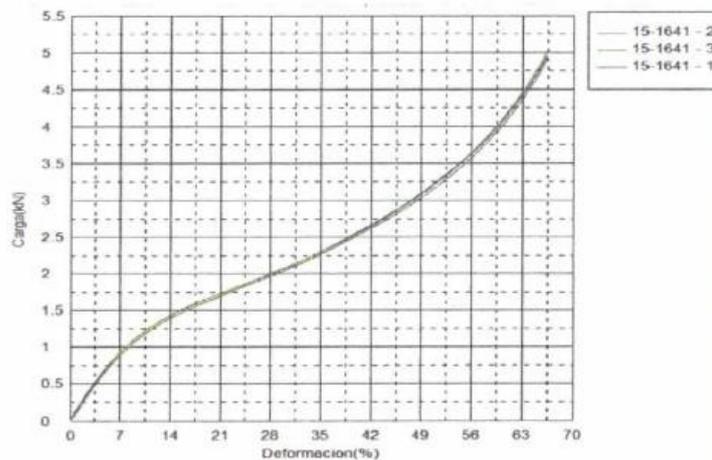


Figura 2. Gráfica Carga vs Deformación de la muestra 15-1641 (Ensayo de Rigidez anular)

LOS RESULTADOS DECLARADOS EN ESTE INFORME SE REFIEREN ÚNICAMENTE A LOS OBJETOS ENSAYADOS.

Se prohíbe la reproducción total o parcial del presente informe, salvo aprobación escrita del LEMAT.

Guayaquil; Campus "Gustavo Galindo" Km. 30.5 vía perimetral, contiguo a la Cda. Santa Cecilia.

Fax: (593-4)2269293 - Teléfono: 2269375

E-mail: lemat@espol.edu.ec

MC2201 -04

SUPLEMENTO DEL INFORME 15-089.

ANEXOS

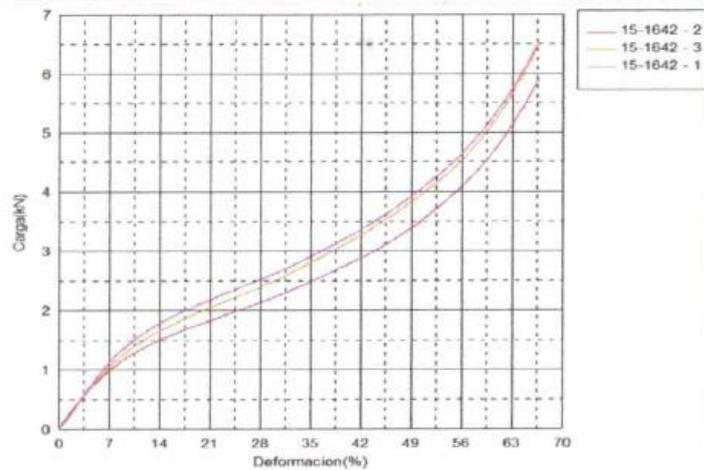


Figura 3. Gráfica Carga vs Deformación de la muestra 15-1642 (Ensayo de Rigidez anular)

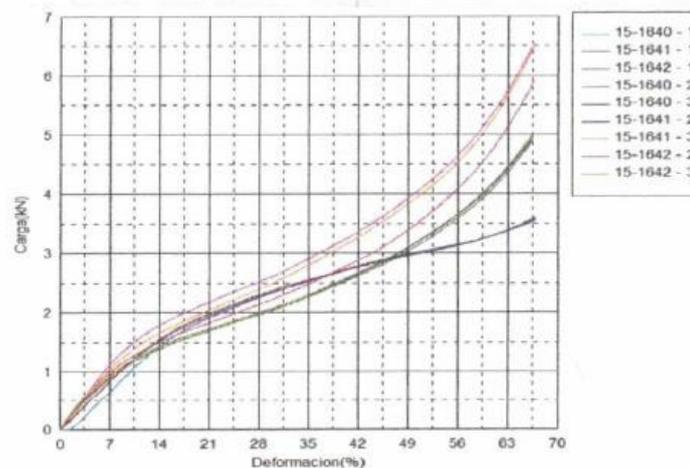


Figura 4. Gráfica Carga vs Deformación de las sub-muestras 15-1640, 15-1641 y 15-1642 (Ensayo de Rigidez anular)

LOS RESULTADOS DECLARADOS EN ESTE INFORME SE REFIEREN ÚNICAMENTE A LOS OBJETOS ENSAYADOS.

Se prohíbe la reproducción total o parcial del presente informe, salvo aprobación escrita del LEMAT.

Guayaquil; Campus "Gustavo Galindo" Km. 30.5 vía perimetral, contiguo a la Cda. Santa Cecilia.

Fax: (593-4)2269293 - Teléfono: 2269375

E-mail: lemat@espol.edu.ec

MC2201 -04

SUPLEMENTO DEL INFORME 15-089.

ANEXOS

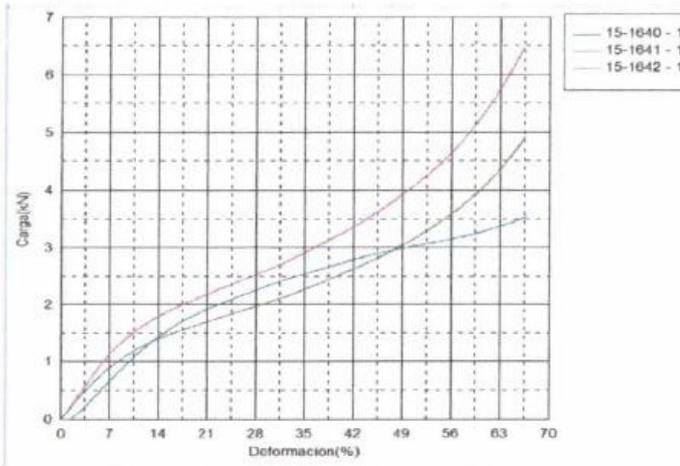


Figura 5. Gráfica Carga vs Deformación de la muestra 15-1640-01, 15-1641-01 y 15-1642-01 (Ensayo de Rigidez anular)

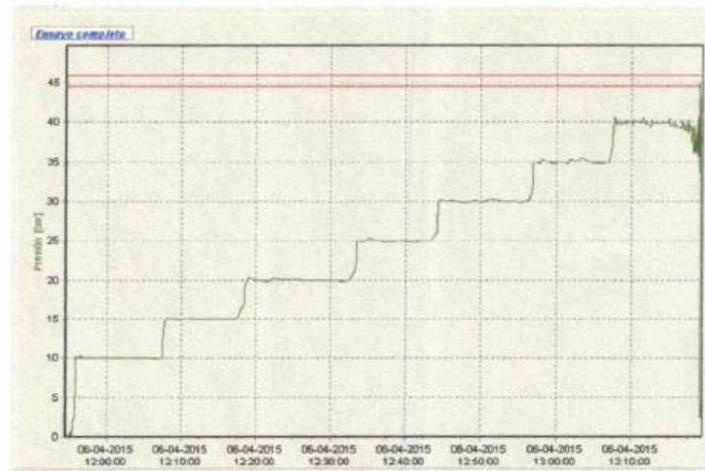


Figura 6. Gráfica Presión vs tiempo de la muestra 15-1640 (Ensayo de Presión Hidrostática - Método escalonado)

LOS RESULTADOS DECLARADOS EN ESTE INFORME SE REFIEREN ÚNICAMENTE A LOS OBJETOS ENSAYADOS.

Se prohíbe la reproducción total o parcial del presente informe, salvo aprobación escrita del LEMAT.

Guayaquil; Campus "Gustavo Galindo" Km. 30.5 vía perimetral, contiguo a la Cda. Santa Cecilia.

Fax: (593-4)2269293 - Teléfono: 2269375

E-mail: lemat@espol.edu.ec

MC2201 -04

SUPLEMENTO DEL INFORME 15-089.

ANEXOS

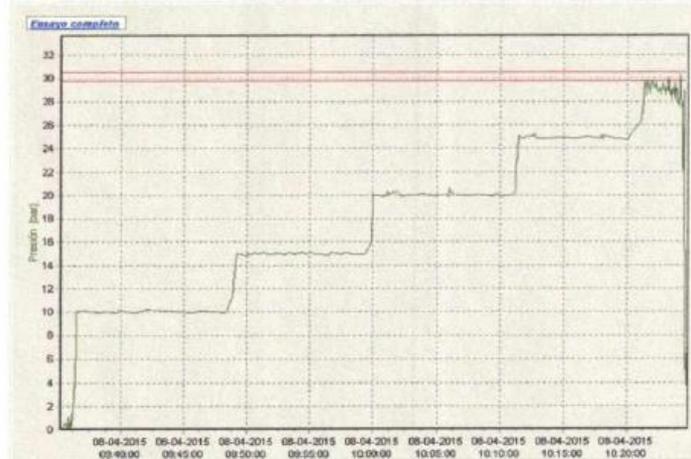


Figura 7. Gráfica Presión vs tiempo de la muestra 15-1641
(Presión Hidrostática - Método escalonado)

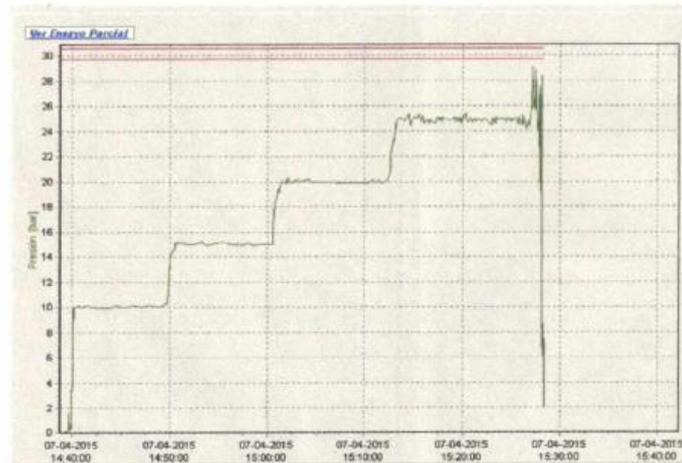
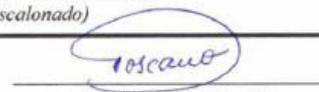


Figura 8. Gráfica Presión vs tiempo de la muestra 15-1642
(Presión Hidrostática - Método escalonado)


Ing. María José Bastidas R.
Directora Técnica


Ing. Diego Toscano P.
Director de laboratorio (e)

LOS RESULTADOS DECLARADOS EN ESTE INFORME SE REFIEREN ÚNICAMENTE A LOS OBJETOS ENSAYADOS.

Se prohíbe la reproducción total o parcial del presente informe, salvo aprobación escrita del LEMAT.

Guayaquil; Campus "Gustavo Galindo" Km. 30.5 vía perimetral, contiguo a la Cdla. Santa Cecilia.

Fax: (593-4)2269293 - Teléfono: 2269375

E-mail: lemat@espol.edu.ec

MC2201 -04

ANEXO 7

TABLAS DE RESULTADOS DE MODELACIÓN

Presiones Máximas y Mínimas en Nudos							
		PVC=0.0015		PE100=0.0015		PE100RC=0.003	
ID	Elevacion (m)	Pmax (m H2O)	Pmin (m H2O)	Pmax (m H2O)	Pmin (m H2O)	Pmax (m H2O)	Pmin (m H2O)
J-4	3,56	31,92	17,30	31,91	17,28	31,91	17,26
J-5	3,56	31,91	17,27	31,91	17,25	31,91	17,23
J-7	3,56	31,91	17,24	31,90	17,21	31,90	17,19
J-12	3,06	32,35	17,43	32,33	17,28	32,30	17,11
J-13	3,44	31,98	17,06	31,95	16,91	31,92	16,74
J-14	3,04	32,38	17,48	32,35	17,32	32,33	17,15
J-15	3,37	32,09	17,41	32,07	17,29	32,05	17,16
J-16	3,35	32,14	17,62	32,13	17,53	32,11	17,43
J-17	3,18	32,35	18,04	32,35	18,00	32,34	17,96
J-23	3,34	31,78	15,36	31,70	14,90	31,58	14,10
J-24	3,40	31,72	15,28	31,64	14,82	31,51	14,02
J-25	3,25	31,87	15,46	31,80	15,00	31,67	14,21
J-26	3,41	31,72	15,37	31,65	14,93	31,53	14,16
J-27	3,41	31,70	15,23	31,62	14,77	31,50	13,96
J-28	3,34	31,78	15,35	31,70	14,89	31,58	14,09
J-29	3,40	31,72	15,28	31,64	14,82	31,51	14,02
J-30	3,09	32,02	15,56	31,94	15,09	31,82	14,28
J-31	3,16	32,09	16,33	32,03	15,99	31,95	15,46
J-32	2,87	32,38	16,62	32,32	16,29	32,24	15,75
J-33	2,75	32,50	16,74	32,44	16,40	32,36	15,87
J-34	3,19	32,06	16,30	32,00	15,96	31,92	15,43
J-35	2,87	32,38	16,62	32,32	16,29	32,24	15,75
J-36	2,75	32,50	16,74	32,44	16,41	32,36	15,87
J-37	2,93	32,32	16,58	32,26	16,25	32,18	15,72
J-38	2,93	32,32	16,58	32,26	16,25	32,18	15,72
J-39	2,93	32,32	16,58	32,27	16,25	32,18	15,72
J-40	2,92	32,34	16,64	32,28	16,31	32,20	15,80
J-41	3,04	32,22	16,51	32,16	16,18	32,08	15,67
J-42	2,93	32,32	16,58	32,26	16,25	32,18	15,72
J-43	2,92	32,34	16,65	32,29	16,32	32,21	15,81
J-44	3,05	32,20	16,44	32,14	16,10	32,06	15,57
J-45	3,55	31,70	15,94	31,64	15,60	31,56	15,07
J-46	2,99	32,27	16,59	32,22	16,27	32,14	15,76
J-47	2,86	32,41	16,75	32,35	16,43	32,28	15,93
J-48	2,86	32,42	16,80	32,36	16,49	32,29	16,01
J-49	3,04	32,22	16,52	32,16	16,19	32,08	15,67
J-50	2,86	32,41	16,79	32,36	16,47	32,29	15,99
J-51	2,86	32,42	16,83	32,37	16,52	32,30	16,05
J-52	3,08	32,20	16,63	32,15	16,33	32,08	15,87
J-53	2,86	32,42	16,81	32,37	16,50	32,29	16,02
J-54	3,15	32,16	16,72	32,12	16,45	32,05	16,04
J-55	3,06	32,24	16,76	32,20	16,48	32,13	16,05
J-56	3,15	32,15	16,63	32,10	16,34	32,03	15,90

J-57	3,06	32,25	16,79	32,20	16,51	32,14	16,09
J-58	3,15	32,18	16,86	32,14	16,61	32,09	16,25
J-59	3,15	32,17	16,79	32,13	16,52	32,07	16,14
J-60	3,20	32,17	16,99	32,13	16,77	32,08	16,47
J-61	3,17	32,15	16,76	32,11	16,49	32,05	16,11
J-62	3,17	32,23	17,22	32,20	17,02	32,15	16,73
J-63	3,20	32,20	17,19	32,17	17,00	32,12	16,70
J-64	3,15	32,25	17,25	32,22	17,06	32,17	16,76
J-65	3,15	32,25	17,24	32,22	17,04	32,17	16,75
J-66	3,15	32,25	17,24	32,22	17,05	32,17	16,75
J-67	3,15	32,25	17,25	32,22	17,06	32,17	16,76
J-68	3,25	32,15	17,16	32,12	16,97	32,07	16,67
J-69	3,30	32,10	17,10	32,07	16,90	32,02	16,60
J-70	3,30	32,10	17,10	32,07	16,90	32,02	16,60
J-71	3,25	32,15	17,16	32,12	16,97	32,07	16,67
J-72	3,37	32,03	17,04	32,00	16,85	31,95	16,56
J-73	3,05	32,35	17,35	32,32	17,15	32,27	16,85
J-74	3,30	32,10	17,09	32,07	16,89	32,02	16,60
J-75	3,30	32,10	17,09	32,07	16,89	32,02	16,60
J-76	3,05	32,35	17,35	32,32	17,15	32,27	16,85
J-77	3,37	32,03	17,04	32,00	16,85	31,95	16,55
J-78	3,26	32,14	17,12	32,10	16,93	32,06	16,63
J-79	3,08	32,32	17,31	32,28	17,11	32,24	16,81
J-80	2,75	32,50	16,74	32,44	16,41	32,36	15,87
J-81	2,93	32,32	16,58	32,26	16,25	32,18	15,72
J-82	3,28	31,97	16,22	31,91	15,89	31,83	15,36
J-83	3,05	32,20	16,44	32,14	16,10	32,06	15,57
J-84	2,93	32,32	16,58	32,26	16,25	32,18	15,72
J-85	3,04	32,22	16,51	32,16	16,18	32,08	15,66
J-86	3,11	32,14	16,41	32,09	16,08	32,01	15,56
J-87	3,28	31,97	16,22	31,91	15,89	31,83	15,36
J-88	3,04	32,22	16,51	32,16	16,19	32,08	15,67
J-89	2,86	32,41	16,79	32,36	16,48	32,29	15,99
J-90	2,95	32,32	16,70	32,27	16,39	32,20	15,90
J-91	3,11	32,14	16,42	32,09	16,10	32,01	15,57
J-92	2,86	32,42	16,81	32,36	16,50	32,29	16,02
J-93	2,86	32,43	16,90	32,38	16,61	32,31	16,16
J-94	3,00	32,29	16,76	32,24	16,47	32,17	16,02
J-95	2,95	32,33	16,71	32,27	16,40	32,20	15,92
J-96	2,86	32,43	16,91	32,39	16,62	32,32	16,17
J-97	3,00	32,29	16,77	32,24	16,47	32,18	16,03
J-98	3,05	32,25	16,77	32,21	16,49	32,14	16,07
J-99	3,15	32,16	16,73	32,12	16,45	32,05	16,05
J-100	3,20	32,11	16,66	32,06	16,38	32,00	15,97
J-101	3,05	32,26	16,80	32,21	16,52	32,15	16,10
J-102	3,15	32,17	16,78	32,13	16,51	32,07	16,12
J-103	3,20	32,18	17,07	32,14	16,85	32,10	16,58
J-104	3,20	32,11	16,64	32,06	16,36	31,99	15,94
J-105	3,05	32,25	16,78	32,21	16,50	32,14	16,08
J-106	3,20	32,20	17,22	32,17	17,03	32,12	16,74
J-107	3,30	32,10	17,13	32,07	16,94	32,03	16,65
J-108	3,15	32,25	17,25	32,22	17,06	32,17	16,77
J-109	3,20	32,20	17,21	32,17	17,01	32,12	16,72
J-110	3,20	32,20	17,22	32,17	17,03	32,12	16,74
J-111	3,37	32,03	17,06	32,00	16,87	31,96	16,58
J-112	3,30	32,10	17,13	32,07	16,94	32,03	16,65
J-113	3,35	32,06	17,13	32,03	16,95	31,99	16,68
J-114	3,10	32,31	17,38	32,28	17,20	32,24	16,93
J-115	3,37	32,03	17,06	32,00	16,87	31,96	16,58
J-116	3,35	32,06	17,13	32,03	16,95	31,99	16,68
J-117	3,30	32,10	17,13	32,07	16,94	32,03	16,65

J-118	3,15	32,25	17,25	32,22	17,06	32,17	16,77
J-119	3,25	32,15	17,16	32,12	16,97	32,07	16,68
J-120	3,25	32,15	17,16	32,12	16,97	32,07	16,68
J-121	3,37	32,03	17,05	32,00	16,86	31,95	16,57
J-122	3,35	32,11	17,44	32,09	17,30	32,07	17,14
J-123	3,35	32,06	17,14	32,03	16,95	31,99	16,68
J-124	3,10	32,31	17,39	32,28	17,20	32,24	16,93
J-125	3,35	32,06	17,14	32,03	16,95	31,99	16,68
J-126	3,35	32,09	17,30	32,07	17,14	32,03	16,93
J-127	3,30	32,12	17,25	32,10	17,07	32,06	16,83
J-128	3,35	32,09	17,28	32,06	17,12	32,03	16,91
J-129	3,30	32,12	17,25	32,10	17,07	32,06	16,83
J-130	3,10	32,30	17,32	32,27	17,13	32,23	16,84
J-131	3,18	32,22	17,24	32,19	17,05	32,15	16,76
J-132	3,35	32,09	17,32	32,07	17,16	32,04	16,96
J-133	3,37	32,03	17,04	32,00	16,85	31,95	16,56
J-134	3,26	32,14	17,12	32,10	16,92	32,06	16,62
J-135	3,18	32,22	17,24	32,19	17,05	32,15	16,76
J-136	3,26	32,14	17,12	32,10	16,92	32,06	16,61
J-137	3,15	32,24	17,23	32,21	17,02	32,16	16,72
J-138	3,10	32,29	17,25	32,26	17,04	32,21	16,73
J-139	3,05	32,34	17,30	32,31	17,09	32,26	16,78
J-140	3,05	32,34	17,30	32,31	17,09	32,26	16,78
J-141	3,03	32,36	17,31	32,33	17,10	32,28	16,79
J-142	3,15	32,24	17,19	32,21	16,98	32,16	16,67
J-143	3,10	32,29	17,25	32,26	17,04	32,21	16,73
J-144	3,03	32,36	17,31	32,33	17,10	32,28	16,79
J-145	3,10	32,29	17,24	32,26	17,03	32,21	16,72
J-146	3,18	32,21	17,16	32,18	16,95	32,13	16,64
J-147	3,15	32,24	17,19	32,21	16,98	32,16	16,67
J-148	3,15	32,24	17,19	32,21	16,98	32,16	16,67
J-149	3,18	32,21	17,16	32,18	16,95	32,13	16,64
J-150	3,18	32,21	17,16	32,18	16,95	32,13	16,64
J-151	3,07	32,32	17,27	32,29	17,06	32,24	16,75
J-152	3,10	32,29	17,25	32,26	17,04	32,21	16,73
J-153	3,15	32,24	17,19	32,21	16,98	32,16	16,67
J-154	3,07	32,32	17,27	32,29	17,07	32,24	16,75
J-155	3,20	32,19	17,15	32,16	16,94	32,11	16,63
J-156	3,15	32,24	17,23	32,21	17,02	32,16	16,72
J-157	3,10	32,29	17,25	32,26	17,04	32,21	16,73
J-158	3,20	32,19	17,15	32,16	16,95	32,11	16,64
J-159	3,18	32,22	17,23	32,19	17,03	32,14	16,74
J-160	3,07	32,32	17,27	32,29	17,06	32,24	16,75
J-161	3,18	32,21	17,16	32,18	16,95	32,13	16,64
J-162	3,12	32,27	17,22	32,24	17,01	32,19	16,70
J-163	3,15	32,24	17,19	32,21	16,98	32,16	16,67
J-164	3,20	32,19	17,15	32,16	16,94	32,11	16,63
J-165	3,07	32,32	17,27	32,29	17,07	32,24	16,75
J-166	3,15	32,24	17,19	32,21	16,99	32,16	16,67
J-167	3,15	32,24	17,20	32,21	17,00	32,16	16,68
J-168	3,18	32,22	17,23	32,19	17,03	32,14	16,74
J-169	3,20	32,19	17,15	32,16	16,95	32,11	16,64
J-170	3,15	32,24	17,20	32,21	17,00	32,16	16,69
J-171	3,10	32,30	17,31	32,27	17,11	32,22	16,82
J-172	3,55	31,70	15,94	31,64	15,60	31,56	15,07
J-173	3,28	31,97	16,21	31,91	15,87	31,83	15,34
J-174	3,50	31,75	15,99	31,69	15,65	31,61	15,12
J-175	3,84	31,41	15,65	31,35	15,31	31,27	14,78
J-176	3,28	31,97	16,21	31,91	15,87	31,83	15,34
J-177	3,11	32,14	16,41	32,09	16,07	32,00	15,55
J-178	3,25	32,00	16,25	31,94	15,91	31,86	15,38

J-179	3,50	31,75	15,99	31,69	15,65	31,61	15,12
J-180	3,11	32,00	15,51	31,92	15,04	31,79	14,22
J-181	3,25	31,86	15,37	31,78	14,90	31,65	14,07
J-182	3,59	31,52	15,04	31,44	14,57	31,31	13,75
J-183	3,00	32,11	15,63	32,03	15,16	31,90	14,34
J-184	3,00	32,11	15,63	32,03	15,16	31,90	14,34
J-185	3,59	31,52	15,04	31,44	14,58	31,31	13,76
J-186	3,41	31,70	15,24	31,62	14,78	31,50	13,97
J-187	3,20	31,91	15,44	31,83	14,98	31,70	14,17
J-188	3,20	31,91	15,45	31,83	14,98	31,70	14,17
J-189	3,41	31,70	15,24	31,62	14,78	31,50	13,97
J-190	3,38	31,73	15,28	31,65	14,82	31,53	14,01
J-191	3,37	31,74	15,28	31,66	14,82	31,54	14,00
J-192	3,37	31,92	16,35	31,88	16,10	31,81	15,70
J-193	3,38	31,91	16,34	31,87	16,09	31,80	15,69
J-194	3,29	32,00	16,43	31,96	16,18	31,89	15,78
J-195	3,10	32,19	16,62	32,15	16,37	32,08	15,97
J-196	3,10	32,19	16,62	32,15	16,37	32,08	15,97
J-197	3,48	31,81	16,24	31,77	15,99	31,70	15,59
J-198	3,61	31,68	16,12	31,64	15,86	31,58	15,46
J-199	3,29	32,00	16,43	31,96	16,18	31,89	15,78
J-200	3,48	31,81	16,24	31,77	15,99	31,70	15,59
J-201	3,61	31,68	16,11	31,64	15,86	31,57	15,46
J-202	3,46	31,83	16,26	31,79	16,01	31,72	15,61
J-203	3,10	32,19	16,63	32,15	16,37	32,08	15,97
J-204	3,84	31,26	14,76	31,19	14,29	31,06	13,46
J-205	3,50	31,60	15,10	31,53	14,63	31,40	13,80
J-206	3,32	31,78	15,28	31,71	14,81	31,58	13,98
J-207	3,50	31,60	15,10	31,53	14,63	31,40	13,80
J-208	3,50	31,60	15,10	31,53	14,63	31,40	13,80
J-209	3,32	31,78	15,28	31,71	14,81	31,58	13,98
J-210	3,44	31,66	15,17	31,59	14,70	31,46	13,88
J-211	3,25	31,85	15,36	31,78	14,89	31,65	14,07
J-212	3,25	31,85	15,36	31,78	14,90	31,65	14,07
J-213	3,44	31,67	15,17	31,59	14,71	31,46	13,88
J-214	3,83	31,28	14,81	31,20	14,34	31,07	13,52
J-215	3,59	31,52	15,04	31,44	14,57	31,31	13,75
J-216	3,59	31,52	15,04	31,44	14,58	31,31	13,76
J-217	3,83	31,28	14,81	31,20	14,34	31,07	13,53
J-218	3,41	31,71	15,28	31,63	14,82	31,51	14,02
J-219	3,41	31,70	15,24	31,62	14,78	31,50	13,97
J-220	3,41	31,70	15,25	31,62	14,78	31,50	13,97
J-221	3,41	31,71	15,28	31,63	14,83	31,51	14,03
J-222	3,34	31,79	15,43	31,72	14,99	31,60	14,22
J-223	3,38	31,73	15,29	31,66	14,83	31,53	14,02
J-224	3,38	31,91	16,34	31,87	16,09	31,80	15,69
J-225	3,29	32,00	16,43	31,96	16,18	31,89	15,78
J-226	3,31	31,98	16,41	31,94	16,16	31,87	15,76
J-227	3,34	31,95	16,38	31,91	16,13	31,84	15,73
J-228	3,29	32,00	16,44	31,96	16,18	31,89	15,78
J-231	3,61	31,69	16,20	31,65	15,96	31,60	15,58
J-232	3,41	31,70	15,23	31,62	14,77	31,50	13,95
J-233	3,04	32,07	15,58	31,99	15,12	31,86	14,30
J-234	3,09	32,02	15,56	31,94	15,09	31,82	14,28
J-235	3,09	32,02	15,56	31,94	15,09	31,82	14,28
J-236	3,41	31,72	15,38	31,65	14,94	31,53	14,17
J-237	3,35	31,79	15,50	31,72	15,07	31,61	14,33
J-238	3,25	31,87	15,47	31,80	15,01	31,67	14,22
J-239	3,25	31,87	15,46	31,80	15,01	31,67	14,21
J-240	3,35	31,94	16,38	31,90	16,13	31,84	15,73
J-241	3,25	32,04	16,47	32,00	16,22	31,93	15,81

J-242	3,20	32,09	16,52	32,05	16,27	31,98	15,86
J-243	3,38	31,91	16,35	31,87	16,10	31,81	15,70
J-244	3,38	31,91	16,35	31,87	16,10	31,81	15,70
J-245	3,20	32,09	16,52	32,05	16,27	31,98	15,86
J-246	3,52	31,77	16,20	31,73	15,95	31,66	15,55
J-247	3,53	31,76	16,23	31,72	15,98	31,66	15,59
J-248	3,53	31,76	16,23	31,72	15,98	31,66	15,59
J-249	3,26	32,04	16,51	32,00	16,26	31,93	15,87
J-250	3,64	31,65	16,08	31,61	15,83	31,55	15,43
J-251	3,52	31,77	16,20	31,73	15,95	31,66	15,55
J-252	3,26	32,04	16,51	32,00	16,26	31,93	15,87
J-253	3,14	32,15	16,60	32,11	16,35	32,05	15,95
J-254	3,48	31,81	16,24	31,77	15,99	31,70	15,58
J-255	3,64	31,65	16,08	31,61	15,83	31,55	15,43
J-256	3,14	32,15	16,60	32,11	16,35	32,05	15,95
J-257	3,14	32,15	16,60	32,11	16,35	32,05	15,96
J-258	3,40	31,89	16,34	31,85	16,09	31,79	15,69
J-259	3,40	31,89	16,33	31,85	16,08	31,79	15,68
J-260	3,56	31,74	16,26	31,71	16,02	31,65	15,64
J-261	3,40	31,89	16,35	31,85	16,10	31,79	15,70
J-262	3,14	32,15	16,61	32,11	16,36	32,05	15,96
J-263	3,26	32,04	16,53	32,00	16,28	31,94	15,90
J-264	3,41	31,70	15,21	31,62	14,75	31,49	13,93
J-265	3,19	31,91	15,42	31,84	14,96	31,71	14,13
J-266	3,04	32,06	15,58	31,99	15,11	31,86	14,28
J-267	3,19	31,91	15,42	31,84	14,96	31,71	14,13
J-268	3,04	32,06	15,58	31,99	15,11	31,86	14,28
J-269	3,04	32,07	15,58	31,99	15,11	31,86	14,29
J-270	3,17	31,93	15,44	31,86	14,97	31,73	14,15
J-271	3,31	31,79	15,30	31,72	14,83	31,59	14,01
J-272	3,38	31,72	15,23	31,65	14,76	31,52	13,94
J-273	3,19	31,91	15,42	31,84	14,95	31,71	14,13
J-274	3,17	31,93	15,44	31,86	14,97	31,73	14,15
J-275	3,02	32,08	15,58	32,01	15,11	31,88	14,28
J-276	3,44	31,66	15,17	31,59	14,70	31,46	13,88
J-277	3,38	31,72	15,23	31,65	14,76	31,52	13,94
J-278	3,31	31,79	15,30	31,72	14,83	31,59	14,00
J-279	3,44	31,67	15,17	31,59	14,71	31,46	13,88
J-280	3,38	31,73	15,23	31,65	14,77	31,52	13,94
J-281	3,71	31,40	14,93	31,32	14,47	31,20	13,65
J-282	3,06	32,05	15,58	31,97	15,12	31,84	14,30
J-283	3,06	32,05	15,58	31,97	15,12	31,84	14,31
J-284	3,71	31,40	14,94	31,32	14,47	31,20	13,66
J-285	3,38	31,74	15,32	31,66	14,86	31,54	14,06
J-286	3,41	31,71	15,28	31,63	14,82	31,51	14,02
J-287	3,38	31,74	15,33	31,66	14,87	31,54	14,08
J-288	3,41	31,75	15,53	31,68	15,11	31,57	14,39
J-289	3,34	31,80	15,50	31,73	15,07	31,61	14,32
J-290	3,41	31,71	15,28	31,63	14,82	31,51	14,02
J-292	3,34	31,78	15,36	31,70	14,90	31,58	14,10
J-293	3,41	31,72	15,38	31,65	14,94	31,53	14,18
J-297	3,41	31,76	15,57	31,69	15,16	31,58	14,46
J-298	3,35	31,98	16,65	31,94	16,39	31,89	16,06
J-299	3,31	31,93	16,13	31,88	15,79	31,79	15,25
J-300	3,34	31,81	15,52	31,73	15,09	31,62	14,35
J-301	3,41	31,73	15,39	31,65	14,95	31,53	14,19
J-302	3,35	31,80	15,54	31,73	15,12	31,62	14,39
J-303	3,41	31,70	15,24	31,62	14,77	31,50	13,96
J-304	3,34	31,78	15,35	31,70	14,89	31,58	14,09
J-305	3,31	31,98	16,42	31,94	16,16	31,87	15,76
J-306	3,31	31,98	16,42	31,94	16,16	31,87	15,76

J-307	3,29	32,00	16,45	31,96	16,20	31,90	15,80
J-308	3,35	31,94	16,38	31,90	16,13	31,84	15,73
J-309	3,35	31,94	16,38	31,90	16,13	31,84	15,73
J-310	3,38	31,91	16,35	31,87	16,10	31,81	15,70
J-311	3,29	32,00	16,45	31,96	16,20	31,90	15,81
J-312	3,31	31,98	16,43	31,94	16,18	31,88	15,79
J-313	3,61	31,69	16,19	31,65	15,95	31,59	15,58
J-314	3,29	32,02	16,54	31,98	16,30	31,92	15,93
J-315	3,61	31,70	16,22	31,66	15,99	31,60	15,62
J-316	3,56	31,79	16,50	31,75	16,30	31,71	16,02
J-317	3,46	31,93	16,87	31,91	16,72	31,88	16,53
J-318	3,29	32,02	16,55	31,98	16,32	31,92	15,96
J-319	3,29	32,02	16,55	31,98	16,32	31,92	15,96
J-320	3,53	31,77	16,23	31,72	15,99	31,66	15,59
J-321	3,26	32,04	16,53	32,00	16,28	31,94	15,90
J-322	3,46	31,92	16,80	31,89	16,63	31,86	16,41
J-325	3,09	32,02	15,56	31,94	15,10	31,82	14,29
J-326	3,40	31,72	15,28	31,64	14,82	31,51	14,02
J-327	3,35	31,76	15,33	31,69	14,87	31,56	14,06
J-328	3,00	32,11	15,66	32,04	15,20	31,91	14,39
J-329	3,40	31,72	15,28	31,64	14,82	31,51	14,02
J-330	3,35	31,77	15,33	31,69	14,87	31,56	14,07
J-331	3,25	31,87	15,45	31,79	14,99	31,67	14,19
J-332	3,25	31,87	15,46	31,79	15,00	31,67	14,21
J-333	3,25	31,87	15,46	31,79	15,00	31,67	14,21
J-334	3,25	31,87	15,45	31,79	14,99	31,67	14,19
J-335	3,40	31,72	15,30	31,64	14,84	31,52	14,05
J-336	3,25	31,87	15,46	31,80	15,01	31,67	14,22
J-337	3,25	32,04	16,47	32,00	16,22	31,93	15,81
J-338	3,40	31,89	16,32	31,85	16,07	31,78	15,66
J-339	3,20	32,09	16,52	32,05	16,27	31,98	15,86
J-340	3,20	32,09	16,52	32,05	16,27	31,98	15,86
J-341	3,20	32,09	16,52	32,05	16,27	31,98	15,86
J-342	3,20	32,09	16,52	32,05	16,27	31,98	15,86
J-343	3,20	32,09	16,52	32,05	16,27	31,98	15,86
J-344	3,52	31,77	16,20	31,73	15,95	31,66	15,55
J-345	3,52	31,77	16,20	31,73	15,95	31,66	15,55
J-346	3,20	32,09	16,52	32,05	16,27	31,98	15,86
J-347	3,10	32,19	16,62	32,15	16,37	32,08	15,96
J-348	3,64	31,65	16,08	31,61	15,83	31,55	15,43
J-349	3,64	31,65	16,08	31,61	15,83	31,55	15,43
J-350	3,10	32,19	16,62	32,15	16,37	32,08	15,96
J-351	3,10	32,19	16,62	32,15	16,37	32,08	15,96
J-352	3,48	31,81	16,24	31,77	15,99	31,70	15,58
J-353	3,48	31,81	16,24	31,77	15,99	31,70	15,58
J-354	3,48	31,81	16,24	31,77	15,99	31,70	15,58
J-355	3,10	32,19	16,62	32,15	16,37	32,08	15,96
J-356	3,10	32,19	16,62	32,15	16,37	32,08	15,96
J-357	3,40	31,89	16,33	31,85	16,08	31,79	15,67
J-358	3,22	32,07	16,51	32,03	16,25	31,96	15,85
J-360	3,48	31,81	16,24	31,77	15,99	31,70	15,58
J-362	3,40	31,89	16,33	31,85	16,08	31,79	15,67
J-363	3,15	32,14	16,58	32,10	16,32	32,03	15,92
J-364	3,12	32,17	16,61	32,13	16,35	32,06	15,95
J-365	3,15	32,14	16,58	32,10	16,32	32,03	15,92
J-366	3,40	31,89	16,33	31,85	16,08	31,79	15,68
J-367	3,40	31,89	16,34	31,85	16,09	31,79	15,69
J-368	3,15	32,14	16,58	32,10	16,33	32,04	15,93
J-369	3,10	32,19	16,63	32,15	16,38	32,08	15,98
J-370	3,15	32,14	16,58	32,10	16,33	32,04	15,93
J-371	3,40	31,89	16,34	31,85	16,09	31,79	15,70

J-372	3,56	31,74	16,22	31,70	15,97	31,64	15,59
J-373	3,19	32,06	16,30	32,00	15,96	31,92	15,43
J-374	2,75	32,50	16,74	32,44	16,40	32,36	15,87
J-375	3,05	32,26	16,80	32,21	16,52	32,15	16,10
J-376	3,20	32,11	16,66	32,06	16,38	32,00	15,97
J-377	3,20	32,20	17,22	32,17	17,03	32,12	16,74
J-378	3,30	32,10	17,13	32,07	16,94	32,03	16,65
J-379	3,30	32,10	17,09	32,07	16,89	32,02	16,60
J-380	3,30	32,10	17,09	32,07	16,89	32,02	16,60
J-381	2,99	32,27	16,59	32,22	16,27	32,14	15,76
J-382	2,86	32,41	16,75	32,35	16,43	32,28	15,93
J-383	3,15	32,18	16,86	32,14	16,61	32,09	16,25
J-384	3,20	32,16	16,95	32,12	16,71	32,07	16,40
J-389	3,08	32,20	16,63	32,15	16,33	32,08	15,87
J-390	3,15	32,15	16,63	32,10	16,34	32,03	15,90
J-394	3,38	31,73	15,23	31,65	14,77	31,52	13,94
J-395	3,71	31,40	14,93	31,32	14,47	31,20	13,65
J-396	3,41	31,70	15,23	31,62	14,77	31,50	13,95
J-397	3,29	32,00	16,45	31,96	16,20	31,90	15,81
J-398	3,29	32,02	16,54	31,98	16,30	31,92	15,93
J-399	3,53	31,76	16,23	31,72	15,98	31,66	15,59
J-400	3,38	31,91	16,35	31,87	16,10	31,81	15,70
J-401	3,71	31,40	14,94	31,32	14,47	31,20	13,66
J-402	3,38	31,74	15,32	31,66	14,86	31,54	14,06
J-404	3,38	31,74	15,33	31,66	14,87	31,54	14,08
J-405	3,41	31,75	15,53	31,68	15,11	31,57	14,39
J-406	3,19	31,91	15,42	31,84	14,96	31,71	14,13
J-408	3,41	31,76	15,57	31,69	15,16	31,58	14,46
J-409	3,35	31,98	16,64	31,94	16,39	31,89	16,06
J-410	3,35	31,94	16,38	31,90	16,13	31,84	15,73
J-411	3,29	32,00	16,45	31,96	16,20	31,90	15,80
J-415	3,34	31,80	15,50	31,73	15,06	31,61	14,31
J-416	3,71	31,71	16,78	31,68	16,63	31,65	16,46
J-417	3,48	31,81	16,24	31,77	15,99	31,70	15,58
J-418	3,61	31,68	16,11	31,64	15,86	31,57	15,46
J-419	3,61	31,68	16,12	31,64	15,86	31,58	15,46
J-420	3,56	31,73	16,16	31,69	15,91	31,62	15,51
J-421	3,46	31,83	16,26	31,79	16,01	31,72	15,61
J-422	3,22	32,07	16,51	32,03	16,25	31,96	15,85
J-423	3,46	31,98	17,16	31,96	17,08	31,95	16,98
J-424	3,35	32,14	17,60	32,13	17,51	32,11	17,40
J-428	3,28	31,97	16,22	31,91	15,89	31,83	15,36
J-430	3,37	32,03	17,05	32,00	16,86	31,95	16,57
J-439	3,10	32,42	18,03	32,42	18,02	32,42	18,02
J-445	3,35	32,12	17,46	32,10	17,33	32,07	17,18
J-446	3,35	32,11	17,43	32,09	17,29	32,06	17,13
J-447	3,35	32,11	17,38	32,08	17,24	32,05	17,06
J-448	3,32	31,78	15,28	31,71	14,81	31,58	13,98
J-464	3,61	31,50	15,07	31,43	14,61	31,30	13,81
J-465	3,15	32,27	17,38	32,25	17,23	32,22	17,05
J-466	3,15	32,25	17,25	32,22	17,06	32,18	16,84
J-467	3,15	32,25	17,26	32,22	17,08	32,19	16,86
J-468	3,15	32,25	17,23	32,21	17,03	32,18	16,81
J-469	3,15	32,24	17,17	32,20	16,96	32,16	16,71
J-470	3,07	32,24	16,78	32,19	16,50	32,13	16,08
J-471	3,21	32,21	17,30	32,18	17,15	32,16	16,97
J-473	3,15	32,29	17,47	32,26	17,32	32,24	17,16
J-474	3,15	32,25	17,25	32,21	17,05	32,17	16,76
J-475	3,70	31,71	16,79	31,69	16,64	31,66	16,47
J-476	3,46	31,98	17,16	31,97	17,08	31,95	16,99
J-478	3,35	32,02	16,85	31,98	16,64	31,94	16,38

J-479	3,35	32,06	17,12	32,04	16,98	32,01	16,81
J-480	3,35	32,02	16,89	31,99	16,69	31,95	16,45
J-481	3,35	32,01	16,83	31,98	16,61	31,94	16,34
J-482	3,35	32,00	16,76	31,96	16,52	31,92	16,24
J-483	3,05	32,20	16,44	32,14	16,10	32,06	15,57
J-484	3,05	32,20	16,44	32,14	16,10	32,06	15,57
J-485	3,26	31,99	16,24	31,93	15,91	31,85	15,37
J-486	3,05	32,06	15,58	31,98	15,12	31,85	14,30
J-487	3,07	32,24	16,78	32,19	16,50	32,13	16,08
J-488	2,86	32,43	16,90	32,38	16,61	32,31	16,16
J-490	2,86	32,43	16,91	32,39	16,62	32,32	16,17
J-491	3,21	32,04	16,32	31,99	15,99	31,91	15,46
J-493	3,22	32,17	17,16	32,14	16,95	32,09	16,65
J-495	3,22	32,18	17,16	32,14	16,96	32,10	16,66
J-499	3,32	31,78	15,28	31,71	14,81	31,58	13,98
J-501	3,61	31,51	15,08	31,43	14,62	31,31	13,82
J-502	3,34	31,80	15,49	31,73	15,06	31,61	14,31
J-503	3,61	31,68	16,12	31,64	15,87	31,58	15,46
J-504	3,61	31,68	16,12	31,64	15,87	31,58	15,47
J-505	3,46	31,94	16,91	31,91	16,77	31,89	16,59
J-506	3,46	31,93	16,89	31,91	16,74	31,88	16,56
J-507	3,46	31,93	16,84	31,90	16,68	31,87	16,48
J-508	3,29	32,13	17,25	32,11	17,13	32,09	17,00
J-509	3,29	32,00	16,46	31,96	16,21	31,90	15,82
J-510	3,10	32,47	18,31	32,47	18,31	32,47	18,31
J-511	3,10	32,46	18,29	32,46	18,29	32,46	18,28
J-514	3,25	35,33	28,69	35,33	28,69	35,33	28,69
J-515	3,71	31,40	14,94	31,32	14,47	31,20	13,66
J-523	3,10	32,43	18,12	32,43	18,11	32,43	18,11
J-527	3,20	32,11	16,64	32,06	16,36	31,99	15,94
J-529	3,11	32,29	17,32	32,26	17,12	32,21	16,84
J-531	3,57	31,72	16,16	31,68	15,90	31,62	15,50
J-534	3,38	31,73	15,28	31,65	14,81	31,52	14,00
J-541	3,26	32,14	17,13	32,11	16,93	32,06	16,64
J-544	3,26	32,14	17,13	32,10	16,93	32,06	16,63

			Material										
			PVC			PE100				PE100 RC			
			Ks=0,0015			Ks=0.0015				Ks=0,003			
ID	Longitud (m)	Ø (mm)	Qmax (L/s)	Qmin (L/s)	Hf (m)	Ø (mm)	Qmax (L/s)	Qmin (L/s)	Hf (m)	Ø (mm)	Qmax (L/s)	Qmin (L/s)	Hf (m)
P-11	77	230,8	-1,45	-3,737	0,001	220,4	-1,16	-2,99	0,001	220,4	-0,94	-2,39	0,001
P-15	75	230,8	-11,121	-27,826	0,040	220,4	-10,83	-27,07	0,049	220,4	-10,61	-26,48	0,058
P-24	88	81,4	0,37	0,168	0,002	79,2	0,37	0,17	0,002	79,2	0,37	0,17	0,003
P-25	66	81,4	-0,225	-0,588	0,004	79,2	-0,22	-0,59	0,005	79,2	-0,23	-0,59	0,006
P-26	89	81,4	-0,336	-0,847	0,013	79,2	-0,34	-0,85	0,015	79,2	-0,34	-0,85	0,019
P-27	66	81,4	1,07	0,426	0,015	79,2	1,07	0,43	0,017	79,2	1,07	0,43	0,022
P-28	72	81,4	-0,28	-0,732	0,008	79,2	-0,28	-0,73	0,009	79,2	-0,28	-0,73	0,011
P-29	89	81,4	0,314	0,144	0,001	79,2	0,31	0,15	0,002	79,2	0,32	0,15	0,002
P-30	66	81,4	0,624	0,247	0,005	79,2	0,62	0,25	0,006	79,2	0,63	0,25	0,008
P-31	96	81,4	0,197	0,086	0,001	79,2	0,20	0,09	0,001	79,2	0,20	0,09	0,001
P-32	77	81,4	-0,07	-0,18	0,001	79,2	-0,07	-0,18	0,001	79,2	-0,07	-0,18	0,001
P-33	150	81,4	0,097	0,024	0,000	79,2	0,10	0,02	0,000	79,2	0,11	0,03	0,000
P-34	78	81,4	0,156	0,057	0,000	79,2	0,16	0,06	0,001	79,2	0,16	0,06	0,001
P-35	151	81,4	-0,015	-0,043	0,000	79,2	-0,02	-0,04	0,000	79,2	-0,02	-0,04	0,000
P-36	141	81,4	-0,005	-0,042	0,000	79,2	-0,01	-0,04	0,000	79,2	-0,01	-0,05	0,000
P-37	55	81,4	-0,188	-0,488	0,002	79,2	-0,19	-0,49	0,002	79,2	-0,18	-0,49	0,003
P-38	143	81,4	-0,026	-0,068	0,000	79,2	-0,03	-0,07	0,000	79,2	-0,03	-0,07	0,000
P-39	56	81,4	0,506	0,199	0,002	79,2	0,51	0,20	0,003	79,2	0,50	0,20	0,003
P-40	42	81,4	-0,372	-0,969	0,007	79,2	-0,37	-0,97	0,008	79,2	-0,37	-0,97	0,010
P-41	143	81,4	0,23	0,12	0,002	79,2	0,23	0,12	0,002	79,2	0,23	0,13	0,002
P-42	42	81,4	0,875	0,337	0,006	79,2	0,87	0,34	0,007	79,2	0,87	0,34	0,009
P-43	143	81,4	-0,037	-0,123	0,001	79,2	-0,04	-0,12	0,001	79,2	-0,04	-0,13	0,001
P-45	79	81,4	0,095	0,039	0,000	79,2	0,09	0,04	0,000	79,2	0,10	0,04	0,000
P-47	70	81,4	-0,164	-0,377	0,001	79,2	-0,17	-0,38	0,002	79,2	-0,17	-0,38	0,002
P-48	70	81,4	-0,244	-0,597	0,006	79,2	-0,24	-0,60	0,006	79,2	-0,25	-0,60	0,008
P-49	82	81,4	-0,295	-0,734	0,009	79,2	-0,30	-0,74	0,011	79,2	-0,30	-0,74	0,014
P-50	69	81,4	1,094	0,436	0,016	79,2	1,09	0,44	0,019	79,2	1,09	0,44	0,024
P-52	66	81,4	-0,438	-1,085	0,016	79,2	-0,44	-1,09	0,018	79,2	-0,44	-1,09	0,023
P-55	105	81,4	0,586	0,233	0,007	79,2	0,59	0,23	0,009	79,2	0,59	0,23	0,011
P-58	67	81,4	1,317	0,53	0,023	79,2	1,32	0,53	0,027	79,2	1,32	0,53	0,034
P-59	51	81,4	1,276	0,512	0,016	79,2	1,28	0,51	0,019	79,2	1,28	0,51	0,024
P-61	86	81,4	-0,328	-0,825	0,012	79,2	-0,33	-0,83	0,014	79,2	-0,33	-0,83	0,017
P-63	41	81,4	1,211	0,486	0,012	79,2	1,22	0,49	0,014	79,2	1,22	0,49	0,018
P-65	77	81,4	1,443	0,578	0,031	79,2	1,45	0,58	0,036	79,2	1,45	0,58	0,046
P-66	66	81,4	-0,41	-1,026	0,014	79,2	-0,41	-1,03	0,016	79,2	-0,41	-1,03	0,020
P-71	70	81,4	0,121	0,041	0,000	79,2	0,12	0,04	0,000	79,2	0,12	0,04	0,000
P-72	148	81,4	-0,082	-0,228	0,001	79,2	-0,08	-0,23	0,001	79,2	-0,09	-0,23	0,001
P-73	75	81,4	-0,102	-0,273	0,001	79,2	-0,10	-0,27	0,001	79,2	-0,10	-0,27	0,001
P-74	147	81,4	0,259	0,101	0,001	79,2	0,26	0,10	0,002	79,2	0,26	0,10	0,002
P-75	73	81,4	0,212	0,071	0,001	79,2	0,21	0,07	0,001	79,2	0,21	0,07	0,001
P-76	147	81,4	-0,102	-0,261	0,001	79,2	-0,10	-0,26	0,002	79,2	-0,11	-0,26	0,002
P-77	68	81,4	-0,003	-0,108	0,000	79,2	0,00	-0,11	0,000	79,2	0,00	-0,10	0,000
P-78	148	81,4	0,27	0,115	0,002	79,2	0,27	0,12	0,002	79,2	0,27	0,12	0,002
P-79	72	81,4	-0,023	-0,037	0,000	79,2	-0,02	-0,04	0,000	79,2	-0,03	-0,05	0,000
P-80	74	81,4	-0,005	-0,016	0,000	79,2	-0,01	-0,02	0,000	79,2	-0,01	-0,02	0,000
P-83	76	81,4	-0,002	-0,05	0,000	79,2	0,00	-0,05	0,000	79,2	0,00	-0,05	0,000
P-84	69	81,4	-0,023	-0,055	0,000	79,2	-0,02	-0,06	0,000	79,2	-0,02	-0,06	0,000
P-85	149	81,4	-0,104	-0,254	0,002	79,2	-0,11	-0,25	0,002	79,2	-0,11	-0,25	0,002
P-87	152	81,4	-0,079	-0,153	0,001	79,2	-0,08	-0,15	0,001	79,2	-0,10	-0,16	0,002
P-88	94	81,4	-0,134	-0,289	0,001	79,2	-0,14	-0,29	0,001	79,2	-0,15	-0,30	0,002
P-89	58	81,4	-0,186	-0,489	0,002	79,2	-0,19	-0,49	0,002	79,2	-0,18	-0,49	0,003
P-90	154	81,4	0,211	0,069	0,001	79,2	0,21	0,07	0,001	79,2	0,21	0,07	0,001
P-91	59	81,4	0,416	0,177	0,002	79,2	0,42	0,18	0,002	79,2	0,42	0,18	0,002
P-92	145	81,4	-0,049	-0,167	0,001	79,2	-0,05	-0,17	0,001	79,2	-0,05	-0,17	0,001
P-93	41	81,4	-0,34	-0,879	0,006	79,2	-0,34	-0,88	0,007	79,2	-0,34	-0,88	0,009
P-95	46	81,4	0,605	0,247	0,004	79,2	0,61	0,25	0,004	79,2	0,61	0,25	0,005
P-96	155	81,4	-0,074	-0,214	0,001	79,2	-0,08	-0,21	0,001	79,2	-0,08	-0,21	0,001
P-97	67	81,4	-0,44	-1,097	0,016	79,2	-0,44	-1,10	0,019	79,2	-0,44	-1,10	0,023
P-98	171	81,4	-0,033	-0,114	0,001	79,2	-0,03	-0,11	0,001	79,2	-0,05	-0,13	0,001

P-99	64	81,4	1,247	0,492	0,019	79,2	1,25	0,49	0,022	79,2	1,24	0,49	0,028
P-100	163	81,4	-0,149	-0,31	0,003	79,2	-0,15	-0,31	0,003	79,2	-0,15	-0,31	0,003
P-101	39	81,4	-0,595	-1,475	0,017	79,2	-0,60	-1,47	0,019	79,2	-0,59	-1,47	0,024
P-102	179	81,4	0,144	0,052	0,001	79,2	0,15	0,05	0,001	79,2	0,14	0,05	0,001
P-103	40	81,4	1,46	0,583	0,017	79,2	1,46	0,58	0,019	79,2	1,46	0,58	0,025
P-104	173	81,4	-0,051	-0,174	0,001	79,2	-0,05	-0,17	0,001	79,2	-0,06	-0,18	0,001
P-105	180	81,4	0,147	0,052	0,001	79,2	0,15	0,05	0,001	79,2	0,15	0,05	0,001
P-106	24	81,4	-0,589	-1,441	0,010	79,2	-0,59	-1,44	0,012	79,2	-0,59	-1,44	0,015
P-108	27	81,4	1,875	0,749	0,018	79,2	1,88	0,75	0,021	79,2	1,87	0,75	0,026
P-109	67	81,4	0,379	0,146	0,001	79,2	0,38	0,15	0,001	79,2	0,37	0,14	0,001
P-113	47	81,4	0,534	0,218	0,003	79,2	0,53	0,22	0,003	79,2	0,53	0,22	0,004
P-115	36	81,4	-0,242	-0,595	0,003	79,2	-0,24	-0,60	0,003	79,2	-0,24	-0,60	0,004
P-116	76	81,4	-0,089	-0,235	0,001	79,2	-0,09	-0,24	0,001	79,2	-0,09	-0,24	0,001
P-118	69	81,4	-0,057	-0,161	0,000	79,2	-0,06	-0,16	0,001	79,2	-0,07	-0,16	0,001
P-120	49	81,4	-0,042	-0,102	0,000	79,2	-0,04	-0,10	0,000	79,2	-0,05	-0,10	0,000
P-121	76	81,4	-0,097	-0,238	0,001	79,2	-0,10	-0,24	0,001	79,2	-0,10	-0,24	0,001
P-122	62	81,4	0,124	0,046	0,000	79,2	0,13	0,05	0,000	79,2	0,13	0,05	0,000
P-123	74	81,4	-0,317	-0,768	0,010	79,2	-0,32	-0,77	0,011	79,2	-0,32	-0,77	0,014
P-124	57	81,4	0,07	0,022	0,000	79,2	0,07	0,02	0,000	79,2	0,07	0,02	0,000
P-125	82	81,4	0,719	0,293	0,009	79,2	0,72	0,29	0,011	79,2	0,72	0,30	0,014
P-126	55	81,4	0,085	0,039	0,000	79,2	0,09	0,04	0,000	79,2	0,08	0,04	0,000
P-127	75	81,4	0,753	0,312	0,010	79,2	0,75	0,31	0,011	79,2	0,75	0,31	0,014
P-128	145	81,4	0,367	0,161	0,003	79,2	0,37	0,16	0,003	79,2	0,37	0,16	0,004
P-129	75	81,4	-0,107	-0,27	0,001	79,2	-0,11	-0,27	0,001	79,2	-0,11	-0,27	0,001
P-130	155	81,4	-0,239	-0,603	0,012	79,2	-0,24	-0,60	0,013	79,2	-0,24	-0,61	0,016
P-131	70	81,4	-0,146	-0,277	0,001	79,2	-0,15	-0,28	0,001	79,2	-0,15	-0,28	0,001
P-132	165	81,4	-0,559	-1,395	0,063	79,2	-0,56	-1,40	0,073	79,2	-0,56	-1,40	0,093
P-133	71	81,4	1,944	0,784	0,051	79,2	1,95	0,79	0,060	79,2	1,95	0,79	0,077
P-134	157	81,4	0,619	0,244	0,012	79,2	0,62	0,24	0,014	79,2	0,62	0,24	0,018
P-135	59	81,4	-0,002	-0,006	0,000	79,2	0,00	-0,01	0,000	79,2	0,00	-0,01	0,000
P-136	71	81,4	-0,573	-1,415	0,028	79,2	-0,57	-1,42	0,033	79,2	-0,57	-1,42	0,042
P-137	58	81,4	1,23	0,493	0,017	79,2	1,23	0,49	0,020	79,2	1,23	0,49	0,025
P-138	62	81,4	0,92	0,374	0,011	79,2	0,92	0,37	0,013	79,2	0,92	0,38	0,016
P-139	56	81,4	1,169	0,468	0,015	79,2	1,17	0,47	0,017	79,2	1,17	0,47	0,022
P-141	58	81,4	0,029	0,012	0,000	79,2	0,03	0,01	0,000	79,2	0,03	0,01	0,000
P-142	69	81,4	-0,659	-1,647	0,036	79,2	-0,66	-1,65	0,042	79,2	-0,66	-1,64	0,052
P-146	72	81,4	-0,697	-1,742	0,042	79,2	-0,70	-1,74	0,048	79,2	-0,69	-1,74	0,061
P-147	87	81,4	0,125	0,026	0,000	79,2	0,13	0,03	0,000	79,2	0,13	0,02	0,000
P-148	78	81,4	0,519	0,213	0,004	79,2	0,52	0,21	0,005	79,2	0,52	0,22	0,006
P-149	79	81,4	0,065	0,021	0,000	79,2	0,07	0,02	0,000	79,2	0,07	0,03	0,000
P-150	89	81,4	-0,21	-0,499	0,005	79,2	-0,21	-0,50	0,005	79,2	-0,21	-0,50	0,006
P-151	45	81,4	0,345	0,138	0,001	79,2	0,35	0,14	0,001	79,2	0,35	0,14	0,001
P-152	76	81,4	-0,008	-0,025	0,000	79,2	-0,01	-0,03	0,000	79,2	-0,01	-0,02	0,000
P-153	41	81,4	-0,152	-0,37	0,001	79,2	-0,15	-0,37	0,001	79,2	-0,15	-0,37	0,001
P-154	80	81,4	0,053	0,016	0,000	79,2	0,05	0,02	0,000	79,2	0,05	0,02	0,000
P-155	41	81,4	0,12	0,048	0,000	79,2	0,12	0,05	0,000	79,2	0,12	0,05	0,000
P-156	73	81,4	-0,006	-0,016	0,000	79,2	-0,01	-0,02	0,000	79,2	-0,01	-0,02	0,000
P-157	43	81,4	-0,051	-0,129	0,000	79,2	-0,05	-0,13	0,000	79,2	-0,05	-0,13	0,000
P-158	76	81,4	0,023	0,01	0,000	79,2	0,02	0,01	0,000	79,2	0,02	0,01	0,000
P-159	43	81,4	0,13	0,052	0,000	79,2	0,13	0,05	0,000	79,2	0,13	0,05	0,000
P-160	77	81,4	-0,011	-0,029	0,000	79,2	-0,01	-0,03	0,000	79,2	-0,01	-0,03	0,000
P-161	46	81,4	-0,056	-0,143	0,000	79,2	-0,06	-0,14	0,000	79,2	-0,06	-0,14	0,000
P-162	76	81,4	0,047	0,018	0,000	79,2	0,05	0,02	0,000	79,2	0,04	0,02	0,000
P-163	42	81,4	0,371	0,153	0,001	79,2	0,37	0,15	0,001	79,2	0,37	0,16	0,001
P-164	78	81,4	-0,017	-0,064	0,000	79,2	-0,02	-0,07	0,000	79,2	-0,01	-0,06	0,000
P-165	35	81,4	-0,175	-0,438	0,001	79,2	-0,18	-0,44	0,001	79,2	-0,17	-0,44	0,001
P-166	80	81,4	0,161	0,043	0,000	79,2	0,16	0,05	0,000	79,2	0,16	0,04	0,000
P-167	79	81,4	0,52	0,214	0,004	79,2	0,52	0,21	0,005	79,2	0,52	0,22	0,006
P-168	79	81,4	-0,088	-0,209	0,001	79,2	-0,09	-0,21	0,001	79,2	-0,10	-0,21	0,001
P-169	68	81,4	-0,326	-0,828	0,009	79,2	-0,33	-0,83	0,011	79,2	-0,33	-0,83	0,013
P-170	83	81,4	0,57	0,236	0,006	79,2	0,57	0,23	0,007	79,2	0,57	0,23	0,008
P-171	46	81,4	0,144	0,058	0,000	79,2	0,14	0,06	0,000	79,2	0,14	0,06	0,000
P-172	54	81,4	-0,005	-0,015	0,000	79,2	-0,01	-0,01	0,000	79,2	-0,01	-0,01	0,000
P-173	45	81,4	-0,06	-0,151	0,000	79,2	-0,06	-0,15	0,000	79,2	-0,06	-0,15	0,000
P-174	54	81,4	0,025	0,008	0,000	79,2	0,03	0,01	0,000	79,2	0,03	0,01	0,000
P-175	32	81,4	0,454	0,179	0,001	79,2	0,45	0,18	0,001	79,2	0,45	0,18	0,001
P-176	53	81,4	-0,006	-0,025	0,000	79,2	-0,01	-0,03	0,000	79,2	-0,01	-0,03	0,000
P-177	30	81,4	-0,185	-0,473	0,001	79,2	-0,19	-0,47	0,001	79,2	-0,18	-0,47	0,001
P-178	54	81,4	0,037	0,015	0,000	79,2	0,04	0,02	0,000	79,2	0,04	0,02	0,000
P-179	67	81,4	0,841	0,331	0,009	79,2	0,84	0,33	0,011	79,2	0,84	0,33	0,013

P-180	55	81,4	-0,033	-0,095	0,000	79,2	-0,03	-0,09	0,000	79,2	-0,04	-0,10	0,000
P-181	61	81,4	-0,344	-0,876	0,009	79,2	-0,35	-0,88	0,011	79,2	-0,34	-0,87	0,013
P-182	56	81,4	0,03	0,012	0,000	79,2	0,03	0,01	0,000	79,2	0,03	0,01	0,000
P-184	106	81,4	0,051	0,014	0,000	79,2	0,05	0,01	0,000	79,2	0,05	0,01	0,000
P-185	92	81,4	0,13	0,05	0,000	79,2	0,13	0,05	0,001	79,2	0,13	0,05	0,001
P-186	104	81,4	-0,003	-0,007	0,000	79,2	0,00	-0,01	0,000	79,2	0,00	0,00	0,000
P-188	100	81,4	0,4	0,185	0,003	79,2	0,40	0,19	0,004	79,2	0,40	0,19	0,005
P-189	79	81,4	0,264	0,131	0,001	79,2	0,26	0,13	0,001	79,2	0,27	0,13	0,001
P-190	104	81,4	-0,014	-0,087	0,000	79,2	-0,01	-0,09	0,000	79,2	-0,01	-0,09	0,000
P-191	98	81,4	0,149	0,04	0,000	79,2	0,15	0,04	0,000	79,2	0,15	0,05	0,001
P-192	100	81,4	-0,147	-0,321	0,002	79,2	-0,15	-0,32	0,002	79,2	-0,15	-0,32	0,002
P-193	86	81,4	0,113	0,027	0,000	79,2	0,11	0,03	0,000	79,2	0,12	0,03	0,000
P-194	103	81,4	0,285	0,094	0,001	79,2	0,29	0,10	0,001	79,2	0,29	0,10	0,001
P-195	84	81,4	-0,04	-0,159	0,000	79,2	-0,04	-0,16	0,000	79,2	-0,05	-0,16	0,000
P-196	72	81,4	-0,197	-0,486	0,003	79,2	-0,20	-0,49	0,003	79,2	-0,19	-0,49	0,004
P-197	83	81,4	0,242	0,107	0,001	79,2	0,24	0,11	0,001	79,2	0,24	0,11	0,001
P-199	82	81,4	-0,111	-0,25	0,001	79,2	-0,11	-0,25	0,001	79,2	-0,11	-0,25	0,001
P-201	87	81,4	0,338	0,135	0,001	79,2	0,34	0,14	0,001	79,2	0,34	0,14	0,001
P-202	76	81,4	0,202	0,08	0,001	79,2	0,20	0,08	0,001	79,2	0,20	0,08	0,001
P-203	87	81,4	-0,019	-0,049	0,000	79,2	-0,02	-0,05	0,000	79,2	-0,02	-0,05	0,000
P-204	100	81,4	-0,057	-0,147	0,001	79,2	-0,06	-0,15	0,001	79,2	-0,06	-0,15	0,001
P-205	94	81,4	0,136	0,05	0,000	79,2	0,14	0,05	0,001	79,2	0,14	0,05	0,001
P-206	82	81,4	0,088	0,035	0,000	79,2	0,09	0,04	0,000	79,2	0,09	0,04	0,000
P-207	62	81,4	-0,038	-0,067	0,000	79,2	-0,04	-0,07	0,000	79,2	-0,04	-0,07	0,000
P-208	99	81,4	-0,058	-0,18	0,001	79,2	-0,06	-0,18	0,001	79,2	-0,06	-0,18	0,001
P-209	47	81,4	0,185	0,065	0,000	79,2	0,19	0,06	0,000	79,2	0,19	0,06	0,000
P-210	95	81,4	0,158	0,055	0,001	79,2	0,16	0,06	0,001	79,2	0,16	0,06	0,001
P-211	57	81,4	0,034	-0,011	0,000	79,2	0,03	-0,01	0,000	79,2	0,04	-0,01	0,000
P-212	79	81,4	0,003	-0,004	0,000	79,2	0,00	0,00	0,000	79,2	0,00	0,00	0,000
P-213	57	81,4	-0,091	-0,212	0,001	79,2	-0,09	-0,21	0,001	79,2	-0,10	-0,21	0,001
P-214	75	81,4	0,194	0,078	0,001	79,2	0,19	0,08	0,001	79,2	0,20	0,08	0,001
P-215	91	81,4	-0,002	-0,012	0,000	79,2	0,00	-0,01	0,000	79,2	0,00	-0,01	0,000
P-216	90	81,4	-0,057	-0,148	0,001	79,2	-0,06	-0,15	0,001	79,2	-0,06	-0,15	0,001
P-217	83	81,4	0,051	0,011	0,000	79,2	0,05	0,01	0,000	79,2	0,06	0,01	0,000
P-218	89	81,4	0,125	0,051	0,000	79,2	0,13	0,05	0,001	79,2	0,13	0,05	0,001
P-219	80	81,4	-0,008	-0,028	0,000	79,2	-0,01	-0,03	0,000	79,2	-0,01	-0,03	0,000
P-220	88	81,4	-0,126	-0,306	0,001	79,2	-0,13	-0,31	0,001	79,2	-0,13	-0,31	0,001
P-221	73	81,4	0,015	-0,001	0,000	79,2	0,02	0,00	0,000	79,2	0,02	0,00	0,000
P-222	82	81,4	0,319	0,141	0,001	79,2	0,32	0,14	0,001	79,2	0,32	0,14	0,001
P-223	76	81,4	0,099	0,034	0,000	79,2	0,10	0,04	0,000	79,2	0,11	0,04	0,000
P-224	106	81,4	-0,17	-0,391	0,002	79,2	-0,17	-0,39	0,003	79,2	-0,17	-0,39	0,003
P-225	74	81,4	0,222	0,063	0,000	79,2	0,22	0,06	0,001	79,2	0,22	0,06	0,001
P-226	103	81,4	0,341	0,153	0,002	79,2	0,34	0,15	0,002	79,2	0,34	0,15	0,002
P-227	74	81,4	-0,121	-0,263	0,001	79,2	-0,12	-0,26	0,001	79,2	-0,13	-0,26	0,001
P-229	68	81,4	0,644	0,266	0,006	79,2	0,64	0,27	0,007	79,2	0,65	0,27	0,009
P-230	72	81,4	0,508	0,202	0,003	79,2	0,51	0,20	0,004	79,2	0,51	0,20	0,004
P-231	63	81,4	-0,295	-0,713	0,007	79,2	-0,29	-0,71	0,008	79,2	-0,30	-0,71	0,010
P-233	55	81,4	1,283	0,523	0,019	79,2	1,28	0,52	0,021	79,2	1,28	0,52	0,027
P-234	70	81,4	0,357	0,156	0,001	79,2	0,36	0,15	0,001	79,2	0,36	0,16	0,002
P-235	104	81,4	-0,06	-0,154	0,001	79,2	-0,06	-0,15	0,001	79,2	-0,06	-0,15	0,001
P-236	34	81,4	-0,046	-0,109	0,000	79,2	-0,05	-0,11	0,000	79,2	-0,05	-0,12	0,000
P-237	116	81,4	0,156	0,064	0,001	79,2	0,16	0,06	0,001	79,2	0,16	0,07	0,001
P-238	55	81,4	0,02	0,01	0,000	79,2	0,02	0,01	0,000	79,2	0,02	0,01	0,000
P-239	37	81,4	-0,241	-0,64	0,003	79,2	-0,24	-0,64	0,003	79,2	-0,23	-0,64	0,004
P-241	18	81,4	-0,177	-0,408	0,001	79,2	-0,18	-0,41	0,001	79,2	-0,18	-0,41	0,001
P-243	84	81,4	0,417	0,176	0,002	79,2	0,42	0,18	0,003	79,2	0,42	0,17	0,003
P-244	99	81,4	-0,186	-0,433	0,003	79,2	-0,18	-0,43	0,004	79,2	-0,18	-0,44	0,004
P-245	41	81,4	0,054	0,045	0,000	79,2	0,05	0,04	0,000	79,2	0,06	0,05	0,000
P-246	91	81,4	0,211	0,098	0,001	79,2	0,21	0,10	0,001	79,2	0,21	0,10	0,001
P-248	88	81,4	1,154	0,468	0,024	79,2	1,15	0,47	0,028	79,2	1,15	0,47	0,035
P-249	70	81,4	0,289	0,127	0,001	79,2	0,29	0,13	0,001	79,2	0,29	0,13	0,001
P-250	89	81,4	-0,349	-0,876	0,014	79,2	-0,35	-0,88	0,016	79,2	-0,35	-0,88	0,020
P-251	88	81,4	0,263	0,105	0,001	79,2	0,26	0,11	0,001	79,2	0,26	0,11	0,001
P-252	75	81,4	-0,023	-0,069	0,000	79,2	-0,02	-0,07	0,000	79,2	-0,02	-0,07	0,000
P-253	90	81,4	-0,143	-0,309	0,001	79,2	-0,14	-0,31	0,002	79,2	-0,14	-0,31	0,002
P-254	75	81,4	0,211	0,083	0,001	79,2	0,21	0,08	0,001	79,2	0,21	0,09	0,001
P-255	89	81,4	0,321	0,147	0,001	79,2	0,32	0,15	0,002	79,2	0,32	0,15	0,002
P-256	67	81,4	-0,041	-0,169	0,000	79,2	-0,04	-0,17	0,000	79,2	-0,04	-0,17	0,000
P-257	90	81,4	-0,217	-0,545	0,005	79,2	-0,22	-0,55	0,006	79,2	-0,22	-0,55	0,007
P-258	65	81,4	0,529	0,222	0,004	79,2	0,53	0,22	0,005	79,2	0,53	0,22	0,006

P-259	52	81,4	-0,2	-0,439	0,002	79,2	-0,20	-0,44	0,003	79,2	-0,20	-0,44	0,003
P-260	88	81,4	0,659	0,251	0,007	79,2	0,66	0,25	0,009	79,2	0,66	0,25	0,010
P-261	52	81,4	0,044	-0,003	0,000	79,2	0,05	0,00	0,000	79,2	0,05	0,00	0,000
P-262	87	81,4	-0,223	-0,566	0,005	79,2	-0,22	-0,57	0,006	79,2	-0,22	-0,57	0,007
P-263	74	81,4	0,578	0,233	0,005	79,2	0,58	0,23	0,006	79,2	0,58	0,24	0,008
P-264	90	81,4	0,403	0,184	0,003	79,2	0,41	0,18	0,003	79,2	0,40	0,18	0,003
P-265	70	81,4	-0,079	-0,199	0,001	79,2	-0,08	-0,20	0,001	79,2	-0,08	-0,20	0,001
P-266	88	81,4	-0,251	-0,66	0,007	79,2	-0,25	-0,66	0,009	79,2	-0,25	-0,66	0,010
P-267	31	81,4	-0,162	-0,34	0,001	79,2	-0,16	-0,34	0,001	79,2	-0,16	-0,34	0,001
P-268	138	81,4	0,18	0,056	0,001	79,2	0,18	0,06	0,001	79,2	0,19	0,06	0,001
P-269	29	81,4	0,563	0,199	0,001	79,2	0,56	0,20	0,001	79,2	0,56	0,19	0,002
P-270	132	81,4	-0,102	-0,243	0,001	79,2	-0,10	-0,24	0,002	79,2	-0,11	-0,24	0,002
P-271	49	81,4	1,109	0,449	0,012	79,2	1,11	0,45	0,014	79,2	1,11	0,45	0,018
P-272	139	81,4	-0,048	-0,15	0,001	79,2	-0,05	-0,15	0,001	79,2	-0,05	-0,16	0,001
P-273	37	81,4	-0,377	-0,939	0,007	79,2	-0,38	-0,94	0,008	79,2	-0,38	-0,94	0,010
P-275	76	81,4	0,308	0,129	0,001	79,2	0,31	0,13	0,001	79,2	0,31	0,13	0,001
P-277	51	81,4	-0,106	-0,324	0,001	79,2	-0,11	-0,32	0,001	79,2	-0,11	-0,32	0,001
P-278	83	81,4	-0,06	-0,186	0,001	79,2	-0,06	-0,19	0,001	79,2	-0,06	-0,19	0,001
P-279	15	81,4	-0,124	-0,321	0,000	79,2	-0,12	-0,32	0,000	79,2	-0,13	-0,33	0,000
P-280	70	81,4	0,257	0,132	0,001	79,2	0,26	0,13	0,001	79,2	0,26	0,13	0,001
P-281	53	81,4	-0,046	-0,186	0,000	79,2	-0,05	-0,18	0,000	79,2	-0,05	-0,19	0,000
P-282	77	81,4	-0,064	-0,184	0,001	79,2	-0,06	-0,18	0,001	79,2	-0,07	-0,19	0,001
P-283	22	81,4	0,154	0,053	0,000	79,2	0,15	0,05	0,000	79,2	0,16	0,05	0,000
P-284	62	81,4	0,018	-0,001	0,000	79,2	0,02	0,00	0,000	79,2	0,02	0,00	0,000
P-285	56	81,4	0,187	0,069	0,000	79,2	0,19	0,07	0,000	79,2	0,19	0,07	0,000
P-287	58	81,4	-0,031	-0,066	0,000	79,2	-0,03	-0,07	0,000	79,2	-0,03	-0,07	0,000
P-288	86	81,4	0,194	0,07	0,001	79,2	0,19	0,07	0,001	79,2	0,19	0,07	0,001
P-289	69	81,4	0,291	0,095	0,001	79,2	0,29	0,10	0,001	79,2	0,29	0,10	0,001
P-290	59	81,4	-0,025	-0,062	0,000	79,2	-0,03	-0,06	0,000	79,2	-0,02	-0,06	0,000
P-291	72	81,4	-0,211	-0,557	0,004	79,2	-0,21	-0,56	0,004	79,2	-0,21	-0,56	0,005
P-293	73	81,4	0,556	0,212	0,004	79,2	0,56	0,21	0,004	79,2	0,56	0,21	0,005
P-295	67	81,4	-0,308	-0,807	0,008	79,2	-0,31	-0,81	0,010	79,2	-0,30	-0,80	0,011
P-296	61	81,4	0,368	0,163	0,001	79,2	0,37	0,16	0,002	79,2	0,37	0,16	0,002
P-297	68	81,4	0,712	0,281	0,007	79,2	0,71	0,28	0,008	79,2	0,71	0,28	0,010
P-298	68	81,4	-0,701	-1,732	0,040	79,2	-0,70	-1,73	0,046	79,2	-0,70	-1,73	0,059
P-299	63	81,4	1,135	0,456	0,016	79,2	1,14	0,46	0,019	79,2	1,13	0,46	0,024
P-300	67	81,4	1,412	0,56	0,025	79,2	1,41	0,56	0,029	79,2	1,41	0,56	0,037
P-301	62	81,4	-0,183	-0,433	0,002	79,2	-0,18	-0,43	0,002	79,2	-0,18	-0,43	0,003
P-303	64	81,4	-0,455	-1,139	0,016	79,2	-0,46	-1,14	0,019	79,2	-0,46	-1,14	0,024
P-307	59	81,4	2,899	1,161	0,093	79,2	2,90	1,16	0,107	79,2	2,90	1,16	0,139
P-308	68	81,4	2,763	1,107	0,096	79,2	2,76	1,11	0,111	79,2	2,77	1,11	0,144
P-309	63	81,4	-0,521	-1,298	0,021	79,2	-0,52	-1,30	0,024	79,2	-0,52	-1,30	0,031
P-314	67	81,4	-0,288	-0,753	0,007	79,2	-0,29	-0,75	0,009	79,2	-0,29	-0,75	0,010
P-316	75	81,4	0,097	0,039	0,000	79,2	0,10	0,04	0,000	79,2	0,10	0,05	0,000
P-317	58	81,4	-0,182	-0,44	0,002	79,2	-0,18	-0,44	0,002	79,2	-0,18	-0,44	0,002
P-318	75	81,4	0,306	0,124	0,001	79,2	0,31	0,13	0,001	79,2	0,31	0,13	0,001
P-319	59	81,4	0,234	0,093	0,001	79,2	0,23	0,10	0,001	79,2	0,24	0,11	0,001
P-323	61	81,4	-0,05	-0,069	0,000	79,2	-0,05	-0,07	0,000	79,2	-0,06	-0,08	0,000
P-324	71	81,4	-0,345	-0,845	0,011	79,2	-0,35	-0,85	0,013	79,2	-0,35	-0,85	0,016
P-325	59	81,4	-0,222	-0,573	0,004	79,2	-0,22	-0,57	0,004	79,2	-0,22	-0,57	0,005
P-327	56	81,4	-0,757	-1,899	0,038	79,2	-0,76	-1,90	0,044	79,2	-0,76	-1,90	0,057
P-328	58	81,4	-0,812	-2,035	0,045	79,2	-0,81	-2,04	0,052	79,2	-0,81	-2,04	0,067
P-329	57	81,4	2,758	1,11	0,082	79,2	2,76	1,11	0,095	79,2	2,76	1,11	0,122
P-330	73	81,4	0,331	0,153	0,001	79,2	0,33	0,15	0,001	79,2	0,33	0,15	0,002
P-331	86	81,4	0,897	0,354	0,014	79,2	0,90	0,35	0,016	79,2	0,90	0,35	0,020
P-332	50	81,4	-0,245	-0,617	0,004	79,2	-0,24	-0,62	0,005	79,2	-0,24	-0,62	0,006
P-333	88	81,4	-0,874	-2,178	0,079	79,2	-0,87	-2,18	0,091	79,2	-0,87	-2,18	0,117
P-334	56	81,4	2,555	1,028	0,069	79,2	2,56	1,03	0,080	79,2	2,56	1,03	0,103
P-335	110	81,4	-0,194	-0,446	0,004	79,2	-0,19	-0,45	0,005	79,2	-0,20	-0,45	0,006
P-336	87	81,4	0,125	0,05	0,000	79,2	0,13	0,05	0,001	79,2	0,13	0,05	0,001
P-337	68	81,4	0,449	0,2	0,003	79,2	0,45	0,20	0,003	79,2	0,46	0,21	0,005
P-338	72	81,4	0,313	0,145	0,001	79,2	0,31	0,15	0,001	79,2	0,32	0,15	0,001
P-339	89	81,4	0,115	0,047	0,000	79,2	0,12	0,05	0,000	79,2	0,12	0,05	0,001
P-340	62	81,4	-0,211	-0,481	0,003	79,2	-0,21	-0,48	0,004	79,2	-0,21	-0,48	0,005
P-341	90	81,4	-0,12	-0,276	0,001	79,2	-0,12	-0,28	0,001	79,2	-0,12	-0,28	0,001
P-342	62	81,4	0,583	0,223	0,004	79,2	0,58	0,22	0,004	79,2	0,58	0,22	0,005
P-343	88	81,4	0,281	0,122	0,001	79,2	0,28	0,12	0,001	79,2	0,28	0,12	0,001
P-344	65	81,4	-0,079	-0,196	0,001	79,2	-0,08	-0,20	0,001	79,2	-0,08	-0,20	0,001
P-345	91	81,4	-0,134	-0,332	0,001	79,2	-0,13	-0,33	0,001	79,2	-0,13	-0,33	0,001
P-346	68	81,4	0,261	0,098	0,001	79,2	0,26	0,10	0,001	79,2	0,26	0,10	0,001

P-347	88	81,4	0,111	0,042	0,000	79,2	0,11	0,04	0,000	79,2	0,12	0,04	0,000
P-348	73	81,4	-0,011	-0,026	0,000	79,2	-0,01	-0,03	0,000	79,2	-0,01	-0,02	0,000
P-349	89	81,4	-0,05	-0,132	0,000	79,2	-0,05	-0,13	0,001	79,2	-0,05	-0,14	0,001
P-350	75	81,4	0,051	0,023	0,000	79,2	0,05	0,02	0,000	79,2	0,05	0,02	0,000
P-351	87	81,4	0,136	0,053	0,000	79,2	0,14	0,05	0,001	79,2	0,14	0,05	0,001
P-352	66	81,4	-0,016	-0,039	0,000	79,2	-0,02	-0,04	0,000	79,2	-0,01	-0,04	0,000
P-353	88	81,4	-0,067	-0,165	0,001	79,2	-0,07	-0,16	0,001	79,2	-0,07	-0,16	0,001
P-354	66	81,4	0,135	0,038	0,000	79,2	0,14	0,04	0,000	79,2	0,14	0,04	0,000
P-355	88	81,4	0,165	0,068	0,001	79,2	0,17	0,07	0,001	79,2	0,16	0,07	0,001
P-356	51	81,4	0,028	0,009	0,000	79,2	0,03	0,01	0,000	79,2	0,04	0,01	0,000
P-357	90	81,4	-0,069	-0,171	0,001	79,2	-0,07	-0,17	0,001	79,2	-0,07	-0,17	0,001
P-358	52	81,4	0,022	-0,004	0,000	79,2	0,02	0,00	0,000	79,2	0,02	-0,01	0,000
P-359	89	81,4	0,172	0,071	0,001	79,2	0,17	0,07	0,001	79,2	0,17	0,07	0,001
P-360	68	81,4	0,097	0,041	0,000	79,2	0,10	0,04	0,000	79,2	0,10	0,04	0,000
P-361	89	81,4	-0,045	-0,116	0,000	79,2	-0,05	-0,12	0,000	79,2	-0,05	-0,12	0,000
P-362	72	81,4	-0,069	-0,177	0,001	79,2	-0,07	-0,18	0,001	79,2	-0,07	-0,18	0,001
P-363	29	81,4	-0,044	-0,09	0,000	79,2	-0,04	-0,09	0,000	79,2	-0,04	-0,09	0,000
P-364	88	81,4	0,109	0,044	0,000	79,2	0,11	0,04	0,000	79,2	0,11	0,04	0,000
P-365	14	81,4	0,05	0,022	0,000	79,2	0,05	0,02	0,000	79,2	0,05	0,02	0,000
P-366	89	81,4	-0,031	-0,087	0,000	79,2	-0,03	-0,09	0,000	79,2	-0,03	-0,09	0,000
P-367	48	81,4	0,207	0,085	0,000	79,2	0,21	0,09	0,000	79,2	0,21	0,09	0,000
P-370	224	81,4	-0,063	-0,189	0,001	79,2	-0,06	-0,19	0,002	79,2	-0,07	-0,19	0,002
P-372	116	81,4	0,068	0,021	0,000	79,2	0,07	0,02	0,000	79,2	0,07	0,02	0,000
P-373	46	81,4	0,168	0,047	0,000	79,2	0,17	0,05	0,000	79,2	0,18	0,05	0,000
P-375	114	81,4	-0,026	-0,14	0,000	79,2	-0,03	-0,14	0,000	79,2	-0,03	-0,15	0,000
P-376	28	81,4	-0,198	-0,547	0,001	79,2	-0,20	-0,55	0,001	79,2	-0,19	-0,55	0,001
P-377	113	81,4	0,257	0,106	0,001	79,2	0,26	0,11	0,001	79,2	0,26	0,12	0,001
P-378	28	81,4	0,233	0,108	0,000	79,2	0,23	0,11	0,000	79,2	0,24	0,12	0,000
P-379	62	81,4	-0,038	-0,062	0,000	79,2	-0,04	-0,06	0,000	79,2	-0,05	-0,07	0,000
P-380	111	81,4	-0,15	-0,31	0,002	79,2	-0,15	-0,31	0,002	79,2	-0,15	-0,31	0,002
P-381	49	81,4	-0,317	-0,784	0,006	79,2	-0,32	-0,78	0,007	79,2	-0,32	-0,78	0,009
P-382	109	81,4	0,615	0,242	0,008	79,2	0,61	0,24	0,010	79,2	0,61	0,24	0,012
P-383	137	81,4	-0,014	-0,041	0,000	79,2	-0,01	-0,04	0,000	79,2	-0,01	-0,04	0,000
P-386	139	81,4	0,051	0,021	0,000	79,2	0,05	0,02	0,000	79,2	0,05	0,02	0,000
P-387	79	81,4	-0,049	-0,115	0,000	79,2	-0,05	-0,12	0,000	79,2	-0,05	-0,12	0,000
P-389	145	81,4	-0,258	-0,672	0,013	79,2	-0,26	-0,67	0,015	79,2	-0,26	-0,68	0,019
P-390	142	81,4	1,587	0,636	0,069	79,2	1,58	0,63	0,079	79,2	1,58	0,64	0,101
P-392	67	81,4	-0,161	-0,402	0,001	79,2	-0,16	-0,40	0,002	79,2	-0,17	-0,41	0,002
P-393	139	81,4	-0,112	-0,297	0,002	79,2	-0,12	-0,30	0,002	79,2	-0,12	-0,30	0,002
P-396	142	81,4	0,351	0,156	0,003	79,2	0,35	0,16	0,003	79,2	0,35	0,15	0,003
P-397	71	81,4	-0,089	-0,233	0,001	79,2	-0,09	-0,23	0,001	79,2	-0,09	-0,23	0,001
P-399	66	81,4	-0,073	-0,174	0,001	79,2	-0,07	-0,17	0,001	79,2	-0,08	-0,18	0,001
P-400	67	81,4	0,341	0,155	0,001	79,2	0,34	0,15	0,001	79,2	0,34	0,15	0,001
P-402	69	81,4	-0,025	-0,059	0,000	79,2	-0,02	-0,06	0,000	79,2	-0,02	-0,06	0,000
P-404	67	81,4	0,544	0,214	0,004	79,2	0,55	0,21	0,004	79,2	0,55	0,21	0,005
P-405	57	81,4	0,731	0,302	0,007	79,2	0,73	0,30	0,008	79,2	0,74	0,31	0,010
P-407	70	81,4	-0,244	-0,596	0,006	79,2	-0,24	-0,60	0,006	79,2	-0,25	-0,60	0,008
P-408	96	81,4	-0,48	-1,2	0,027	79,2	-0,48	-1,20	0,032	79,2	-0,48	-1,20	0,040
P-410	138	81,4	-0,464	-1,162	0,037	79,2	-0,47	-1,17	0,043	79,2	-0,47	-1,17	0,054
P-412	77	81,4	-0,497	-1,241	0,023	79,2	-0,50	-1,25	0,027	79,2	-0,50	-1,25	0,034
P-415	30	81,4	-0,311	-0,783	0,004	79,2	-0,31	-0,78	0,004	79,2	-0,31	-0,79	0,006
P-418	89	81,4	-0,25	-0,636	0,007	79,2	-0,25	-0,64	0,009	79,2	-0,25	-0,64	0,011
P-419	87	81,4	-0,325	-0,815	0,012	79,2	-0,33	-0,82	0,014	79,2	-0,33	-0,82	0,017
P-428	9	81,4	0,188	0,076	0,000	79,2	0,19	0,08	0,000	79,2	0,19	0,08	0,000
P-429	6	81,4	1,116	0,445	0,001	79,2	1,12	0,45	0,002	79,2	1,12	0,45	0,002
P-430	7	81,4	0,891	0,353	0,001	79,2	0,89	0,36	0,001	79,2	0,89	0,36	0,002
P-431	24	81,4	0,087	0,04	0,000	79,2	0,09	0,04	0,000	79,2	0,09	0,04	0,000
P-432	72	81,4	-0,211	-0,558	0,004	79,2	-0,21	-0,56	0,004	79,2	-0,21	-0,56	0,005
P-433	87	81,4	-0,047	-0,132	0,000	79,2	-0,05	-0,13	0,000	79,2	-0,05	-0,14	0,001
P-434	27	81,4	0,767	0,291	0,003	79,2	0,77	0,30	0,004	79,2	0,77	0,29	0,004
P-435	62	81,4	-0,434	-1,076	0,015	79,2	-0,44	-1,08	0,017	79,2	-0,44	-1,08	0,021
P-436	88	81,4	0,8	0,315	0,011	79,2	0,80	0,31	0,013	79,2	0,80	0,32	0,016
P-437	65	81,4	0,567	0,233	0,005	79,2	0,57	0,23	0,005	79,2	0,57	0,23	0,007
P-438	88	81,4	-0,137	-0,272	0,001	79,2	-0,14	-0,27	0,001	79,2	-0,14	-0,27	0,002
P-440	87	81,4	-0,019	-0,031	0,000	79,2	-0,02	-0,03	0,000	79,2	-0,02	-0,03	0,000
P-441	87	81,4	-0,087	-0,233	0,001	79,2	-0,09	-0,23	0,001	79,2	-0,09	-0,23	0,001
P-443	67	81,4	-0,308	-0,807	0,008	79,2	-0,31	-0,81	0,010	79,2	-0,30	-0,80	0,011
P-445	85	81,4	0,272	0,132	0,001	79,2	0,27	0,13	0,001	79,2	0,28	0,14	0,001
P-446	88	81,4	-0,477	-1,197	0,025	79,2	-0,48	-1,20	0,028	79,2	-0,48	-1,20	0,036
P-448	68	81,4	-0,701	-1,732	0,040	79,2	-0,70	-1,73	0,046	79,2	-0,70	-1,73	0,059

P-449	6	81,4	0,586	0,214	0,000	79,2	0,59	0,22	0,000	79,2	0,59	0,21	0,001
P-450	5	81,4	0,006	-0,009	0,000	79,2	0,01	-0,01	0,000	79,2	0,00	-0,01	0,000
P-451	9	81,4	-0,311	-0,714	0,001	79,2	-0,31	-0,72	0,001	79,2	-0,31	-0,72	0,002
P-452	6	81,4	0,341	0,146	0,000	79,2	0,34	0,15	0,000	79,2	0,34	0,15	0,000
P-453	7	81,4	0,46	0,204	0,000	79,2	0,46	0,20	0,000	79,2	0,46	0,21	0,000
P-454	8	81,4	-0,287	-0,623	0,001	79,2	-0,29	-0,62	0,001	79,2	-0,29	-0,63	0,001
P-455	5	81,4	-0,215	-0,523	0,000	79,2	-0,21	-0,52	0,000	79,2	-0,22	-0,53	0,000
P-456	5	81,4	-0,161	-0,421	0,000	79,2	-0,16	-0,42	0,000	79,2	-0,16	-0,42	0,000
P-458	4	81,4	-0,025	-0,086	0,000	79,2	-0,03	-0,09	0,000	79,2	-0,02	-0,09	0,000
P-459	5	81,4	0,452	0,18	0,000	79,2	0,45	0,18	0,000	79,2	0,45	0,18	0,000
P-460	4	81,4	0,63	0,244	0,000	79,2	0,63	0,24	0,000	79,2	0,63	0,24	0,000
P-461	4	81,4	0,293	0,107	0,000	79,2	0,29	0,11	0,000	79,2	0,29	0,10	0,000
P-462	8	81,4	-0,132	-0,344	0,000	79,2	-0,13	-0,34	0,000	79,2	-0,13	-0,34	0,000
P-463	5	81,4	-0,381	-0,948	0,001	79,2	-0,38	-0,95	0,001	79,2	-0,38	-0,95	0,001
P-464	5	81,4	-0,404	-1,014	0,001	79,2	-0,40	-1,01	0,001	79,2	-0,40	-1,01	0,002
P-466	4	81,4	-0,16	-0,367	0,000	79,2	-0,16	-0,37	0,000	79,2	-0,16	-0,37	0,000
P-468	13	81,4	0,085	0,034	0,000	79,2	0,09	0,03	0,000	79,2	0,08	0,03	0,000
P-469	80	81,4	-0,06	-0,187	0,001	79,2	-0,06	-0,19	0,001	79,2	-0,06	-0,19	0,001
P-470	5	81,4	0,136	0,04	0,000	79,2	0,14	0,04	0,000	79,2	0,14	0,04	0,000
P-471	6	81,4	0,306	0,125	0,000	79,2	0,31	0,13	0,000	79,2	0,31	0,13	0,000
P-472	5	81,4	-0,205	-0,461	0,000	79,2	-0,20	-0,46	0,000	79,2	-0,21	-0,46	0,000
P-473	6	81,4	0,154	0,05	0,000	79,2	0,16	0,05	0,000	79,2	0,16	0,05	0,000
P-474	3	81,4	-0,001	-0,015	0,000	79,2	0,00	-0,01	0,000	79,2	0,01	-0,01	0,000
P-475	7	81,4	0,062	0,025	0,000	79,2	0,07	0,03	0,000	79,2	0,07	0,03	0,000
P-477	3	81,4	-0,008	-0,049	0,000	79,2	-0,01	-0,05	0,000	79,2	-0,01	-0,05	0,000
P-478	5	81,4	0,061	0,032	0,000	79,2	0,06	0,03	0,000	79,2	0,06	0,03	0,000
P-479	4	81,4	-0,039	-0,13	0,000	79,2	-0,04	-0,13	0,000	79,2	-0,04	-0,13	0,000
P-480	5	81,4	-0,03	-0,145	0,000	79,2	-0,03	-0,15	0,000	79,2	-0,03	-0,15	0,000
P-481	4	81,4	0,093	0,045	0,000	79,2	0,09	0,05	0,000	79,2	0,09	0,05	0,000
P-482	11	81,4	0,235	0,08	0,000	79,2	0,23	0,08	0,000	79,2	0,24	0,08	0,000
P-483	6	81,4	0,115	0,04	0,000	79,2	0,12	0,04	0,000	79,2	0,12	0,04	0,000
P-485	61	81,4	0,045	0,017	0,000	79,2	0,04	0,02	0,000	79,2	0,05	0,02	0,000
P-487	7	81,4	-0,167	-0,459	0,000	79,2	-0,17	-0,46	0,000	79,2	-0,17	-0,46	0,000
P-488	6	81,4	-0,182	-0,482	0,000	79,2	-0,18	-0,48	0,000	79,2	-0,18	-0,48	0,000
P-489	4	81,4	0,024	0,012	0,000	79,2	0,02	0,01	0,000	79,2	0,02	0,01	0,000
P-490	5	81,4	-0,486	-1,239	0,002	79,2	-0,49	-1,24	0,002	79,2	-0,48	-1,24	0,002
P-491	5	81,4	-0,49	-1,248	0,002	79,2	-0,49	-1,25	0,002	79,2	-0,49	-1,24	0,002
P-492	5	81,4	-0,381	-0,953	0,001	79,2	-0,38	-0,95	0,001	79,2	-0,38	-0,95	0,001
P-493	5	81,4	-0,712	-1,788	0,003	79,2	-0,71	-1,79	0,003	79,2	-0,71	-1,79	0,004
P-497	88	81,4	1,339	0,535	0,031	79,2	1,34	0,53	0,035	79,2	1,34	0,54	0,045
P-498	87	81,4	-1,349	-3,365	0,183	79,2	-1,35	-3,37	0,211	79,2	-1,35	-3,37	0,275
P-502	86	81,4	0,108	0,046	0,000	79,2	0,11	0,05	0,000	79,2	0,11	0,05	0,000
P-503	88	81,4	-0,082	-0,234	0,001	79,2	-0,08	-0,23	0,001	79,2	-0,08	-0,23	0,001
P-505	75	81,4	-0,125	-0,307	0,001	79,2	-0,13	-0,31	0,001	79,2	-0,13	-0,31	0,001
P-506	4	81,4	-1,267	-3,142	0,007	79,2	-1,27	-3,14	0,009	79,2	-1,27	-3,14	0,011
P-508	4	81,4	-0,31	-0,783	0,001	79,2	-0,31	-0,78	0,001	79,2	-0,31	-0,79	0,001
P-509	4	81,4	-0,764	-1,902	0,003	79,2	-0,76	-1,90	0,003	79,2	-0,76	-1,90	0,004
P-510	9	81,4	0,409	0,162	0,000	79,2	0,41	0,16	0,000	79,2	0,41	0,16	0,000
P-512	8	81,4	0,179	0,079	0,000	79,2	0,18	0,08	0,000	79,2	0,18	0,08	0,000
P-513	8	81,4	0,21	0,094	0,000	79,2	0,21	0,09	0,000	79,2	0,21	0,09	0,000
P-514	10	81,4	0	0	0,000	79,2	0,00	0,00	0,000	79,2	0,00	0,00	0,000
P-515	5	81,4	-0,135	-0,337	0,000	79,2	-0,14	-0,34	0,000	79,2	-0,14	-0,33	0,000
P-516	8	81,4	-0,09	-0,215	0,000	79,2	-0,09	-0,22	0,000	79,2	-0,09	-0,22	0,000
P-518	3	81,4	-0,121	-0,308	0,000	79,2	-0,12	-0,31	0,000	79,2	-0,13	-0,31	0,000
P-519	9	81,4	-0,138	-0,316	0,000	79,2	-0,14	-0,32	0,000	79,2	-0,14	-0,32	0,000
P-521	8	81,4	0,392	0,158	0,000	79,2	0,39	0,16	0,000	79,2	0,39	0,16	0,000
P-522	5	81,4	0,388	0,178	0,000	79,2	0,39	0,18	0,000	79,2	0,39	0,18	0,000
P-523	12	81,4	0,334	0,132	0,000	79,2	0,33	0,13	0,000	79,2	0,34	0,14	0,000
P-524	5	81,4	-0,193	-0,438	0,000	79,2	-0,19	-0,44	0,000	79,2	-0,19	-0,44	0,000
P-525	7	81,4	-0,191	-0,472	0,000	79,2	-0,19	-0,47	0,000	79,2	-0,19	-0,47	0,000
P-530	5	81,4	2,927	1,177	0,007	79,2	2,93	1,18	0,009	79,2	2,92	1,17	0,011
P-531	7	81,4	-0,15	-0,412	0,000	79,2	-0,15	-0,41	0,000	79,2	-0,15	-0,42	0,000
P-532	4	81,4	-0,176	-0,409	0,000	79,2	-0,18	-0,41	0,000	79,2	-0,18	-0,41	0,000
P-533	5	81,4	-0,262	-0,653	0,001	79,2	-0,26	-0,65	0,001	79,2	-0,26	-0,65	0,001
P-536	5	81,4	0,006	-0,046	0,000	79,2	0,00	-0,05	0,000	79,2	0,00	-0,05	0,000
P-537	6	81,4	-0,015	-0,034	0,000	79,2	-0,02	-0,03	0,000	79,2	-0,01	-0,03	0,000
P-539	4	81,4	-0,205	-0,509	0,000	79,2	-0,22	-0,54	0,000	79,2	-0,21	-0,53	0,000
P-540	6	81,4	0,648	0,249	0,001	79,2	0,65	0,25	0,001	79,2	0,65	0,25	0,001
P-541	6	81,4	0	0	0,000	79,2	0,00	0,00	0,000	79,2	0,00	0,00	0,000
P-543	10	81,4	0	0	0,000	79,2	0,00	0,00	0,000	79,2	0,00	0,00	0,000

P-544	7	81,4	0,729	0,286	0,001	79,2	0,73	0,29	0,001	79,2	0,73	0,28	0,001
P-545	11	81,4	-0,03	-0,103	0,000	79,2	-0,03	-0,10	0,000	79,2	-0,03	-0,10	0,000
P-546	6	81,4	-0,177	-0,448	0,000	79,2	-0,18	-0,45	0,000	79,2	-0,18	-0,45	0,000
P-547	4	81,4	0,063	0,019	0,000	79,2	0,06	0,02	0,000	79,2	0,06	0,02	0,000
P-548	8	81,4	-0,109	-0,251	0,000	79,2	-0,11	-0,25	0,000	79,2	-0,11	-0,25	0,000
P-549	4	81,4	-0,217	-0,534	0,000	79,2	-0,22	-0,53	0,000	79,2	-0,22	-0,53	0,000
P-550	5	81,4	-0,28	-0,71	0,001	79,2	-0,28	-0,71	0,001	79,2	-0,28	-0,70	0,001
P-551	4	81,4	-0,546	-1,335	0,001	79,2	-0,55	-1,33	0,002	79,2	-0,55	-1,34	0,002
P-552	6	81,4	-0,786	-1,964	0,005	79,2	-0,79	-1,97	0,005	79,2	-0,79	-1,97	0,007
P-553	6	81,4	-0,835	-2,09	0,005	79,2	-0,84	-2,09	0,005	79,2	-0,84	-2,10	0,007
P-554	4	81,4	0	0	0,000	79,2	0,00	0,00	0,000	79,2	0,00	0,00	0,000
P-555	10	81,4	-0,099	-0,303	0,000	79,2	-0,10	-0,30	0,000	79,2	-0,10	-0,30	0,000
P-556	5	81,4	-0,024	-0,088	0,000	79,2	-0,02	-0,09	0,000	79,2	-0,02	-0,08	0,000
P-557	5	81,4	0,171	0,084	0,000	79,2	0,17	0,09	0,000	79,2	0,18	0,10	0,000
P-566	5	81,4	-0,288	-0,749	0,001	79,2	-0,29	-0,75	0,001	79,2	-0,28	-0,75	0,001
P-567	6	81,4	0,971	0,378	0,001	79,2	0,97	0,38	0,001	79,2	0,97	0,38	0,002
P-569	7	81,4	0,79	0,312	0,001	79,2	0,79	0,31	0,001	79,2	0,79	0,31	0,001
P-571	28	81,4	1,419	0,577	0,011	79,2	1,42	0,58	0,013	79,2	1,42	0,58	0,016
P-572	5	81,4	-0,861	-2,137	0,004	79,2	-0,86	-2,14	0,005	79,2	-0,86	-2,14	0,006
P-574	58	230,8	-1,45	-3,737	0,001	220,4	-1,16	-2,99	0,001	220,4	-0,94	-2,39	0,000
P-575	3	101,6	0	0	0,000	96,8	0,00	0,00	0,000	96,8	0,00	0,00	0,000
P-576	8	81,4	0	0	0,000	79,2	0,00	0,00	0,000	79,2	0,00	0,00	0,000
P-577	9	81,4	-0,073	-0,196	0,000	79,2	-0,07	-0,20	0,000	79,2	-0,08	-0,20	0,000
P-581	33	81,4	0,097	0,043	0,000	79,2	0,10	0,04	0,000	79,2	0,10	0,04	0,000
P-582	214	81,4	-0,052	-0,173	0,001	79,2	-0,05	-0,17	0,001	79,2	-0,06	-0,18	0,001
P-583	8	81,4	-0,041	-0,134	0,000	79,2	-0,04	-0,13	0,000	79,2	-0,04	-0,14	0,000
P-585	5	81,4	0,289	0,12	0,000	79,2	0,29	0,12	0,000	79,2	0,29	0,12	0,000
P-586	7	81,4	-0,273	-0,655	0,001	79,2	-0,27	-0,65	0,001	79,2	-0,28	-0,66	0,001
P-587	5	81,4	0,067	0,023	0,000	79,2	0,07	0,02	0,000	79,2	0,07	0,03	0,000
P-588	7	81,4	0,039	0,016	0,000	79,2	0,04	0,02	0,000	79,2	0,04	0,02	0,000
P-589	5	81,4	0,24	0,108	0,000	79,2	0,24	0,11	0,000	79,2	0,24	0,11	0,000
P-590	7	81,4	0,18	0,067	0,000	79,2	0,18	0,07	0,000	79,2	0,18	0,07	0,000
P-591	5	81,4	-0,314	-0,775	0,001	79,2	-0,32	-0,78	0,001	79,2	-0,32	-0,78	0,001
P-592	4	81,4	-0,757	-1,911	0,003	79,2	-0,76	-1,91	0,003	79,2	-0,76	-1,91	0,004
P-593	3	81,4	4,869	1,957	0,013	79,2	4,87	1,96	0,015	79,2	4,87	1,96	0,019
P-594	5	81,4	-0,856	-2,094	0,005	79,2	-0,86	-2,10	0,006	79,2	-0,86	-2,09	0,007
P-595	7	81,4	-0,14	-0,371	0,000	79,2	-0,14	-0,37	0,000	79,2	-0,14	-0,37	0,000
P-596	6	81,4	0,401	0,167	0,000	79,2	0,40	0,17	0,000	79,2	0,41	0,17	0,000
P-597	8	81,4	0,037	0,016	0,000	79,2	0,04	0,02	0,000	79,2	0,04	0,02	0,000
P-598	5	81,4	-0,039	-0,089	0,000	79,2	-0,04	-0,09	0,000	79,2	-0,04	-0,09	0,000
P-599	5	81,4	-0,021	-0,035	0,000	79,2	-0,02	-0,04	0,000	79,2	-0,02	-0,04	0,000
P-600	36	81,4	-0,128	-0,246	0,000	79,2	-0,13	-0,25	0,001	79,2	-0,13	-0,24	0,001
P-602	47	81,4	0,054	0,007	0,000	79,2	0,05	0,01	0,000	79,2	0,05	0,01	0,000
P-603	76	81,4	-0,005	-0,009	0,000	79,2	-0,01	-0,01	0,000	79,2	-0,01	-0,01	0,000
P-604	8	81,4	-0,09	-0,231	0,000	79,2	-0,09	-0,23	0,000	79,2	-0,09	-0,23	0,000
P-605	5	81,4	-0,009	-0,095	0,000	79,2	-0,01	-0,09	0,000	79,2	-0,01	-0,10	0,000
P-606	5	81,4	-0,066	-0,1	0,000	79,2	-0,07	-0,10	0,000	79,2	-0,07	-0,10	0,000
P-607	46	81,4	0,206	0,083	0,000	79,2	0,21	0,08	0,000	79,2	0,20	0,08	0,000
P-608	117	81,4	0,008	-0,032	0,000	79,2	0,01	-0,03	0,000	79,2	0,00	-0,04	0,000
P-609	15	81,4	-0,021	-0,101	0,000	79,2	-0,02	-0,10	0,000	79,2	-0,03	-0,11	0,000
P-610	14	81,4	1,535	0,614	0,006	79,2	1,53	0,61	0,007	79,2	1,53	0,61	0,009
P-611	6	81,4	-0,163	-0,42	0,000	79,2	-0,16	-0,42	0,000	79,2	-0,17	-0,42	0,000
P-612	7	81,4	0,768	0,287	0,001	79,2	0,77	0,29	0,001	79,2	0,77	0,29	0,001
P-613	7	81,4	0,693	0,269	0,001	79,2	0,69	0,27	0,001	79,2	0,69	0,27	0,001
P-614	9	81,4	0,112	0,057	0,000	79,2	0,11	0,06	0,000	79,2	0,11	0,05	0,000
P-615	57	230,8	26,883	10,843	0,029	220,4	27,64	11,14	0,039	220,4	28,23	11,36	0,051
P-618	171	230,8	-6,094	-15,305	0,029	220,4	-5,80	-14,55	0,033	220,4	-5,58	-13,96	0,037
P-619	6	230,8	-11,121	-27,826	0,003	220,4	-10,83	-27,07	0,004	220,4	-10,61	-26,48	0,005
P-621	3	81,4	1,17	0,461	0,001	79,2	1,17	0,46	0,001	79,2	1,17	0,46	0,001
P-625	2	81,4	1,296	0,537	0,001	79,2	1,30	0,54	0,001	79,2	1,30	0,54	0,001
P-628	8	81,4	3,942	1,584	0,023	79,2	3,97	1,59	0,027	79,2	3,96	1,59	0,035
P-631	5	81,4	0,174	0,064	0,000	79,2	0,18	0,07	0,000	79,2	0,17	0,06	0,000
P-632	6	81,4	0,786	0,325	0,001	79,2	0,79	0,33	0,001	79,2	0,79	0,33	0,001
P-633	7	81,4	0,499	0,199	0,000	79,2	0,50	0,20	0,000	79,2	0,50	0,20	0,000
P-635	7	81,4	0,857	0,351	0,001	79,2	0,86	0,35	0,001	79,2	0,86	0,35	0,002
P-636	3	81,4	1,452	0,586	0,001	79,2	1,45	0,59	0,002	79,2	1,45	0,59	0,002
P-637	5	81,4	1,497	0,579	0,002	79,2	1,50	0,58	0,002	79,2	1,51	0,59	0,003
P-638	5	81,4	1,422	0,587	0,002	79,2	1,42	0,59	0,002	79,2	1,42	0,58	0,003
P-639	30	81,4	-0,205	-0,56	0,001	79,2	-0,21	-0,56	0,002	79,2	-0,20	-0,56	0,002
P-641	8	81,4	0,192	0,053	0,000	79,2	0,19	0,05	0,000	79,2	0,19	0,05	0,000

P-642	4	81,4	0,302	0,126	0,000	79,2	0,31	0,13	0,000	79,2	0,30	0,12	0,000
P-643	8	81,4	0,311	0,128	0,000	79,2	0,31	0,13	0,000	79,2	0,30	0,12	0,000
P-644	4	81,4	-0,251	-0,664	0,000	79,2	-0,25	-0,67	0,000	79,2	-0,25	-0,67	0,001
P-645	3	81,4	-0,279	-0,727	0,000	79,2	-0,28	-0,73	0,000	79,2	-0,28	-0,73	0,001
P-646	4	81,4	-0,449	-1,163	0,001	79,2	-0,45	-1,16	0,001	79,2	-0,44	-1,16	0,001
P-647	5	81,4	0,084	0,025	0,000	79,2	0,09	0,02	0,000	79,2	0,08	0,02	0,000
P-648	5	81,4	0,001	-0,003	0,000	79,2	0,00	0,00	0,000	79,2	0,00	0,00	0,000
P-649	7	81,4	-0,041	-0,104	0,000	79,2	-0,04	-0,10	0,000	79,2	-0,04	-0,10	0,000
P-651	6	81,4	-0,129	-0,315	0,000	79,2	-0,13	-0,31	0,000	79,2	-0,13	-0,31	0,000
P-652	6	81,4	-0,038	-0,095	0,000	79,2	-0,04	-0,09	0,000	79,2	-0,04	-0,09	0,000
P-653	7	81,4	-0,636	-1,581	0,004	79,2	-0,64	-1,58	0,004	79,2	-0,63	-1,58	0,005
P-654	7	81,4	-0,619	-1,49	0,003	79,2	-0,62	-1,49	0,004	79,2	-0,62	-1,49	0,005
P-655	6	81,4	0,381	0,176	0,000	79,2	0,38	0,18	0,000	79,2	0,38	0,18	0,000
P-656	2	81,4	-0,667	-1,659	0,001	79,2	-0,67	-1,66	0,002	79,2	-0,66	-1,66	0,002
P-657	8	81,4	-1,092	-2,706	0,011	79,2	-1,09	-2,71	0,013	79,2	-1,09	-2,70	0,016
P-658	5	81,4	-1,222	-3,016	0,008	79,2	-1,22	-3,01	0,010	79,2	-1,22	-3,01	0,012
P-660	5	81,4	0	0	0,000	79,2	0,00	0,00	0,000	79,2	0,00	0,00	0,000
P-661	5	81,4	-0,044	-0,097	0,000	79,2	-0,04	-0,10	0,000	79,2	-0,05	-0,10	0,000
P-662	5	81,4	-0,074	-0,146	0,000	79,2	-0,07	-0,15	0,000	79,2	-0,07	-0,15	0,000
P-663	8	81,4	-0,142	-0,3	0,000	79,2	-0,14	-0,30	0,000	79,2	-0,14	-0,30	0,000
P-664	8	81,4	-0,035	-0,111	0,000	79,2	-0,03	-0,11	0,000	79,2	-0,03	-0,11	0,000
P-665	6	81,4	-0,049	-0,185	0,000	79,2	-0,05	-0,18	0,000	79,2	-0,05	-0,18	0,000
P-666	5	81,4	-0,132	-0,286	0,000	79,2	-0,13	-0,29	0,000	79,2	-0,14	-0,29	0,000
P-667	8	81,4	0,391	0,172	0,000	79,2	0,39	0,17	0,000	79,2	0,40	0,17	0,000
P-668	5	81,4	-0,198	-0,526	0,000	79,2	-0,20	-0,53	0,000	79,2	-0,20	-0,52	0,000
P-670	5	81,4	1,239	0,478	0,001	79,2	1,24	0,48	0,002	79,2	1,24	0,47	0,002
P-671	7	81,4	0,077	0,013	0,000	79,2	0,08	0,01	0,000	79,2	0,08	0,01	0,000
P-673	7	81,4	0,428	0,177	0,000	79,2	0,43	0,18	0,000	79,2	0,43	0,18	0,000
P-674	7	81,4	0,234	0,092	0,000	79,2	0,23	0,09	0,000	79,2	0,24	0,10	0,000
P-675	10	81,4	-0,01	-0,023	0,000	79,2	-0,01	-0,02	0,000	79,2	-0,01	-0,02	0,000
P-676	8	81,4	-0,009	-0,023	0,000	79,2	-0,01	-0,02	0,000	79,2	-0,01	-0,02	0,000
P-677	8	81,4	0	0	0,000	79,2	0,00	0,00	0,000	79,2	0,00	0,00	0,000
P-678	6	81,4	-0,124	-0,312	0,000	79,2	-0,12	-0,31	0,000	79,2	-0,12	-0,31	0,000
P-679	8	81,4	-0,255	-0,646	0,001	79,2	-0,26	-0,65	0,001	79,2	-0,25	-0,64	0,001
P-680	8	81,4	-0,236	-0,608	0,001	79,2	-0,23	-0,61	0,001	79,2	-0,23	-0,61	0,001
P-681	7	81,4	-0,112	-0,279	0,000	79,2	-0,11	-0,28	0,000	79,2	-0,11	-0,28	0,000
P-682	6	81,4	-0,121	-0,301	0,000	79,2	-0,12	-0,30	0,000	79,2	-0,12	-0,30	0,000
P-683	6	81,4	-0,257	-0,68	0,001	79,2	-0,26	-0,68	0,001	79,2	-0,25	-0,68	0,001
P-684	6	81,4	-0,105	-0,259	0,000	79,2	-0,11	-0,26	0,000	79,2	-0,11	-0,26	0,000
P-685	7	81,4	-0,099	-0,249	0,000	79,2	-0,10	-0,25	0,000	79,2	-0,10	-0,25	0,000
P-686	9	81,4	-0,175	-0,385	0,000	79,2	-0,18	-0,39	0,000	79,2	-0,18	-0,39	0,000
P-687	4	81,4	-0,21	-0,526	0,000	79,2	-0,21	-0,52	0,000	79,2	-0,21	-0,53	0,000
P-688	8	81,4	-0,096	-0,218	0,000	79,2	-0,10	-0,22	0,000	79,2	-0,10	-0,22	0,000
P-689	10	81,4	-0,091	-0,229	0,000	79,2	-0,09	-0,23	0,000	79,2	-0,09	-0,23	0,000
P-692	4	81,4	0,618	0,25	0,000	79,2	0,62	0,25	0,000	79,2	0,63	0,26	0,001
P-697	10	81,4	-0,192	-0,462	0,000	79,2	-0,19	-0,46	0,000	79,2	-0,19	-0,46	0,001
P-698	7	81,4	-0,205	-0,505	0,000	79,2	-0,21	-0,51	0,000	79,2	-0,21	-0,50	0,001
P-699	7	81,4	-1,016	-2,539	0,008	79,2	-1,02	-2,55	0,009	79,2	-1,02	-2,55	0,012
P-700	8	81,4	1,161	0,463	0,002	79,2	1,18	0,47	0,003	79,2	1,17	0,47	0,003
P-701	9	81,4	0,39	0,177	0,000	79,2	0,39	0,18	0,000	79,2	0,39	0,18	0,000
P-702	8	81,4	0,76	0,291	0,001	79,2	0,77	0,29	0,001	79,2	0,77	0,29	0,001
P-703	3	81,4	0,077	0,033	0,000	79,2	0,08	0,03	0,000	79,2	0,08	0,03	0,000
P-706	9	81,4	1,22	0,489	0,003	79,2	1,22	0,49	0,003	79,2	1,22	0,49	0,004
P-707	8	81,4	0,237	0,08	0,000	79,2	0,24	0,08	0,000	79,2	0,24	0,09	0,000
P-709	9	81,4	-0,225	-0,541	0,001	79,2	-0,23	-0,54	0,001	79,2	-0,23	-0,55	0,001
P-710	5	81,4	0,521	0,199	0,000	79,2	0,52	0,20	0,000	79,2	0,52	0,20	0,000
P-714	74	81,4	-0,082	-0,217	0,001	79,2	-0,08	-0,22	0,001	79,2	-0,09	-0,22	0,001
P-725	70	81,4	-0,425	-1,066	0,016	79,2	-0,43	-1,07	0,018	79,2	-0,43	-1,07	0,023
P-729	8	81,4	2,164	0,87	0,007	79,2	2,16	0,87	0,008	79,2	2,16	0,87	0,010
P-731	11	81,4	0,44	0,196	0,000	79,2	0,44	0,20	0,001	79,2	0,43	0,19	0,001
P-732	6	81,4	0,577	0,24	0,001	79,2	0,58	0,24	0,001	79,2	0,58	0,24	0,001
P-733	10	81,4	0,192	0,094	0,000	79,2	0,19	0,09	0,000	79,2	0,19	0,09	0,000
P-734	6	81,4	0,423	0,162	0,000	79,2	0,42	0,16	0,000	79,2	0,42	0,16	0,000
P-736	5	81,4	0,981	0,385	0,001	79,2	0,98	0,39	0,001	79,2	0,98	0,38	0,001
P-737	8	81,4	0,498	0,214	0,000	79,2	0,50	0,21	0,001	79,2	0,49	0,21	0,001
P-738	2	101,6	12,52	5,026	0,023	96,8	12,52	5,03	0,029	96,8	12,52	5,03	0,036
P-739	1	101,6	7,417	2,981	0,004	96,8	7,45	2,99	0,005	96,8	7,44	2,99	0,007
P-740	3	101,6	5,103	2,046	0,006	96,8	5,07	2,03	0,007	96,8	5,08	2,04	0,009
P-741	4	81,4	-1,471	-3,669	0,011	79,2	-1,46	-3,64	0,012	79,2	-1,46	-3,65	0,016
P-742	162	81,4	1,298	0,52	0,054	79,2	1,29	0,52	0,062	79,2	1,30	0,52	0,079

P-743	5	101,6	5,103	2,046	0,007	96,8	5,07	2,03	0,009	96,8	5,08	2,04	0,012
P-744	6	81,4	1,305	0,525	0,002	79,2	1,30	0,53	0,003	79,2	1,30	0,52	0,003
P-745	8	81,4	1,176	0,465	0,002	79,2	1,18	0,47	0,003	79,2	1,17	0,46	0,003
P-746	9	81,4	0,025	0,008	0,000	79,2	0,03	0,01	0,000	79,2	0,02	0,01	0,000
P-747	9	81,4	0,175	0,046	0,000	79,2	0,17	0,05	0,000	79,2	0,18	0,05	0,000
P-748	7	81,4	-0,014	-0,024	0,000	79,2	-0,02	-0,03	0,000	79,2	-0,02	-0,03	0,000
P-749	9	81,4	0,905	0,345	0,001	79,2	0,90	0,35	0,002	79,2	0,91	0,35	0,002
P-750	8	81,4	-0,46	-1,157	0,002	79,2	-0,47	-1,17	0,003	79,2	-0,47	-1,17	0,003
P-751	7	81,4	1,153	0,46	0,002	79,2	1,15	0,46	0,002	79,2	1,16	0,46	0,003
P-752	25	81,4	0,155	0,04	0,000	79,2	0,15	0,04	0,000	79,2	0,16	0,04	0,000
P-754	9	81,4	-0,043	-0,156	0,000	79,2	-0,04	-0,16	0,000	79,2	-0,04	-0,16	0,000
P-755	5	81,4	-0,122	-0,3	0,000	79,2	-0,12	-0,31	0,000	79,2	-0,12	-0,31	0,000
P-759	71	81,4	-0,347	-0,873	0,011	79,2	-0,35	-0,87	0,013	79,2	-0,35	-0,87	0,016
P-762	4	81,4	0,201	0,078	0,000	79,2	0,20	0,08	0,000	79,2	0,20	0,08	0,000
P-763	10	81,4	0,462	0,202	0,001	79,2	0,46	0,20	0,001	79,2	0,46	0,20	0,001
P-784	10	81,4	0,197	0,075	0,000	79,2	0,20	0,08	0,000	79,2	0,20	0,08	0,000
P-785	10	81,4	0,182	0,049	0,000	79,2	0,18	0,05	0,000	79,2	0,18	0,04	0,000
P-786	30	81,4	-0,464	-1,148	0,008	79,2	-0,47	-1,15	0,009	79,2	-0,46	-1,15	0,012
P-788	7	81,4	0,473	0,208	0,000	79,2	0,47	0,21	0,000	79,2	0,47	0,21	0,001
P-789	7	81,4	-0,068	-0,199	0,000	79,2	-0,07	-0,20	0,000	79,2	-0,07	-0,20	0,000
P-790	203	230,8	-1,45	-3,737	0,002	220,4	-1,16	-2,99	0,002	220,4	-0,94	-2,39	0,001
P-792	53	81,4	-1,122	-2,787	0,078	79,2	-1,13	-2,80	0,090	79,2	-1,12	-2,79	0,116
P-793	11	81,4	4,118	1,648	0,034	79,2	4,13	1,65	0,040	79,2	4,13	1,66	0,052
P-795	2	101,6	11,568	4,644	0,020	96,8	11,57	4,64	0,024	96,8	11,57	4,64	0,030
P-796	1	101,6	7,041	2,825	0,002	96,8	7,06	2,83	0,003	96,8	7,06	2,83	0,003
P-797	5	101,6	4,527	1,819	0,006	96,8	4,51	1,81	0,007	96,8	4,51	1,81	0,009
P-798	49	81,4	-1,074	-2,668	0,066	79,2	-1,07	-2,65	0,076	79,2	-1,07	-2,65	0,098
P-799	15	81,4	1,723	0,69	0,009	79,2	1,72	0,69	0,010	79,2	1,72	0,69	0,013
P-800	8	101,6	4,527	1,819	0,010	96,8	4,51	1,81	0,013	96,8	4,51	1,81	0,016
P-801	4	81,4	1,049	0,419	0,001	79,2	1,05	0,42	0,001	79,2	1,03	0,41	0,001
P-802	34	81,4	-0,292	-0,72	0,004	79,2	-0,29	-0,72	0,004	79,2	-0,30	-0,72	0,006
P-804	6	81,4	0,266	0,1	0,000	79,2	0,26	0,10	0,000	79,2	0,26	0,10	0,000
P-805	209	230,8	-1,45	-3,737	0,002	220,4	-1,16	-2,99	0,002	220,4	-0,94	-2,39	0,002
P-806	155	230,8	-1,45	-3,737	0,002	220,4	-1,16	-2,99	0,001	220,4	-0,94	-2,39	0,001
P-810	79	230,8	-6,094	-15,305	0,013	220,4	-5,80	-14,55	0,015	220,4	-5,58	-13,96	0,017
P-811	168	230,8	-6,094	-15,305	0,028	220,4	-5,80	-14,55	0,032	220,4	-5,58	-13,96	0,037
P-812	63	81,4	-0,127	-0,31	0,001	79,2	-0,13	-0,31	0,001	79,2	-0,13	-0,31	0,001
P-813	6	81,4	-0,127	-0,31	0,000	79,2	-0,13	-0,31	0,000	79,2	-0,13	-0,31	0,000
P-814	4	101,6	0	0	0,000	96,8	0,00	0,00	0,000	96,8	0,00	0,00	0,000
P-816	11	230,8	-1,45	-3,737	0,000	220,4	-1,16	-2,99	0,000	220,4	-0,94	-2,39	0,000
P-817	2	230,8	12,049	4,888	0,000	220,4	12,80	5,18	0,000	220,4	13,40	5,40	0,000
P-820	55	81,4	-1,735	-4,317	0,187	79,2	-1,73	-4,31	0,216	79,2	-1,73	-4,31	0,281
P-822	51	81,4	-1,874	-4,661	0,202	79,2	-1,88	-4,67	0,234	79,2	-1,87	-4,66	0,305
P-823	15	81,4	3,545	1,421	0,034	79,2	3,58	1,43	0,040	79,2	3,57	1,43	0,052
P-824	198	230,8	3,737	1,45	0,002	220,4	2,99	1,16	0,002	220,4	2,39	0,94	0,001
P-827	2	101,6	-3,349	-8,341	0,006	96,8	-3,37	-8,38	0,008	96,8	-3,36	-8,36	0,011
P-828	2	101,6	-6,338	-15,787	0,038	96,8	-6,34	-15,79	0,047	96,8	-6,34	-15,79	0,059
P-829	3	101,6	7,445	2,988	0,010	96,8	7,41	2,97	0,013	96,8	7,42	2,98	0,017
P-831	12	81,4	2,993	1,199	0,019	79,2	2,96	1,19	0,022	79,2	2,97	1,19	0,029
P-832	3	101,6	7,445	2,988	0,011	96,8	7,41	2,97	0,014	96,8	7,42	2,98	0,018
P-833	9	81,4	-0,085	-0,184	0,000	79,2	-0,09	-0,18	0,000	79,2	-0,09	-0,19	0,000
P-834	8	81,4	-0,031	-0,108	0,000	79,2	-0,03	-0,11	0,000	79,2	-0,03	-0,11	0,000
P-835	7	81,4	0,598	0,231	0,001	79,2	0,59	0,23	0,001	79,2	0,60	0,23	0,001
P-836	10	81,4	-0,13	-0,325	0,000	79,2	-0,13	-0,33	0,000	79,2	-0,14	-0,33	0,000
P-837	9	81,4	-0,149	-0,33	0,000	79,2	-0,15	-0,33	0,000	79,2	-0,15	-0,34	0,000
P-838	9	81,4	0,487	0,194	0,000	79,2	0,49	0,19	0,000	79,2	0,49	0,19	0,001
P-839	6	81,4	0,483	0,21	0,000	79,2	0,48	0,21	0,000	79,2	0,49	0,21	0,000
P-840	7	81,4	0,475	0,203	0,000	79,2	0,48	0,20	0,000	79,2	0,48	0,21	0,001
P-841	10	81,4	0,029	0,011	0,000	79,2	0,03	0,01	0,000	79,2	0,03	0,01	0,000
P-842	9	81,4	0,051	0,017	0,000	79,2	0,05	0,02	0,000	79,2	0,05	0,01	0,000
P-843	8	81,4	0,055	0,017	0,000	79,2	0,06	0,02	0,000	79,2	0,06	0,02	0,000
P-844	9	81,4	0,194	0,074	0,000	79,2	0,19	0,08	0,000	79,2	0,20	0,08	0,000
P-845	8	81,4	0,063	0,018	0,000	79,2	0,06	0,02	0,000	79,2	0,06	0,02	0,000
P-850	14	81,4	0,148	0,047	0,000	79,2	0,15	0,05	0,000	79,2	0,16	0,05	0,000
P-851	13	81,4	-0,004	-0,017	0,000	79,2	-0,01	-0,02	0,000	79,2	-0,01	-0,02	0,000
P-852	12	81,4	0,248	0,089	0,000	79,2	0,25	0,09	0,000	79,2	0,25	0,10	0,000
P-853	13	81,4	0,355	0,156	0,000	79,2	0,36	0,16	0,000	79,2	0,36	0,16	0,000
P-854	61	81,4	-0,058	-0,143	0,000	79,2	-0,06	-0,14	0,000	79,2	-0,06	-0,14	0,000
P-856	8	81,4	0,07	0,036	0,000	79,2	0,07	0,04	0,000	79,2	0,07	0,03	0,000
P-857	8	81,4	-0,075	-0,21	0,000	79,2	-0,08	-0,21	0,000	79,2	-0,08	-0,21	0,000

P-858	23	81,4	-0,066	-0,151	0,000	79,2	-0,07	-0,15	0,000	79,2	-0,07	-0,15	0,000
P-859	9	81,4	0,195	0,064	0,000	79,2	0,19	0,06	0,000	79,2	0,20	0,06	0,000
P-860	5	81,4	-0,206	-0,504	0,000	79,2	-0,21	-0,50	0,000	79,2	-0,20	-0,51	0,000
P-861	45	81,4	-0,212	-0,491	0,002	79,2	-0,21	-0,49	0,003	79,2	-0,21	-0,49	0,003
P-862	8	81,4	0,149	0,048	0,000	79,2	0,15	0,05	0,000	79,2	0,15	0,05	0,000
P-863	6	81,4	1,027	0,452	0,001	79,2	1,03	0,45	0,002	79,2	1,03	0,45	0,002
P-864	60	81,4	0,422	0,19	0,002	79,2	0,42	0,19	0,002	79,2	0,42	0,19	0,003
P-865	27	81,4	0,286	0,135	0,000	79,2	0,29	0,14	0,000	79,2	0,29	0,14	0,000
P-866	8	81,4	0	0	0,000	79,2	0,00	0,00	0,000	79,2	0,00	0,00	0,000
P-867	9	81,4	-0,158	-0,371	0,000	79,2	-0,16	-0,37	0,000	79,2	-0,17	-0,38	0,000
P-868	4	81,4	-0,246	-0,59	0,000	79,2	-0,25	-0,59	0,000	79,2	-0,25	-0,60	0,001
P-869	145	81,4	-0,186	-0,407	0,005	79,2	-0,19	-0,41	0,006	79,2	-0,19	-0,41	0,006
P-870	5	81,4	0,32	0,114	0,000	79,2	0,32	0,11	0,000	79,2	0,32	0,12	0,000
P-871	40	81,4	-0,589	-1,456	0,017	79,2	-0,59	-1,46	0,019	79,2	-0,59	-1,45	0,024
P-873	8	81,4	-0,034	-0,096	0,000	79,2	-0,04	-0,10	0,000	79,2	-0,03	-0,10	0,000
P-875	2	81,4	-0,678	-1,688	0,001	79,2	-0,68	-1,69	0,002	79,2	-0,68	-1,68	0,002
P-876	26	81,4	-0,757	-1,891	0,018	79,2	-0,76	-1,89	0,020	79,2	-0,75	-1,89	0,026
P-877	8	81,4	-0,024	-0,067	0,000	79,2	-0,03	-0,07	0,000	79,2	-0,02	-0,07	0,000
P-878	151	81,4	0,347	0,166	0,003	79,2	0,35	0,16	0,004	79,2	0,35	0,16	0,005
P-879	12	81,4	0,347	0,166	0,000	79,2	0,35	0,16	0,000	79,2	0,35	0,16	0,000
P-880	3	101,6	0	0	0,000	96,8	0,00	0,00	0,000	96,8	0,00	0,00	0,000
P-881	9	81,4	-0,144	-0,322	0,000	79,2	-0,14	-0,32	0,000	79,2	-0,15	-0,32	0,000
P-884	7	81,4	-0,096	-0,212	0,000	79,2	-0,10	-0,21	0,000	79,2	-0,10	-0,21	0,000
P-885	7	81,4	-0,108	-0,258	0,000	79,2	-0,11	-0,26	0,000	79,2	-0,11	-0,26	0,000
P-886	9	81,4	1,791	0,719	0,006	79,2	1,77	0,71	0,007	79,2	1,78	0,71	0,009
P-887	7	81,4	-0,152	-0,364	0,000	79,2	-0,15	-0,37	0,000	79,2	-0,15	-0,37	0,000
P-888	9	81,4	-0,037	-0,068	0,000	79,2	-0,04	-0,07	0,000	79,2	-0,04	-0,07	0,000
P-889	88	81,4	0,226	0,115	0,001	79,2	0,22	0,12	0,001	79,2	0,23	0,13	0,001
P-891	7	81,4	-0,146	-0,313	0,000	79,2	-0,15	-0,31	0,000	79,2	-0,15	-0,31	0,000
P-893	8	81,4	-0,086	-0,225	0,000	79,2	-0,08	-0,22	0,000	79,2	-0,08	-0,22	0,000
P-894	84	81,4	-0,269	-0,665	0,008	79,2	-0,27	-0,66	0,009	79,2	-0,27	-0,66	0,011
P-895	7	81,4	-0,128	-0,305	0,000	79,2	-0,13	-0,30	0,000	79,2	-0,14	-0,31	0,000
P-896	7	81,4	0	0	0,000	79,2	0,00	0,00	0,000	79,2	0,00	0,00	0,000
P-899	7	81,4	-0,057	-0,137	0,000	79,2	-0,06	-0,14	0,000	79,2	-0,06	-0,14	0,000
P-900	87	81,4	-0,129	-0,308	0,001	79,2	-0,13	-0,31	0,001	79,2	-0,13	-0,31	0,001
P-901	10	81,4	-0,017	-0,042	0,000	79,2	-0,02	-0,04	0,000	79,2	-0,02	-0,04	0,000
P-904	11	81,4	-0,15	-0,355	0,000	79,2	-0,15	-0,36	0,000	79,2	-0,15	-0,36	0,000
P-905	6	81,4	-0,26	-0,678	0,001	79,2	-0,26	-0,68	0,001	79,2	-0,26	-0,67	0,001
P-906	7	81,4	1,039	0,413	0,002	79,2	1,04	0,41	0,002	79,2	1,04	0,41	0,002
P-907	8	81,4	0,384	0,178	0,000	79,2	0,38	0,18	0,000	79,2	0,39	0,18	0,000
P-908	6	81,4	0,235	0,098	0,000	79,2	0,23	0,10	0,000	79,2	0,24	0,10	0,000
P-909	6	81,4	0,575	0,236	0,001	79,2	0,58	0,24	0,001	79,2	0,58	0,24	0,001
P-910	7	81,4	0,233	0,104	0,000	79,2	0,23	0,10	0,000	79,2	0,23	0,11	0,000
P-911	8	81,4	0,224	0,095	0,000	79,2	0,22	0,10	0,000	79,2	0,23	0,10	0,000
P-912	6	81,4	0,386	0,152	0,000	79,2	0,39	0,15	0,000	79,2	0,39	0,15	0,000
P-913	8	81,4	0,329	0,135	0,000	79,2	0,33	0,14	0,000	79,2	0,33	0,14	0,000
P-914	7	81,4	0,388	0,153	0,000	79,2	0,39	0,15	0,000	79,2	0,39	0,15	0,000
P-915	5	81,4	0,225	0,101	0,000	79,2	0,23	0,10	0,000	79,2	0,23	0,10	0,000
P-916	5	81,4	0,161	0,076	0,000	79,2	0,16	0,08	0,000	79,2	0,16	0,08	0,000
P-918	7	81,4	1,387	0,557	0,003	79,2	1,39	0,56	0,003	79,2	1,39	0,56	0,004
P-919	8	81,4	0,724	0,283	0,001	79,2	0,72	0,28	0,001	79,2	0,73	0,28	0,001
P-920	6	81,4	0,75	0,289	0,001	79,2	0,75	0,29	0,001	79,2	0,75	0,29	0,001
P-921	6	81,4	0,295	0,139	0,000	79,2	0,30	0,14	0,000	79,2	0,30	0,14	0,000
P-922	5	81,4	0,38	0,144	0,000	79,2	0,38	0,14	0,000	79,2	0,38	0,15	0,000
P-923	3	81,4	0,11	0,039	0,000	79,2	0,11	0,04	0,000	79,2	0,11	0,04	0,000
P-924	4	81,4	-0,047	-0,107	0,000	79,2	-0,05	-0,11	0,000	79,2	-0,05	-0,11	0,000
P-925	4	81,4	0,115	0,067	0,000	79,2	0,12	0,07	0,000	79,2	0,12	0,08	0,000
P-926	4	81,4	-0,31	-0,811	0,001	79,2	-0,31	-0,81	0,001	79,2	-0,31	-0,81	0,001
P-927	25	81,4	-0,057	-0,191	0,000	79,2	-0,06	-0,19	0,000	79,2	-0,05	-0,19	0,000
P-928	6	81,4	-0,308	-0,756	0,001	79,2	-0,31	-0,76	0,001	79,2	-0,31	-0,76	0,001
P-929	37	81,4	-0,727	-1,82	0,023	79,2	-0,73	-1,82	0,027	79,2	-0,73	-1,82	0,034
P-930	5	81,4	-0,229	-0,581	0,000	79,2	-0,23	-0,58	0,000	79,2	-0,23	-0,58	0,001
P-931	4	81,4	1,375	0,553	0,002	79,2	1,38	0,55	0,002	79,2	1,38	0,55	0,002
P-932	7	81,4	-0,135	-0,342	0,000	79,2	-0,14	-0,34	0,000	79,2	-0,13	-0,34	0,000
P-933	8	81,4	-0,073	-0,19	0,000	79,2	-0,07	-0,19	0,000	79,2	-0,08	-0,19	0,000
P-935	45	81,4	0,209	0,09	0,000	79,2	0,21	0,09	0,000	79,2	0,21	0,09	0,000
P-936	8	81,4	-0,169	-0,405	0,000	79,2	-0,17	-0,41	0,000	79,2	-0,17	-0,40	0,000
P-937	28	81,4	1,549	0,624	0,013	79,2	1,55	0,62	0,015	79,2	1,54	0,62	0,019
P-938	5	81,4	0,748	0,314	0,001	79,2	0,75	0,31	0,001	79,2	0,75	0,31	0,001
P-939	9	81,4	-0,255	-0,666	0,001	79,2	-0,26	-0,67	0,001	79,2	-0,25	-0,66	0,001

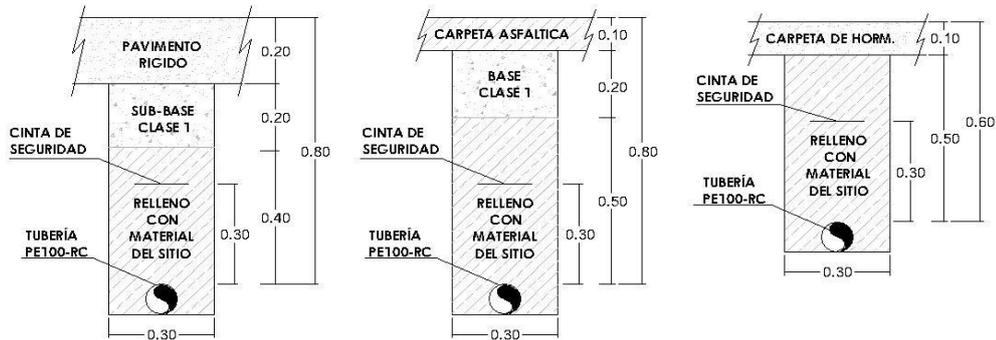
P-940	4	81,4	0,073	0,039	0,000	79,2	0,07	0,04	0,000	79,2	0,07	0,04	0,000
P-941	1	101,6	-3,933	-9,798	0,006	96,8	-3,94	-9,80	0,008	96,8	-3,94	-9,80	0,011
P-942	3	101,6	-5,955	-14,834	0,041	96,8	-5,96	-14,83	0,051	96,8	-5,96	-14,83	0,064
P-943	2	101,6	5,036	2,022	0,003	96,8	5,03	2,02	0,004	96,8	5,03	2,02	0,005
P-944	91	81,4	-0,905	-2,256	0,087	79,2	-0,90	-2,25	0,100	79,2	-0,91	-2,26	0,130
P-945	57	81,4	2,779	1,117	0,082	79,2	2,78	1,12	0,095	79,2	2,78	1,12	0,122
P-946	5	101,6	5,036	2,022	0,008	96,8	5,03	2,02	0,010	96,8	5,03	2,02	0,013
P-947	8	81,4	0,472	0,2	0,000	79,2	0,47	0,20	0,000	79,2	0,47	0,20	0,001
P-948	109	230,8	-4,888	-12,049	0,012	220,4	-5,18	-12,80	0,017	220,4	-5,40	-13,40	0,022
P-949	121	230,8	-4,888	-12,049	0,013	220,4	-5,18	-12,80	0,019	220,4	-5,40	-13,40	0,025
P-950	55	81,4	1,092	0,441	0,013	79,2	1,09	0,44	0,016	79,2	1,09	0,44	0,020
P-951	7	81,4	0,956	0,386	0,001	79,2	0,96	0,39	0,001	79,2	0,96	0,39	0,002
P-952	2	101,6	0	0	0,000	96,8	0,00	0,00	0,000	96,8	0,00	0,00	0,000
P-953	8	81,4	0	0	0,000	79,2	0,00	0,00	0,000	79,2	0,00	0,00	0,000
P-954	8	81,4	0	0	0,000	79,2	0,00	0,00	0,000	79,2	0,00	0,00	0,000
P-955	5	81,4	0	0	0,000	79,2	0,00	0,00	0,000	79,2	0,00	0,00	0,000
P-956	10	81,4	1,042	0,41	0,002	79,2	1,04	0,41	0,003	79,2	1,04	0,41	0,003
P-957	12	81,4	0	0	0,000	79,2	0,00	0,00	0,000	79,2	0,00	0,00	0,000
P-960	52	230,8	-11,121	-27,826	0,028	220,4	-10,83	-27,07	0,034	220,4	-10,61	-26,48	0,040
P-961	4	230,8	-11,121	-27,826	0,003	220,4	-10,83	-27,07	0,004	220,4	-10,61	-26,48	0,004
P-968	5	81,4	0,077	0,034	0,000	79,2	0,08	0,04	0,000	79,2	0,08	0,03	0,000
P-969	5	81,4	0,064	0,036	0,000	79,2	0,07	0,04	0,000	79,2	0,06	0,04	0,000
P-970	6	81,4	0,085	0,027	0,000	79,2	0,08	0,03	0,000	79,2	0,08	0,02	0,000
P-971	7	81,4	-0,243	-0,622	0,001	79,2	-0,24	-0,62	0,001	79,2	-0,24	-0,62	0,001
P-972	55	81,4	-0,022	-0,072	0,000	79,2	-0,02	-0,07	0,000	79,2	-0,02	-0,07	0,000
P-973	8	81,4	-0,022	-0,072	0,000	79,2	-0,02	-0,07	0,000	79,2	-0,02	-0,07	0,000
P-992	5	81,4	0,398	0,164	0,000	79,2	0,40	0,16	0,000	79,2	0,39	0,16	0,000
P-993	51	81,4	0,398	0,164	0,001	79,2	0,40	0,16	0,001	79,2	0,39	0,16	0,001
P-997	69	81,4	1,207	0,477	0,019	79,2	1,21	0,48	0,022	79,2	1,21	0,48	0,028
P-998	5	81,4	1,207	0,477	0,002	79,2	1,21	0,48	0,002	79,2	1,21	0,48	0,002
P-1002	69	81,4	0,19	0,062	0,000	79,2	0,19	0,06	0,001	79,2	0,19	0,06	0,000
P-1003	12	81,4	0,19	0,062	0,000	79,2	0,19	0,06	0,000	79,2	0,19	0,06	0,000
P-1008	61	81,4	-0,122	-0,315	0,001	79,2	-0,12	-0,32	0,001	79,2	-0,12	-0,32	0,001
P-1009	12	81,4	-0,122	-0,315	0,000	79,2	-0,12	-0,32	0,000	79,2	-0,12	-0,32	0,000
P-1042	6	81,4	-0,011	-0,065	0,000	79,2	-0,01	-0,07	0,000	79,2	-0,01	-0,07	0,000
P-1043	6	81,4	0,1	0,035	0,000	79,2	0,10	0,04	0,000	79,2	0,10	0,04	0,000
P-1054	8	81,4	0,544	0,236	0,001	79,2	0,55	0,24	0,001	79,2	0,55	0,25	0,001
P-1059	54	81,4	0,528	0,211	0,003	79,2	0,53	0,21	0,003	79,2	0,53	0,21	0,004
P-1060	22	81,4	0,528	0,211	0,001	79,2	0,53	0,21	0,001	79,2	0,53	0,21	0,002
P-1065	56	81,4	0,577	0,224	0,003	79,2	0,58	0,22	0,004	79,2	0,58	0,22	0,005
P-1066	19	81,4	0,577	0,224	0,001	79,2	0,58	0,22	0,001	79,2	0,58	0,22	0,002

ANEXO 8

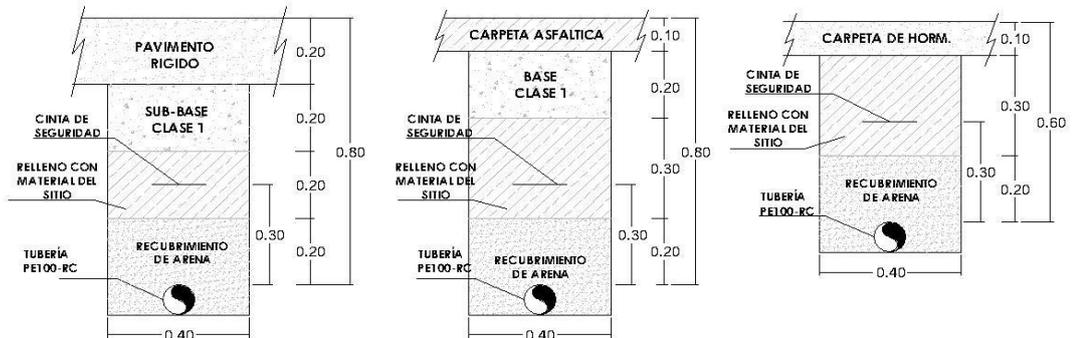
Esquema de zanja para la instalación de la red de distribución considerado para cada tipo de tubería

CORTE TIPO

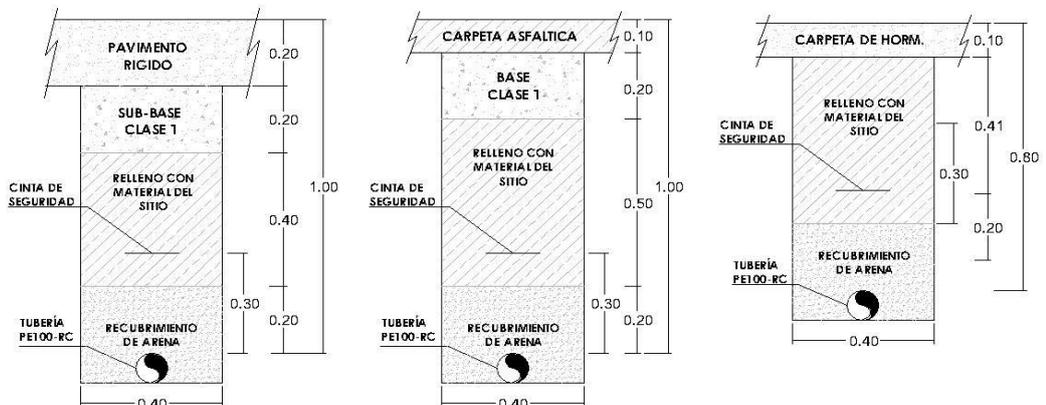
TUBERÍA PE100-RC Ø90MM & 110MM



TUBERÍA PE100 Ø90MM & 110MM



TUBERÍA PVC Ø90MM & 110MM



ANEXO 9

DETALLE DE PRESUPUESTOS PARA TUBERÍA DE PE100-RC (TIPO 2), PE100 Y PVC

PRESUPUESTO UTILIZANDO TUBERÍA PE100-RC (TIPO 2)						
CLAVE		DESCRIPCIÓN	UNID	CANT.	P. U.	TOTAL
	1	MATERIALES				\$ 102.313,85
	1.1	SUMINISTRO				\$ 102.313,85
	1.1.1	SUMINISTRO DE TUBERÍA PE-100RC Y ACCESORIOS DE AAPP.				\$ 83.144,77
22.10.675		TUBERÍA RENOVATION VRC MULTI DM 90 PN10 SDR 17 CON ANTIMICROBIANO Y PROTECCIÓN UV. (INCLUYE MANGUITOS ELECTROSOLDABLES POR CADA 100 M)	M	6781,00	10,81	\$ 73.302,61
22.10.676		TUBERÍA RENOVATION VRC MULTI DM 110 PN10 SDR 17 CON ANTIMICROBIANO Y PROTECCIÓN UV. (INCLUYE MANGUITOS ELECTROSOLDABLES POR CADA 100 M)	M	30,00	16,03	\$ 480,90
22.10.428		MANGUITO DE POLIETILENO ELECTROSOLDABLE Ø110MM, L=163MM.	U	7,00	15,41	\$ 107,87
22.10.681		TEE POLIETILENO ELECTROSOLDABLE Ø90X90X90mm, L=293MM	U	81,00	31,57	\$ 2.557,17
22.10.682		TEE POLIETILENO ELECTROSOLDABLE Ø110X110X110mm, L=328MM	U	4,00	43,49	\$ 173,96
22.10.684		TEE POLIETILENO REDUCTORA Ø250X110X250MM, L=538MM	U	2,00	490,90	\$ 981,80
22.10.685		REDUCCIÓN EN POLIETILENO 491104 ELECTROSOLDABLE Ø110 x 90MM	U	6,00	26,41	\$ 158,46
22.10.360		CODO POLIETILENO ELECTROSOLDABLE 45°-Ø90mm, L=210MM	U	2,00	34,09	\$ 68,18
22.10.366		CODO POLIETILENO ELECTROSOLDABLE 90°-Ø90mm, L=241mm	U	7,00	34,09	\$ 238,63
22.10.361		CODO POLIETILENO ELECTROSOLDABLE 90°-Ø110mm, L=210MM	U	1,00	48,57	\$ 48,57
22.40.436		VÁLVULA DE COMPUERTA EXTREMOS POLIETILENO PARA SOLDAR CUERPO Y TAPA EN FUNDICIÓN NODULAR EN-GJS-500-7 (GGG-50) RECUBRIMIENTO INTERIOR Y EXTERIOR EPOXI ELECTROESTATICO... EN 1092-2 PN 10 DN= 80 MM.	U	6,00	489,76	\$ 2.938,56
22.40.437		VÁLVULA DE COMPUERTA EXTREMOS POLIETILENO PARA SOLDAR CUERPO Y TAPA EN FUNDICIÓN NODULAR EN-GJS-500-7 (GGG-50) RECUBRIMIENTO INTERIOR Y EXTERIOR EPOXI ELECTROESTATICO... EN 1092-2 PN 10 DN= 100 MM.	U	3,00	572,60	\$ 1.717,80

05.41.008		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CAJETÍN METÁLICO Ø 160 MM. PARA VÁLVULA AA.PP.	U	9,00	41,14	\$ 370,26
	1.1.2	SUMINISTRO DE TUBERIA DE PEAD Y ACCESORIOS DE AAPP. PARA GUÍAS DOMICILIARIAS				\$ 10.848,00
22.10.680		TUBERÍA RENOVATION VRC MULTI DM 20 PN16	M	1600,00	2,09	\$ 3.344,00
22.05.074		SILLETAS DE TERMOFUSIÓN PARA PEAD Ø90MM X 20 MM	U	800,00	3,40	\$ 2.720,00
22.05.094		LLAVE DE CORTE INVIOLEABLE Ø 1/2"	U	800,00	5,98	\$ 4.784,00
	1.1.3	SUMINISTRO PARA HIDRANTE CON EXTREMO BRIDADO Y MEDIDOR CON ADAPTADOR DE BRIDA				\$ 6.926,07
22.10.681		TEE POLIETILENO ELECTROSOLDABLE Ø90X90X90mm, L=293MM	U	3,00	31,57	\$ 94,71
22.10.360		CODO POLIETILENO ELECTROSOLDABLE 45°-Ø90mm, L=210MM	U	6,00	34,09	\$ 204,54
22.10.433		MANGUITO UNIÓN PEAD PE 100 PN 10 PARA ELECTROFUSIÓN DIAM Ø90MM	U	12,00	12,42	\$ 149,04
22.10.675		TUBERÍA RENOVATION VRC MULTI DM 90 PN10 SDR 17 CON ANTIMICROBIANO Y PROTECCIÓN UV. (INCLUYE MANGUITOS ELECTROSOLDABLES POR CADA 100 M)	M	9,00	10,81	\$ 97,29
22.10.314		CONTRABRIDA DE Ø 90MM	U	15,00	12,00	\$ 180,00
22.10.315		PORTABRIDA DE Ø 90MM	U	15,00	7,85	\$ 117,75
22.40.440		VÁLVULA DE COMPUERTA DE CIERRE ELÁSTICO CONTRA INCENDIO DN 80MM PN 16	U	3,00	752,58	\$ 2.257,74
22.05.097		MEDIDOR DE 3" PARA HIDRANTE CLASE B	U	3,00	529,50	\$ 1.588,50
22.09.028		HIDRANTE NO. 3 DN80 BRIDADO CON DOS SALIDA DE 2 1/2" TIPO ROSCA 8 HILOS/PULG	U	3,00	560,70	\$ 1.682,10
05.20.012		PERNO ACERO GALVANIZADO 16 MM X 85 MM. PARA BRIDAS DN 80	U	120,00	4,62	\$ 554,40
	1.1.4	SUMINISTRO PARA VÁLVULA DE AIRE DE 20MM				\$ 827,22
22.05.074		SILLETAS DE TERMOFUSIÓN PARA PEAD Ø90MM X 20 MM	U	2,00	3,40	\$ 6,80
22.10.680		TUBERÍA RENOVATION VRC MULTI DM 20 PN16	U	8,00	2,09	\$ 16,72
22.10.416		CODO DE PEAD PE 100 PN 10 TERMOFUSIÓN D=1/2" 90°	U	2,00	3,15	\$ 6,30
22.05.094		LLAVE DE CORTE INVIOLEABLE Ø 1/2"	U	2,00	5,98	\$ 11,96
22.40.163		VÁLVULA DE AIRE D= 1/2"	U	2,00	378,15	\$ 756,30
22.40.301		LLAVE DE CONTROL TIPO GLOBO Ø 1/2" DE ACERO INOXIDABLE	U	2,00	14,57	\$ 29,14
	1.1.5	SUMINISTRO PARA VÁLVULA DE DESAGÜE DE 90MM				\$ 567,79
22.10.681		TEE POLIETILENO ELECTROSOLDABLE Ø90X90X90mm, L=293MM	U	1,00	31,57	\$ 31,57
		TUBERÍA RENOVATION VRC MULTI DM 90 PN10 SDR 17 CON ANTIMICROBIANO Y PROTECCIÓN UV	M	2,00	10,81	\$ 21,62
22.40.436		VÁLVULA DE COMPUERTA EXTREMOS POLIETILENO PARA SOLDAR CUERPO Y TAPA EN FUNDICIÓN NODULAR EN 1092-2 PN 10 DN= 80MM.	U	1,00	489,76	\$ 489,76

22.10.433		MANGUITO UNIÓN PEAD PE 100 PN 10 PARA ELECTROFUSIÓN DIAM Ø90MM	U	2,00	12,42	\$ 24,84
	2	OBRA CIVIL				\$ 140.146,79
	2.1	INSTALACIÓN				\$ 129.347,73
	2.1.1	ACTIVIDADES ADICIONALES DEL CONTRATISTA				\$ 236,83
90.01.002		ELABORACIÓN DE PLANOS AS-BUILT		1,00	181,60	\$ 181,60
90.01.005		PLANOS ESQUINEROS PARA AAPP. (INCLUYE LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y DIBUJO)	U	7,00	7,89	\$ 55,23
	2.1.2	PREPARACIÓN DEL SITIO Y REPLANTEO DE LAS OBRAS. SONDEO				\$ 1.979,25
31.01.001		PREPARACIÓN DEL SITIO, REPLANTEO Y NIVELACIÓN DE LA OBRA INCLUYE LEVANTAMIENTO PLANIMÉTRICO Y ALTIMÉTRICO PARA INSTALACIÓN DE TUBERÍAS	M	6825,00	0,29	\$ 1.979,25
	2.1.3	INSTALACIÓN DE RED CON TUBERÍA PE-100 RC MULTILAYER PN 10 Ø 90 Y 110MM				\$ 110.791,59
31.23.064		EXCAVACIÓN A MANO HASTA 1,50 M DE ALTURA EN RELLENO CON CASCAJO (SPT MENOR O IGUAL A 30)	M3	14,63	10,95	\$ 160,19
31.23.002		EXCAVACIÓN A MAQUINA HASTA 2.00M DE ALTURA (SPT MENOR O IGUAL A 30)	M3	1462,89	2,86	\$ 4.183,87
31.23.035		DESALOJO DE MATERIAL DE 25,01 KM. A 30 KM. O MAS (INCLUYE ESPONJAMIENTO)	M3	254,39	7,34	\$ 1.867,21
31.23.018		RELLENO COMPACTADO MECÁNICAMENTE CON MATERIAL DEL LUGAR	M3	1223,13	5,18	\$ 6.335,81
32.01.001		PERFILADA DE PAVIMENTO FLEXIBLE (ASFALTO)	M	656,00	2,09	\$ 1.371,04
03.81.002		PERFILADA DE PAVIMENTO RÍGIDO DE HS EN CALLE, INCLUYE MATERIAL BITUMINOSO/ SELLAR/ JUNTA	M	369,00	4,24	\$ 1.564,56
03.81.001		PERFILADA DE PAVIMENTO RÍGIDO DE HS EN ACERA	M	12662,00	3,09	\$ 39.125,58
32.01.004		ROTURA DE CARPETA ASFÁLTICA DE E = 0.11M A 0.15M, CON BOB – CAT	M2	110,25	8,35	\$ 920,59
03.81.010		ROTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO EN CALLE DE E=0.20M, CON BOB - CAT.	M2	62,65	17,81	\$ 1.115,80
03.81.009		ROTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO EN ACERA DE E=0.10M, CON COMPRESOR.	M2	2215,85	4,08	\$ 9.040,67
32.01.009		REPOSICIÓN DE CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE	M3	11,03	168,63	\$ 1.859,15
32.13.005		REPOSICIÓN DE PAVIMENTO RÍGIDO DE, F'C=280 Kg./CM2.	M3	12,53	151,02	\$ 1.892,28
32.13.001		REPOSICIÓN DE PAVIMENTO RÍGIDO DE E=0.10M, m2 F'C=210 kg/Cm2.	M2	221,59	16,99	\$ 3.764,73
31.23.023		MATERIAL DE SUB-BASE CLASE I (COMPACTADO - m3 PAVIMENTO RÍGIDO)	M3	10,74	21,06	\$ 226,18
31.23.022		MATERIAL DE BASE CLASE I (COMPACTADO - PAVIMENTO FLEXIBLE).	M3	18,90	22,30	\$ 421,47
03.81.008		ROTURA DE BORDILLO Y CUNETAS DE 0,40 M X 0,20 M Y 0,40 M X 0,20 M	M	38,00	14,29	\$ 543,02
32.16.001		REPOSICIÓN DE BORDILLO Y CUNETAS DE 0,40 M X 0,20M Y 0,40M X 0,20 M F'C= 280 kg/Vm2	M	38,00	34,25	\$ 1.301,50

03.34.013		BLOQUE DE ANCLAJE DE HS, F'C=280 kg/cm2.	m3	0,99	156,96	\$	155,39
22.10.649		TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE TUBERÍA MATRIZ DE PEAD DE D=63 ,90 MM. L= 100 M INCLUYE ACCESORIOS, CINTA OLITAS Y VÁLVULAS (CON EQUIPO ELECTROFUSION DE CONTRATISTA)	M	6790,00	2,35	\$	15.956,50
22.10.650		TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE TUBERÍA MATRIZ DE PEAD DE D=110 MM. L= 50 M INCLUYE ACCESORIOS, CINTA OLITAS Y VALVULAS (CON EQUIPO ELECTROFUSION DE CONTRATISTA)	M	30,00	2,57	\$	77,10
22.10.038		CONEXIÓN EN TEE DE D=160MM, 200MM Y 250MM	U	2,00	158,02	\$	316,04
22.10.026		PRUEBAS HIDRÁULICAS DE TUBERÍAS MATRICES DE D=63MM, 90MM Y 110MM, CONTRATISTA.	M	6820,00	0,53	\$	3.614,60
22.10.031		DESINFECCIÓN DE TUBERÍAS MATRICES DE D=63MM, 90MM Y 110MM, CONTRATISTA	M	6820,00	1,66	\$	11.321,20
31.23.043		BOMBEO DE D=4".	DÍA	11,67	54,86	\$	640,03
05.41.008		SUMINISTRO Y COLOCACION DE CAJETIN METALICO Ø 160 MM. PARA VALVULA AA.PP.	U	12,00	41,14	\$	493,68
22.10.380		PRUEBA ZPT (INCLUYE INFORME TECNICO)	M	6820,00	0,12	\$	818,40
22.10.381		PRUEBA QPF(INCLUYE INFORME TECNICO)	M	6820,00	0,25	\$	1.705,00
	2.1.4	INSTALACIÓN DE GUÍAS DOMICILIARIAS				\$	8.104,00
22.10.044		INSTALACIÓN DE GUÍAS DE 20 MM HASTA 32 MM CON EQUIPO DE CONTRATISTA INCLUYE (INC. EXCAVACIÓN, REPLANTILLO DE ARENA, RELLENO CON MATERIAL CASCAJO, INSTALACIÓN DE ACOMETIDA CON X M DE LONGITUD, SILLETAS O COLLARINES SEGÚN DISEÑO TODOS LOS DIÁMETROS, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE TUBERÍA, INSTALACIÓN DE ACCESORIOS, BOMBEO). SIN MEDIDOR NI CAJETÍN CON EQUIPO DE CONTRATISTA	U	800,00	7,03	\$	5.624,00
22.05.095		INSTALACIÓN DE MEDIDOR DE D= 20 MM HASTA 25 MM INCLUYE INSTALACIÓN DE LLAVE PARA PEAD	U	800,00	3,10	\$	2.480,00
	2.1.5	INSTALACIÓN DE HIDRANTES				\$	7.208,79
22.10.317		INSTALACIÓN DE HIDRANTE Ø 90 MM Y 110 MM. INSTALACIÓN de TUBERÍA, ACCESORIOS, VÁLVULAS, MEDIDOR, EXCAVACIÓN, RELLENOS, RETIROS, ROTURAS, CONSTRUCCIÓN DE CÁMARA DE VÁLVULAS HORMIGÓN f'c = 280 kg/Cm2 = 1.47 m3, ACERO DE REFUERZO fy=4200 kg/CM2=4.74 qq, CONSTRUCCIÓN DE CAJA DE MEDIDOR HORMIGÓN f'c=210 kg/CM2=0.26 M3, SUMINISTRO Y VACIADO DE HORMIGÓN PARA ANCLAJE f'c=280 kg/CM2 =0.10 M3 Y EMPATE DE LA RED	U	3,00	2402,93	\$	7.208,79
	2.1.6	INSTALACIÓN DE VÁLVULA DE AIRE EN ACERA				\$	906,74
22.10.319		INSTALACIÓN DE VÁLVULA DE AIRE DE ROSCA INCLUYE LLAVE DE CORTE Y UNIÓN ROSCABLE 1/2"	U	2,00	21,27	\$	42,54
03.31.015		CONSTRUCCIÓN DE CÁMARA PARA VÁLVULA DE AIRE SEGÚN PLANO AP-3027	U	2,00	432,10	\$	864,20
	2.1.7	INSTALACIÓN DE VÁLVULA DE DESAGÜE				\$	120,53

22.10.001		INSTALACIÓN DE VÁLVULA SIN CAJA DE PROTECCIÓN DE D=3" Y 4".	U	1,00	79,39	\$ 79,39
05.41.008		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CAJETÍN METÁLICO Ø 160 MM. PARA VÁLVULA AA.PP.	U	1,00	41,14	\$ 41,14
	2.2	MEDIDAS DE SEGURIDAD INDUSTRIAL Y FACTORES AMBIENTALES				\$ 10.799,06
	2.2.1	SEGURIDAD INDUSTRIAL Y SEÑALIZACIÓN				\$ 4.388,00
44.01.001		COSTO TOTAL DE SEGURIDAD FÍSICA, INDUSTRIAL Y SEÑALIZACIÓN DE CONFORMIDAD CON EL MANUAL INTERAGUA	GB	1,00	4388,0	\$ 4.388,00
	2.2.2	RUBROS AMBIENTALES				\$ 6.411,06
10.10.001		CONTROL DE POLVO (AGUA)	M3	25,00	3,06	\$ 76,50
10.10.002		MONITOREO Y MEDICIÓN DE RUIDO	HORA	72,00	17,85	\$ 1.285,20
10.10.003		MONITOREO Y MEDICIÓN DE POLVO PM10 Y PM2,5	HORA	72,00	31,88	\$ 2.295,36
10.10.004		MONITOREO Y MEDICIÓN DE AIRE NOX, SO2,CO2	HORA	72,00	38,25	\$ 2.754,00
	3	COSTOS DISPOSICIÓN FINAL DE MATERIAL DESALOJADO				\$ 2.897,49
05.41.009		DISPOSICIÓN DE MATERIAL DE DESALOJO EN EL BOTADERO DE LAS IGUANAS	TN	432,46	6,70	\$ 2.897,49
SUBTOTAL						\$ 245.358,12
19% INDIRECTOS						\$ 46.618,04
SUBTOTAL SIN IVA						\$ 291.976,17
12% IVA (SIN 19% DE INDIRECTOS DE COSTOS DISPOSICIÓN FINAL DE MATERIAL DESALOJADO)						\$ 34.623,38
SUBTOTAL CON IVA						\$ 326.599,55
TOTAL						\$ 326.599,55

NOTA: Costo de precios unitarios (2015) obtenidos del Departamento de Presupuesto de Proyectos – INTERAGUA C. LTDA.

Presupuesto de proyecto de referencia (CRO-025 Circuito 1) considerando instalación de tubería PE100-RC

PRESUPUESTO UTILIZANDO TUBERÍA PE100						
CLAVE		DESCRIPCIÓN	UNID.	CANT.	P. U.	TOTAL
	1	MATERIALES				\$ 62.214,93
	1.1	SUMINISTRO				\$ 62.214,93
	1.1.1	SUMINISTRO DE TUBERIA DE PEAD Y ACCESORIOS DE AAPP.				\$ 45.365,75
22.10.063		TUBO PEAD PE 100 PN 10 BARS SDR 17 DIAM 90MM	M	6781,00	5,15	\$ 34.922,15
22.10.064		TUBO PEAD PE 100 PN 10 BARS SDR 17 DIAM 110 MM	M	30,00	8,34	\$ 250,20
22.10.433		MANGUITO DE POLIETILENO ELECTROSOLDABLE Ø90mm, L=148mm	U	67,00	12,42	\$ 832,14
22.10.428		MANGUITO DE POLIETILENO ELECTROSOLDABLE Ø110MM, L=163MM.	U	7,00	15,41	\$ 107,87
22.10.681		TEE POLIETILENO ELECTROSOLDABLE Ø90X90X90MM, L=293MM	U	81,00	31,57	\$ 2.557,17
22.10.682		TEE POLIETILENO ELECTROSOLDABLE Ø110X110X110mm, L=328mm	U	4,00	43,49	\$ 173,96
22.10.684		TEE POLIETILENO REDUCTORA Ø250X110X250MM, L=538MM	U	2,00	490,90	\$ 981,80
22.10.685		REDUCCIÓN EN POLIETILENO 491104 ELECTROSOLDABLE Ø110 x 90mm	U	6,00	26,41	\$ 158,46
22.10.360		CODO POLIETILENO ELECTROSOLDABLE 45°-Ø90mm, L=210MM	U	2,00	34,09	\$ 68,18
22.10.366		CODO POLIETILENO ELECTROSOLDABLE 90°-Ø90mm, L=241mm	U	7,00	34,09	\$ 238,63
22.10.361		CODO POLIETILENO ELECTROSOLDABLE 90°-Ø110mm, L=210MM	U	1,00	48,57	\$ 48,57
22.40.436		VÁLVULA DE COMPUERTA EXTREMOS POLIETILENO PARA SOLDAR CUERPO Y TAPA EN FUNDICIÓN NODULAR EN-GJS-500-7 (GGG-50) RECUBRIMIENTO INTERIOR Y EXTERIOR EPOXI ELECTROESTATICO... EN 1092-2 PN 10 DN= 80 MM.	U	6,00	489,76	\$ 2.938,56
22.40.437		VÁLVULA DE COMPUERTA EXTREMOS POLIETILENO PARA SOLDAR CUERPO Y TAPA EN FUNDICIÓN NODULAR EN-GJS-500-7 (GGG-50) RECUBRIMIENTO INTERIOR Y EXTERIOR EPOXI ELECTROESTATICO... EN 1092-2 PN 10 DN= 100 MM.	U	3,00	572,60	\$ 1.717,80
05.41.008		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CAJETÍN METÁLICO Ø 160 MM. PARA VÁLVULA AA.PP.	U	9,00	41,14	\$ 370,26
	1.1.2	SUMINISTRO DE TUBERÍA DE PEAD Y ACCESORIOS DE AAPP. PARA GUÍAS DOMICILIARIAS				\$ 8.544,00
22.10.060		TUBO PEAD PE 100 PN 10 BARS SDR 9 DIAM 20 MM ROLLO X 100 MT	M	1600,00	0,65	\$ 1.040,00
22.05.074		SILLETAS DE TERMOFUSIÓN PARA PEAD Ø90MM X 20 MM	U	800,00	3,40	\$ 2.720,00
22.05.094		LLAVE DE CORTE INVOLABLE Ø 1/2"	U	800,00	5,98	\$ 4.784,00
	1.1.3	SUMINISTRO PARA HIDRANTE CON EXTREMO BRIDADO Y MEDIDOR CON ADAPTADOR DE BRIDA				\$ 6.875,13
22.10.681		TEE PEAD PN10 PARA ELECTROFUSIÓN Ø90mm	U	3,00	31,57	\$ 94,71
22.10.360		CODO PEAD KIT PE100 PN 10 PARA ELECTROFUSIÓN DIÁMETRO Ø90MM X45°	U	6,00	34,09	\$ 204,54
22.10.433		MANGUITO POLIETILENO ELECTROSOLDABLE Ø90mm, L=148mm	U	12,00	12,42	\$ 149,04
20.10.063		TUBO PEAD PE 100 PN 10 BARS SDR 17 DIAM 90 MM	M	9,00	5,15	\$ 46,35
22.10.314		CONTRABRIDA DE Ø 90MM	U	15,00	12,00	\$ 180,00
22.10.315		PORTABRIDA DE Ø 90MM	U	15,00	7,85	\$ 117,75
22.40.440		VÁLVULA DE COMPUERTA DE CIERRE ELÁSTICO CONTRA INCENDIO DN 80MM PN 16	U	3,00	752,58	\$ 2.257,74

22.05.097		MEDIDOR DE 3" PARA HIDRANTE CLASE B	U	3,00	529,50	\$	1.588,50
22.09.028		HIDRANTE NO. 3 DN80 BRIDADO CON DOS SALIDA DE 2 1/2" TIPO ROSCA 8 HILOS/PULG	U	3,00	560,70	\$	1.682,10
05.20.012		PERNO ACERO GALVANIZADO 16 MM X 85 MM. PARA BRIDAS DN 80	U	120,00	4,62	\$	554,40
	1.1.4	SUMINISTRO PARA VÁLVULA DE AIRE DE 20MM				\$	815,70
22.05.074		SILLETAS DE TERMOFUSIÓN PARA PEAD Ø90MM X 20 MM	U	2,00	3,40	\$	6,80
22.10.060		TUBO PEAD PE 100 PN 10 BARS SDR 9 DIAM 20 MM ROLLO X 100 MT	M	8,00	0,65	\$	5,20
22.10.416		CODO DE PEAD PE 100 PN 10 TERMOFUSIÓN D=1/2" 90°	U	2,00	3,15	\$	6,30
22.05.094		LLAVE DE CORTE INVOLABLE Ø 1/2"	U	2,00	5,98	\$	11,96
22.40.163		VÁLVULA DE AIRE D= 1/2"	U	2,00	378,15	\$	756,30
22.40.301		LLAVE DE CONTROL TIPO GLOBO Ø 1/2" DE ACERO INOXIDABLE	U	2,00	14,57	\$	29,14
	1.1.5	SUMINISTRO PARA VÁLVULA DE DESAGÜE DE 90MM				\$	614,35
22.10.681		TEE POLIETILENO ELECTROSOLDABLE Ø90X90X90mm, L=293mm	U	1,00	31,57	\$	31,57
20.10.063		TUBO PEAD PE 100 PN 10 BARS SDR 17 DIAM 90 MM	M	2,00	34,09	\$	68,18
22.40.436		VÁLVULA DE COMPUERTA EXTREMOS POLIETILENO PARA SOLDAR CUERPO Y TAPA EN FUNDICIÓN NODULAR EN 1092-2 PN 10 DN=80MM.	U	1,00	489,76	\$	489,76
22.10.433		MANGUITO POLIETILENO ELECTROSOLDABLE Ø90mm, L=148mm	U	2,00	12,42	\$	24,84
	2	OBRA CIVIL				\$	178.867,36
	2.1	INSTALACIÓN				\$	168.068,30
	2.1.1	ACTIVIDADES ADICIONALES DEL CONTRATISTA				\$	236,83
90.01.002		ELABORACIÓN DE PLANOS AS-BUILT	U	1,00	181,60	\$	181,60
90.01.005		PLANOS ESQUINEROS PARA AAPP. (INCLUYE LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y DIBUJO)	U	7,00	7,89	\$	55,23
	2.1.2	PREPARACIÓN DEL SITIO Y REPLANTEO DE LAS OBRAS. SONDEO.				\$	1.979,25
31.01.001		PREPARACIÓN DEL SITIO, REPLANTEO Y NIVELACIÓN DE LA OBRA INCLUYE LEVANTAMIENTO PLANIMÉTRICO Y ALTIMÉTRICO PARA INSTALACIÓN DE TUBERÍAS	M	6825,00	0,29	\$	1.979,25
	2.1.3	INSTALACIÓN DE TUBERÍA DE PEAD				\$	149.512,16
31.23.064		EXCAVACIÓN A MANO HASTA 1,50 M DE ALTURA EN RELLENO CON CASCAJO (SPT MENOR O IGUAL A 30)	M3	136,50	10,95	\$	1.494,68
31.23.002		EXCAVACIÓN A MAQUINA HASTA 2.00M DE ALTURA (SPT MENOR O IGUAL A 30)	M3	1814,02	2,86	\$	5.188,10
31.23.035		DESALOJO DE MATERIAL DE 25,01 KM. A 30 KM. O MAS (INCLUYE ESPONJAMIENTO)	M3	1950,52	7,34	\$	14.316,82
31.23.012		REPLANTILLO Y RECUBRIMIENTO DE ARENA	m3	819,00	14,16	\$	11.597,04
31.23.019		RELLENO COMPACTADO MECÁNICAMENTE CON MATERIAL CASCAJO IMPORTADO	m3	1065,92	12,33	\$	13.142,79
32.01.001		PERFILADA DE PAVIMENTO FLEXIBLE (ASFALTO)	M	656,00	2,09	\$	1.371,04
03.81.002		PERFILADA DE PAVIMENTO RÍGIDO DE HS EN CALLE, INCLUYE MATERIAL BITUMINOSO/ SELLAR/ JUNTA	M	369,00	4,24	\$	1.564,56
03.81.001		PERFILADA DE PAVIMENTO RÍGIDO DE HS EN ACERA	M	12662,00	3,09	\$	39.125,58
32.01.004		ROTURA DE CARPETA ASFÁLTICA DE E = 0.11M A 0.15M, CON BOB - CAT	M2	141,75	8,35	\$	1.183,61

03.81.010		ROTURA DE PAVIMENTO RIGIDO EN CALLE DE E=0.20M, CON BOB -CAT.	M2	80,55	17,81	\$	1.434,60
03.81.009		ROTURA DE PAVIMENTO RIGIDO EN ACERA DE E=0.10M, CON COMPRESOR.	M2	2848,95	4,08	\$	11.623,72
32.01.009		REPOSICIÓN DE CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE	M3	14,18	168,63	\$	2.390,33
32.13.005		REPOSICIÓN DE PAVIMENTO RIGIDO DE, F'C=280 Kg./CM2.	M3	16,11	151,02	\$	2.432,93
32.13.001		REPOSICIÓN DE PAVIMENTO RIGIDO DE E=0.10M, m2 F'C=210 kg/CM2.	M2	284,90	16,99	\$	4.840,37
31.23.023		MATERIAL DE SUB-BASE CLASE I (COMPACTADO - m3 PAVIMENTO RÍGIDO)	M3	14,32	21,06	\$	301,58
31.23.022		MATERIAL DE BASE CLASE I (COMPACTADO -PAVIMENTO FLEXIBLE).	M3	25,20	22,30	\$	561,96
03.81.008		ROTURA DE BORDILLO Y CUNETAS DE 0,40 M X 0,20 M Y 0,40 M X 0,20 M	M	38,00	14,29	\$	543,02
32.16.001		REPOSICION DE BORDILLO Y CUNETAS DE 0,40 M X 0,20 M Y 0,40 M X 0,20 M F'C= 280 kg/CM2	M	38,00	34,25	\$	1.301,50
03.34.013		BLOQUE DE ANCLAJE DE HS, F'C=280 kg/CM2.	m3	0,99	156,96	\$	155,39
22.10.649		TRANSPORTE E INSTALACION DE TUBERÍA MATRIZ DE PEAD DE D=63 ,90 MM. L= 100 M INCLUYE ACCESORIOS, CINTA OLITAS Y VALVULAS (CON EQUIPO ELECTROFUSION DE CONTRATISTA)	M	6790,00	2,35	\$	15.956,50
22.10.650		TRANSPORTE E INSTALACION DE TUBERÍA MATRIZ DE PEAD DE D=110 MM. L= 50 M INCLUYE ACCESORIOS, CINTA OLITAS Y VALVULAS (CON EQUIPO ELECTROFUSION DE CONTRATISTA)	M	30,00	2,57	\$	77,10
22.10.038		CONEXIÓN EN TEE DE D=160MM, 200MM Y 250MM	U	2,00	158,02	\$	316,04
22.10.026		PRUEBAS HIDRÁULICAS DE TUBERÍAS MATRICES DE D=63MM, 90MM Y 110MM, CONTRATISTA.	M	6820,00	0,53	\$	3.614,60
22.10.031		DESINFECCIÓN DE TUBERÍAS MATRICES DE D=63MM, 90MM Y 110MM, CONTRATISTA	M	6820,00	1,66	\$	11.321,20
31.23.043		BOMBEO DE D=4".	DIA	11,67	54,86	\$	640,03
05.41.008		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CAJETÍN METÁLICO ø 160 MM. PARA VÁLVULA AA.PP.	U	12,00	41,14	\$	493,68
22.10.380		PRUEBA ZPT (INCLUYE INFORME TÉCNICO)	M	6820,00	0,12	\$	818,40
22.10.381		PRUEBA QPF(INCLUYE INFORME TÉCNICO)	M	6820,00	0,25	\$	1.705,00
	2.1.4	INSTALACIÓN DE GUÍAS DOMICILIARIAS				\$	8.104,00
22.10.044		INSTALACIÓN DE GUÍAS DE 20 MM HASTA 32 MM CON EQUIPO DE CONTRATISTA INCLUYE (INC. EXCAVACIÓN, REPLANTILLO DE ARENA, RELLENO CON MATERIAL CASCAJO, INSTALACIÓN DE ACOMETIDA CON X M DE LONGITUD, SILLETAS O COLLARINES SEGÚN DISEÑO TODOS LOS DIÁMETROS, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE TUBERÍA, INSTALACIÓN DE ACCESORIOS, BOMBEO). SIN MEDIDOR NI CAJETÍN CON EQUIPO DE CONTRATISTA	U	800,00	7,03	\$	5.624,00
22.05.095		INSTALACIÓN DE MEDIDOR DE D= 20 MM HASTA 25 MM INCLUYE INSTALACIÓN DE LLAVE PARA PEAD	U	800,00	3,10	\$	2.480,00
	2.1.5	INSTALACIÓN DE HIDRANTES				\$	7.208,79

22.10.317		INSTALACION DE HIDRANTE Ø 90 MM Y 110 MM. INSTALACION de TUBERÍA, ACCESORIOS, VALVULAS, MEDIDOR, EXCAVACIÓN, RELLENOS, RETIROS, ROTURAS, CONSTRUCCIÓN DE CÁMARA DE VÁLVULAS HORMIGÓN f'c = 280 kg/Cm2 = 1.47 m3, ACERO DE REFUERZO fy=4200 kg/vm2=4.74 qq, CONSTRUCCIÓN DE CAJA DE MEDIDOR HORMIGÓN f'c=210 kg/Cm2=0.26 M3, SUMINISTRO Y VACIADO DE HORMIGÓN PARA ANCLAJE f'c=280 KG/CM2 =0.10 M3 Y EMPATE DE LA RED	U	3,00	2402,93	\$ 7.208,79
	2.1.6	INSTALACIÓN DE VÁLVULA DE AIRE EN ACERA				\$ 906,74
22.10.319		INSTALACIÓN DE VÁLVULA DE AIRE DE ROSCA INCLUYE LLAVE DE CORTE Y UNIÓN ROSCABLE 1/2"	U	2,00	21,27	\$ 42,54
03.31.015		CONSTRUCCIÓN DE CÁMARA PARA VÁLVULA DE AIRE	U	2,00	432,10	\$ 864,20
	2.1.7	INSTALACIÓN DE DESAGÜE				\$ 120,53
22.10.001		INSTALACIÓN DE VÁLVULA SIN CAJA DE PROTECCIÓN DE D=3" Y 4".	U	1,00	79,39	\$ 79,39
05.41.008		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CAJETÍN METÁLICO ø 160 MM. PARA VÁLVULA AA.PP.	U	1,00	41,14	\$ 41,14
	2.2	MEDIDAS DE SEGURIDAD INDUSTRIAL Y FACTORES AMBIENTALES				\$ 10.799,06
	2.2.1	SEGURIDAD INDUSTRIAL Y SEÑALIZACIÓN				\$ 4.388,00
44.01.001		COSTO TOTAL DE SEGURIDAD FISICA, INDUSTRIAL Y SEÑALIZACION DE CONFORMIDAD CON EL MANUAL INTERAGUA.	GB	1,00	4388,0	\$ 4.388,00
	2.2.2	RUBROS AMBIENTALES				\$ 6.411,06
10.10.001		CONTROL DE POLVO (AGUA)	M3	25,00	3,06	\$ 76,50
10.10.002		MONITOREO Y MEDICIÓN DE RUIDO	HORA	72,00	17,85	\$ 1.285,20
10.10.003		MONITOREO Y MEDICIÓN DE POLVO PM10 Y PM2,5	HORA	72,00	31,88	\$ 2.295,36
10.10.004		MONITOREO Y MEDICIÓN DE AIRE NOX, SO2,CO2	HORA	72,00	38,25	\$ 2.754,00
	3	COSTOS DISPOSICIÓN FINAL DE MATERIAL DESALOJADO				\$ 22.216,42
31.23.037		DISPOSICIÓN DE MATERIAL DE DESALOJO EN EL BOTADERO DE LAS IGUANAS	TN	3315,88	6,70	\$ 22.216,42
					SUBTOTAL	\$ 263.298,71
					19% INDIRECTOS	\$ 50.026,76
					SUBTOTAL SIN IVA	\$ 313.325,47
					12% IVA (SIN 19% DE INDIRECTOS DE COSTOS DISPOSICIÓN FINAL DE MATERIAL DESALOJADO)	\$ 30.478,38
					SUBTOTAL CON IVA	\$ 343.803,85
					TOTAL	\$ 343.803,85

NOTA: Costo de precios unitarios (2015) obtenidos del Departamento de Presupuesto de Proyectos – INTERAGUA C. LTDA.

Presupuesto de proyecto de referencia (CRO-025 Circuito 1) considerando instalación de tubería PE100

PRESUPUESTO UTILIZANDO TUBERÍA PVC-U						
CLAVE		DESCRIPCIÓN	UNID.	CANT.	P. U.	TOTAL
	1	MATERIALES				\$ 42.318,38
	1.1	SUMINISTRO				\$ 42.318,38
	1.1.1	SUMINISTRO DE TUBERÍA DE PVC Y ACCESORIOS DE AAPP.				\$ 24.655,29
22.10.724		TUBERÍA PVC UNIÓN ELASTOMERICA PRESIÓN 1,00 MPA D=90MM (6MTS)	M	6781,00	2,90	\$ 19.664,90
22.10.725		TUBERÍA PVC UNIÓN ELASTOMERICA PRESIÓN 1,00 MPA D=110MM (6MTS)	M	30,00	4,25	\$ 127,50
22.10.178		TEE PVC DIAM. 90MM U/Z (INYECTADO)	U	81,00	19,00	\$ 1.539,00
22.10.182		TEE PVC DIAM. 110MM U/Z (INYECTADO)	U	4,00	33,60	\$ 134,40
22.10.194		TEE PVC DIAM. 250MM CON REDUCCIÓN A 110MM U/Z (INYECTADO)	U	2,00	250,00	\$ 500,00
22.10.131		REDUCTOR PVC 110MM A 90MM U/Z (INYECTADO)	U	6,00	16,30	\$ 97,80
22.10.091		CODO 45º PVC RADIO LARGO D=90MM U/Z	U	2,00	5,28	\$ 10,56
22.10.104		CODO 90º RADIO LARGO PVC D=90MM U/Z	U	7,00	6,74	\$ 47,18
22.10.105		CODO 90º PVC RADIO LARGO D=110MM U/Z	U	1,00	18,85	\$ 18,85
22.40.236		ADAPTADOR DE BRIDA UNIVERSAL HD TOLERANCIA 88-109 PN10/PN16	U	14,00	41,30	\$ 578,20
22.40.223		ADAPTADOR DE BRIDA UNIVERSAL TOLERANCIA 107,2-127,8 PN10/PN16	U	4,00	48,34	\$ 193,36
22.40.178		VÁLVULA DE COMPUERTA SELLO ELÁSTICO EXTREMO BRIDADO PN 10 DN= 80 MM. INCLUYE PERNOS Y EMPAQUES	U	6,00	144,99	\$ 869,94
22.40.179		VÁLVULA DE COMPUERTA SELLO ELÁSTICO EXTREMO BRIDADO PN 16 DN= 100 MM. INCLUYE PERNOS Y EMPAQUES	U	3,00	167,78	\$ 503,34
05.41.008		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CAJETÍN METÁLICO Ø 160 MM. PARA VÁLVULA AA.PP.	U	9,00	41,14	\$ 370,26
	1.1.2	SUMINISTRO DE TUBERÍA DE PVC Y ACCESORIOS DE AAPP. PARA GUÍAS DOMICILIARIAS				\$ 9.728,00
22.10.213		TUBERÍA PVC ROSCABLE 1/2" L=6MTS (AAPP)	M	1600,00	1,08	\$ 1.728,00
22.05.102		COLLARÍN DE TOMA DE POLIPROPILENO PARA TUBERÍAS DE PVC, PN 10, D=90 MM ROSCA 1/2"	U	800,00	4,02	\$ 3.216,00
22.05.094		LLAVE DE CORTE INVOLABLE Ø 1/2"	U	800,00	5,98	\$ 4.784,00
	1.1.3	SUMINISTRO PARA HIDRANTE CON EXTREMO BRIDADO Y MEDIDOR CON ADAPTADOR DE BRIDA				\$ 6.864,66
22.10.178		TEE PVC DIAM. 90MM U/Z (INYECTADO)	U	3,00	19,00	\$ 57,00
22.10.104		CODO 90º RADIO LARGO PVC D=90MM U/Z	U	3,00	6,74	\$ 20,22
22.10.101		CODO 45º RADIO CORTO PVC D=90MM U/Z	U	6,00	9,85	\$ 59,10
22.40.236		ADAPTADOR DE BRIDA UNIVERSAL HD TOLERANCIA 88-109 PN10/PN16	U	15,00	41,30	\$ 619,50

22.10.724		TUBERÍA PVC UNIÓN ELASTOMERICA PRESIÓN 1,00 MPA D=90MM (6MTS)	M	9,00	2,90	\$ 26,10
22.40.440		VÁLVULA DE COMPUERTA DE CIERRE ELÁSTICO CONTRA INCENDIO DN 80MM PN 16	U	3,00	752,58	\$ 2.257,74
22.05.097		MEDIDOR DE 3" PARA HIDRANTE CLASE B	U	3,00	529,50	\$ 1.588,50
22.09.028		HIDRANTE NO. 3 DN80 BRIDADO CON DOS SALIDA DE 2 1/2" TIPO ROSCA 8 HILOS/PULG	U	3,00	560,70	\$ 1.682,10
05.20.012		PERNO ACERO GALVANIZADO 16 MM X 80 MM. PARA BRIDAS DN 100	U	120,00	4,62	\$ 554,40
	1.1.4	SUMINISTRO PARA VÁLVULA DE AIRE DE 20MM				\$ 815,14
22.05.102		COLLARÍN DE TOMA DE POLIPROPILENO PARA TUBERÍAS DE PVC, PN 10, D=90 MM ROSCA 1/2"	U	2,00	4,02	\$ 8,04
22.10.213		TUBERÍA PVC ROSCABLE 1/2" L=6MTS (AAPP)	M	8,00	1,08	\$ 8,64
22.10.425		CODO 90º PVC D=1/2" ROSCABLE	U	2,00	0,53	\$ 1,06
22.05.094		LLAVE DE CORTE INVOLABLE Ø 1/2"	U	2,00	5,98	\$ 11,96
22.40.163		VÁLVULA DE AIRE D= 1/2"	U	2,00	378,15	\$ 756,30
22.40.301		LLAVE DE CONTROL TIPO GLOBO Ø 1/2" DE ACERO INOXIDABLE	U	2,00	14,57	\$ 29,14
	1.1.5	SUMINISTRO PARA VÁLVULA DE DESAGÜE DE 90MM				\$ 255,29
22.10.178		TEE PVC DIAM. 90MM U/Z (INYECTADO)	U	1,00	19,00	\$ 19,00
22.10.724		TUBERÍA PVC UNIÓN ELASTOMERICA PRESIÓN 1,00 MPA D=90MM (6MTS)	M	3,00	2,90	\$ 8,70
22.40.178		VÁLVULA DE COMPUERTA SELLO ELÁSTICO EXTREMO BRIDADO PN 10 DN= 80 MM. INCLUYE PERNOS Y EMPAQUES	U	1,00	144,99	\$ 144,99
22.40.236		ADAPTADOR DE BRIDA UNIVERSAL HD TOLERANCIA 88-109 PN10/PN16	U	2,00	41,30	\$ 82,60
	2	OBRA CIVIL				\$ 182.974,28
	2.1	INSTALACION				\$ 172.175,22
	2.1.1	ACTIVIDADES ADICIONALES DEL CONTRATISTA				\$ 236,83
90.01.002		ELABORACIÓN DE PLANOS AS-BUILT	U	1,00	181,60	\$ 181,60
90.01.005		PLANOS ESQUINEROS PARA AAPP. (INCLUYE LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO Y DIBUJO)	U	7,00	7,89	\$ 55,23
	2.1.2	PREPARACIÓN DEL SITIO Y REPLANTEO DE LAS OBRAS. SONDEO.				\$ 1.979,25
31.01.001		PREPARACIÓN DEL SITIO, REPLANTEO Y NIVELACIÓN DE LA OBRA INCLUYE LEVANTAMIENTO PLANIMÉTRICO Y ALTIMÉTRICO PARA INSTALACION DE TUBERÍAS	M	6825,00	0,29	\$ 1.979,25
	2.13	INSTALACION DE TUBERÍA DE PVC				\$ 153.619,08
31.23.064		EXCAVACIÓN A MANO HASTA 1,50 M DE ALTURA EN RELLENO CON CASCAJO (SPT MENOR O IGUAL A 30)	M3	136,50	10,95	\$ 1.494,68
31.23.002		EXCAVACIÓN A MAQUINA HASTA 2.00M DE ALTURA (SPT MENOR O IGUAL A 30)	M3	2173,29	2,86	\$ 6.215,60

31.23.035	DESALOJO DE MATERIAL DE 25,01 KM. A 30 KM. O MAS (INCLUYE ESPONJAMIENTO)	M3	2309,79	7,34	\$	16.953,84
31.23.012	REPLANTILLO Y RECUBRIMIENTO DE ARENA	m3	819,00	14,16	\$	11.597,04
31.23.019	RELLENO COMPACTADO MECÁNICAMENTE CON MATERIAL CASCAJO IMPORTADO	m3	1425,19	12,33	\$	17.572,57
32.01.001	PERFILADA DE PAVIMENTO FLEXIBLE (ASFALTO)	M	656,00	2,01	\$	1.317,90
03.81.002	PERFILADA DE PAVIMENTO RIGIDO DE HS EN CALLE, INCLUYE MATERIAL BITUMINOSO/ SELLAR/ JUNTA	M	369,00	4,24	\$	1.564,56
03.81.001	PERFILADA DE PAVIMENTO RIGIDO DE HS EN ACERA	M	12662,00	3,09	\$	39.125,58
32.01.004	ROTURA DE CARPETA ASFÁLTICA DE E = 0.11M A 0.15M, CON BOB – CAT	M2	141,75	8,35	\$	1.183,61
03.81.010	ROTURA DE PAVIMENTO RIGIDO EN CALLE DE E=0.20M, CON BOB - CAT.	M2	80,55	17,81	\$	1.434,60
03.81.009	ROTURA DE PAVIMENTO RIGIDO EN ACERA DE E=0.10M, CON COMPRESOR.	M2	2848,95	4,08	\$	11.623,72
32.01.009	REPOSICIÓN DE CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE	M3	14,18	168,63	\$	2.390,33
32.13.005	REPOSICION DE PAVIMENTO RIGIDO DE, F'C=280 kg./CM2.	M3	16,11	151,02	\$	2.432,93
32.13.001	REPOSICION DE PAVIMENTO RIGIDO DE E=0.10M, m2 F'C=210 kg/cm2.	M2	284,90	16,99	\$	4.840,37
31.23.023	MATERIAL DE SUB-BASE CLASE I (COMPACTADO - M3 PAVIMENTO RÍGIDO)	M3	14,32	21,06	\$	301,58
31.23.022	MATERIAL DE BASE CLASE I (COMPACTADO - PAVIMENTO FLEXIBLE).	M3	25,20	22,30	\$	561,96
03.81.008	ROTURA DE BORDILLO Y CUNETA DE 0,40 M X 0,20 M Y 0,40 M X 0,20 M	M	38,00	14,29	\$	543,02
32.16.001	REPOSICION DE BORDILLO Y CUNETA DE 0,40 M X 0,20 M Y 0,40 M X 0,20 M F'C= 280 kg/cm2	M	38,00	34,25	\$	1.301,50
03.34.013	BLOQUE DE ANCLAJE DE HS, F'C=280 kg/cm2.	m3	28,49	156,96	\$	4.471,79
22.10.322	TRANSPORTE E INSTALACION DE TUBERÍA MATRIZ DE PVC DE D=90MM. (INCLUYE CINTA OLITAS)	M	6790,00	1,03	\$	6.993,70
22.10.323	TRANSPORTE E INSTALACION DE TUBERÍA MATRIZ DE PVC DE D=110MM. (INCLUYE CINTA OLITAS)	M	30,00	1,12	\$	33,60
22.10.001	INSTALACIÓN DE VÁLVULA SIN CAJA DE PROTECCIÓN DE D=3" Y 4".	U	9,00	79,39	\$	714,51
22.10.038	CONEXIÓN EN TEE DE D=160MM, 200MM Y 250MM	U	2,00	158,02	\$	316,04
22.10.026	PRUEBAS HIDRÁULICAS DE TUBERÍAS MATRICES DE D=63MM, 90MM Y 110MM, CONTRATISTA.	M	6820,00	0,53	\$	3.614,60
22.10.031	DESINFECCIÓN DE TUBERÍAS MATRICES DE D=63MM, 90MM Y 110MM, CONTRATISTA	M	6820,00	1,66	\$	11.321,20
31.23.043	BOMBEO DE D=4".	DÍA	11,67	54,86	\$	640,03
05.41.008	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CAJETÍN METÁLICO Ø 160 MM. PARA VÁLVULA AA.PP.	U	13,00	41,14	\$	534,82
22.10.380	PRUEBA ZPT (INCLUYE INFORME TÉCNICO)	M	6820,00	0,12	\$	818,40
22.10.381	PRUEBA QPF(INCLUYE INFORME TÉCNICO)	M	6820,00	0,25	\$	1.705,00
2.1.4	INSTALACIÓN DE GUÍAS DOMICILIARIAS				\$	8.104,00

22.10.044		INSTALACIÓN DE GUÍAS DE 20 MM HASTA 32 MM CON EQUIPO DE CONTRATISTA INCLUYE (INC. EXCAVACIÓN, REPLANTILLO DE ARENA, RELLENO CON MATERIAL CASCAJO, INSTALACIÓN DE ACOMETIDA CON X M DE LONGITUD, SILLETAS O COLLARINES SEGÚN DISEÑO TODOS LOS DIÁMETROS, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE TUBERÍA, INSTALACIÓN DE ACCESORIOS, BOMBEO). SIN MEDIDOR NI CAJETÍN CON EQUIPO DE CONTRATISTA	U	800,00	7,03	\$ 5.624,00
22.05.095		INSTALACION DE MEDIDOR DE D= 20 MM HASTA 25 MM INCLUYE INSTALACION DE LLAVE PARA PEAD-PVC	U	800,00	3,10	\$ 2.480,00
	2.1.5	INSTALACIÓN DE HIDRANTES				\$ 7.208,79
22.10.317		INSTALACION DE HIDRANTE Ø 90 MM Y 110 MM. INSTALACION de TUBERÍA, ACCESORIOS, VALVULAS, MEDIDOR, EXCAVACIÓN, RELLENOS, RETIROS, ROTURAS, CONSTRUCCIÓN DE CÁMARA DE VÁLVULAS HORMIGÓN f'c = 280 kg/Cm2 = 1.47 m3, ACERO DE REFUERZO fy=4200 kg/Cm2=4.74 qq, CONSTRUCCIÓN DE CAJA DE MEDIDOR HORMIGÓN f'c=210 kg/Cm2=0.26 M3, SUMINISTRO Y VACIADO DE HORMIGÓN PARA ANCLAJE f'c=280 kg/Cm2 =0.10 M3 Y EMPATE DE LA RED	U	3,00	2402,93	\$ 7.208,79
	2.1.6	INSTALACIÓN DE VÁLVULA DE AIRE EN ACERA				\$ 906,74
22.10.319		INSTALACIÓN DE VÁLVULA DE AIRE DE ROSCA INCLUYE LLAVE DE CORTE Y UNIÓN ROSCABLE 1/2"	U	2,00	21,27	\$ 42,54
03.31.015		CONSTRUCCIÓN DE CÁMARA PARA VÁLVULA DE AIRE SEGÚN PLANO AP-3027	U	2,00	432,10	\$ 864,20
	2.1.7	INSTALACIÓN DE DESAGÜE				\$ 120,53
22.10.001		INSTALACIÓN DE VÁLVULA SIN CAJA DE PROTECCIÓN DE D=3" Y 4".	U	1,00	79,39	\$ 79,39
05.41.008		SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CAJETÍN METÁLICO Ø 160 MM. PARA VÁLVULA AA.PP.	U	1,00	41,14	\$ 41,14
	2.2	MEDIDAS DE SEGURIDAD INDUSTRIAL Y FACTORES AMBIENTALES				\$ 10.799,06
	2.2.1	SEGURIDAD INDUSTRIAL Y SEÑALIZACIÓN				\$ 4.388,00
44.01.001		COSTO TOTAL DE SEGURIDAD FÍSICA, INDUSTRIAL Y SEÑALIZACIÓN DE CONFORMIDAD CON EL MANUAL INTERAGUA.	GB	1,00	4388,00	\$ 4.388,00
	2.2.2	RUBROS AMBIENTALES				\$ 6.411,06
10.10.001		CONTROL DE POLVO (AGUA)	M3	25,00	3,06	\$ 76,50
10.10.002		MONITOREO Y MEDICIÓN DE RUIDO	HORA	72,00	17,85	\$ 1.285,20
10.10.003		MONITOREO Y MEDICIÓN DE POLVO PM10 Y PM2,5	HORA	72,00	31,88	\$ 2.295,36
10.10.004		MONITOREO Y MEDICIÓN DE AIRE NOX, SO2,CO2	HORA	72,00	38,25	\$ 2.754,00
	3	COSTOS DISPOSICIÓN FINAL DE MATERIAL DESALOJADO				\$ 26.308,49
31.23.037		DISPOSICIÓN DE MATERIAL DE DESALOJO EN EL BOTADERO DE LAS IGUANAS	TN	3926,64	6,70	\$ 26.308,49
SUBTOTAL						\$ 251.601,15

19% INDIRECTOS	\$ 47.804,22
SUBTOTAL SIN IVA	\$ 299.405,36
12% IVA (SIN 19% DE INDIRECTOS DE COSTOS DISPOSICIÓN FINAL DE MATERIAL DESALOJADO)	\$ 28.107,40
SUBTOTAL CON IVA	\$ 327.512,76
TOTAL	\$ 327.512,76

NOTA: Costo de precios unitarios (2015) obtenidos del Departamento de Presupuesto de Proyectos – INTERAGUA C. LTDA.

Presupuesto de proyecto de referencia (CRO-025 Circuito 1) considerando instalación de tubería PVC

ANEXO 10

Pruebas de estanqueidad tubería PE100-RC

CONSTRUCTORA.

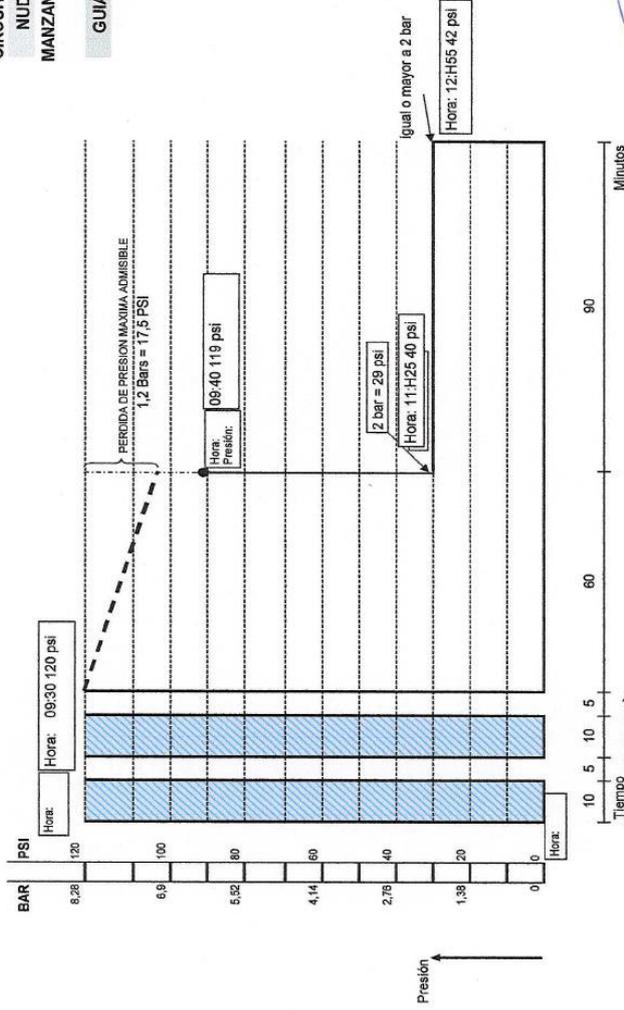
"PROYECTO REHABILITACION DE REDES DE AA PP PROYECTO SECTOR HIDRAULICO GRO-025 CRISTO DEL CONSUELO CON TUBERIA PE-VRC" PRUEBA # 60

PROTOCOLO DE PRUEBA DE PRESIÓN EN SISTEMA DE TUBERIAS DE PEAD

CONTRATISTA : DANIEL SIGUENZA ELIAS
 FISCALIZADOR : ING YOHNNY MIELES

FECHA: 04-nov-14

SECTOR: CRISTO DEL CONSUELO
 CIRCUITO: C2
 NUDO: 25,26,27,28
 MANZANA: 7
 GUJAS: 59



CARACTERISTICAS DEL CIRCUITO A PRUEBA:

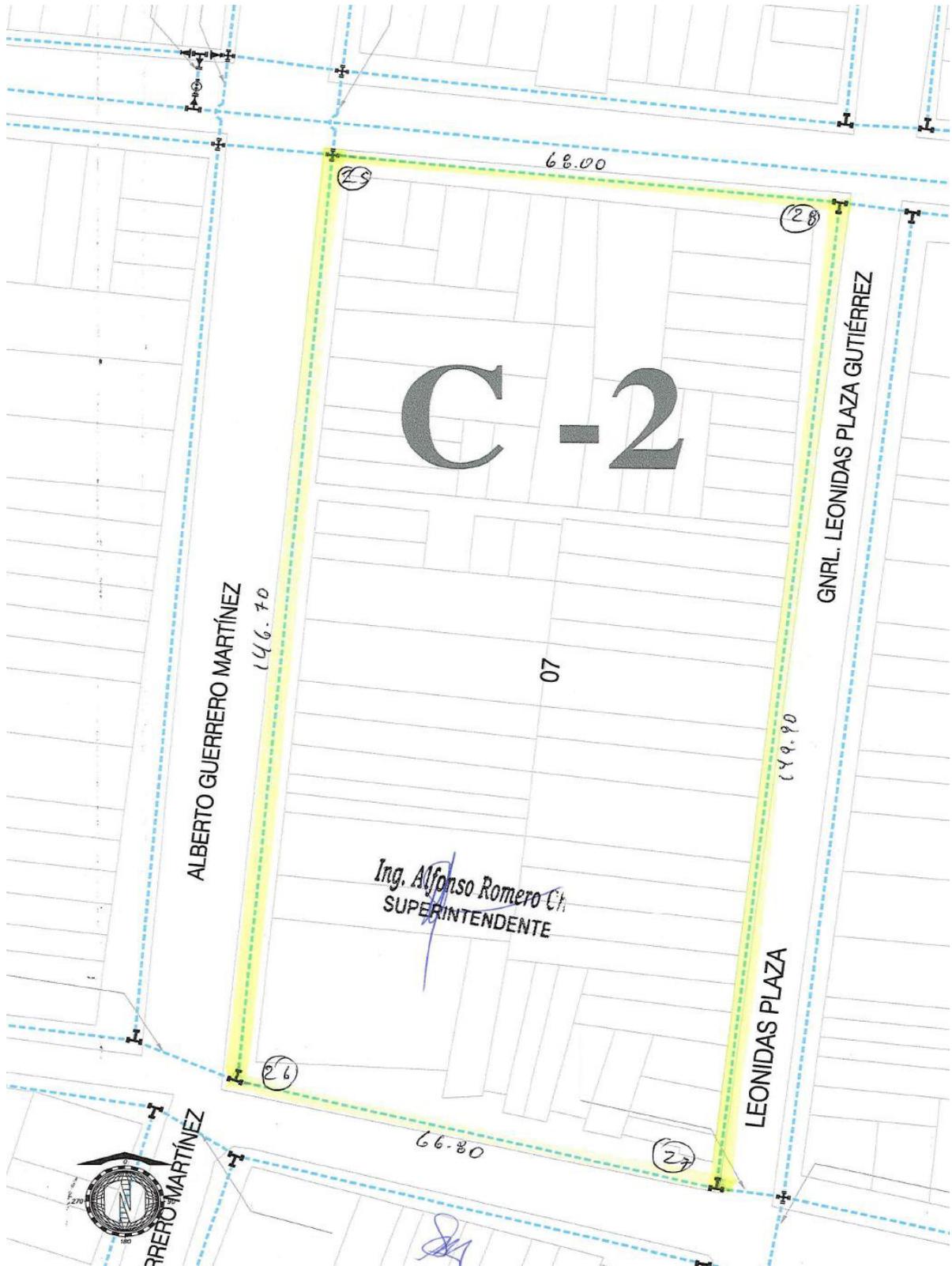
Longitud:	m.	Tuberías D = 63 mm. = m.
		Tuberías D = 90 mm. =	491,40m.
		Tuberías D = 110 mm. = m.
		Tuberías D = 160 mm. = m.
		Tuberías D = 200 mm. = m.
		Tuberías D = 280 mm. = m.
		Tuberías D = 400 mm. = m.

Guías Domiciliarias:	59 Unid
Longitud tubería 20 mm:	143,80 M
Longitud tubería 32 mm: M

Prueba: APROBADA RECHAZADA:

[Signature]
 CONTRATISTA

[Signature]
 FISCALIZADOR



Cálculo de la sobrepresión

Ejemplo práctico:

Caso concreto de un cierre inmediato en el sistema (caso crítico). Suponiendo un tramo lineal sin ramificaciones en un plano horizontal y sin considerar las pérdidas de energía

- Cierre instantáneo

Datos: Tubería PE100 RC , Ø=90mm, e= 5,4mm, L= 6781 m, E=1100 MPa
 Tubería PE100 , Ø=90mm, e= 5,4mm, L= 6781 m, E=1000 MPa
 Tubería PVC-U , Ø=90mm, e= 4,3mm, L= 6781 m, E=3000 MPa

$P_w = 33,95$ mca (presión máxima de servicio)

$\Delta v = 1,5$ m/s

Calculamos celeridad de la onda aplicando ec.(19)

Material	Celeridad de la Onda (m/s)
PE100RC	252,15
PE100	240,76
PVC	405,57

Calculamos Sobrepresión Máxima aplicando ec.(17)

Material	Sobrepresión máxima (mca)
PE100RC	38,59
PE100	36,85
PVC	67,07

- Presión admisible

Aplicando ec. (20)

$$P_w + P_s = P_{max} < C * P_N$$

Material	P_w (mca)	P_s (mca)	P_{max} (mca)	C	$C * P_N$ (mca)
PE100 RC	33,95	38,59	72,54	0,8	80.0
PE100	33,95	36,85	70,80	0,8	80.0