

**DISEÑO DE UNA APLICACIÓN SIG PARA EL SISTEMA DE  
ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE LEBRIJA**

**LUIS OSVALDO ANGULO MENDIVIL  
OSCAR MAURICIO JAIMES QUINTERO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2006**

**DISEÑO DE UNA APLICACIÓN SIG PARA EL SISTEMA DE  
ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE LEBRIJA**

**LUIS OSVALDO ANGULO MENDIVIL  
OSCAR MAURICIO JAIMES QUINTERO**

**Trabajo de grado para optar al título de  
Ingeniero Civil**

**Directores:**

**MARIO GARCÍA SOLANO  
Ingeniero Civil, M.Sc.**

**JORGE GÓMEZ GÓMEZ  
Ingeniero de Vías y Transporte, M.Sc**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2006**

A Dios, la luz de mi vida

A mis padres Gabriel y Dennys, por su amor y constante apoyo en todas las etapas de mi vida.

A mis hermanos, por su afecto y ayuda incondicional.

Pedro y Carmen por su colaboración y compañía durante mi formación profesional

(Luis Osvaldo)

A Dios

A mis padres Jaime y Dracelly, por su amor, compañía y consejos, sin ellos no habría sido posible la realización de este sueño.

A mis hermanas, Ximena y Mónica, por el amor y afecto brindados.

A mi ahijada Alejandra, alegría de mi vida.

(Oscar Mauricio)

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Mario García Solano, Ingeniero Civil M.Sc., director del proyecto, por su valiosa colaboración y seguimiento durante la elaboración del trabajo de investigación.

Jorge Hernando Gómez Gómez, Ingeniero de Vías y Transporte M.Sc., codirector del proyecto, por el aporte de ideas para el desarrollo del trabajo de investigación.

Empresa de Servicios públicos de Lebrija ESPL, por permitirnos llevar a cabo el presente proyecto y facilitarnos el trabajo conjunto con su personal.

Octavio Mantilla, Jefe de Plomeros de la ESPL, por su disposición en el proceso de adquisición de la información, fundamental para el éxito del proyecto.

Gabriel Angulo, por su generosa colaboración en la programación del software y asesoría en el diseño de aplicación.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCION</b> .....	1
<b>1. DESCRIPCION DEL PROYECTO</b> .....	3
<b>1.1. OBJETIVO GENERAL</b> .....	3
<b>1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS</b> .....	3
<b>1.3. JUSTIFICACION</b> .....	4
<b>1.4. ALCANCE</b> .....	6
<b>1.5. MARCO TEORICO</b> .....	7
<b>1.5.1. Sistemas de información geográfica</b> .....	7
<b>1.5.2. Sistemas de distribución de agua potable</b> .....	15
<b>2. ESTADO DEL ARTE Y RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN</b> .....	23
<b>2.1. GENERALIDADES DEL MUNICIPIO</b> .....	23
<b>2.1.1. Ubicación geográfica</b> .....	23
<b>2.1.2. Límites</b> .....	24
<b>2.1.3. Aspectos climatológicos</b> .....	24
<b>2.1.4. Extensión</b> .....	24
<b>2.1.5. Hidrografía</b> .....	25
<b>2.1.6. Demografía</b> .....	26
<b>2.1.7. Vivienda</b> .....	27
<b>2.2. CARTOGRAFIA</b> .....	29
<b>2.2.1. Cartografía convencional</b> .....	30
<b>2.2.2. Cartografía digital</b> .....	31
<b>2.2.3. Investigación</b> .....	32
<b>2.3. RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN</b> .....	33
<b>2.3.1. Fuentes de información</b> .....	34
<b>2.3.2. Información necesaria</b> .....	37
<b>3. SISTEMATIZACION DE LA INFORMACION</b> .....	43

<b>3.1. BASES DE LA SISTEMATIZACIÓN .....</b>	<b>43</b>
<b>3.2. DIGITALIZACIÓN EN AUTOCAD MAP .....</b>	<b>46</b>
<b>3.2.1. Puntos .....</b>	<b>46</b>
<b>3.2.2. Líneas .....</b>	<b>50</b>
<b>3.3. EXPORTACION DE LA INFORMACION .....</b>	<b>51</b>
<b>3.4. SÍMBOLOS UTILIZADOS .....</b>	<b>54</b>
<b>3.5 DEFINICIÓN DE ATRIBUTOS .....</b>	<b>59</b>
<b>3.5.1. Atributos Para accesorios .....</b>	<b>59</b>
<b>3.5.2. Atributos Para tuberías .....</b>	<b>65</b>
<b>4. DESARROLLO DE LA APLICACIÓN SIGVIEWER .....</b>	<b>66</b>
<b>4.1. HERRAMIENTAS Y COMPONENTES DE PROGRAMACIÓN .....</b>	<b>66</b>
<b>4.2. ORIGENES DE DATOS ODBC .....</b>	<b>66</b>
<b>4.3. ESTRUCTURA DEL PROGRAMA .....</b>	<b>68</b>
<b>4.3.1. Modelo conceptual .....</b>	<b>68</b>
<b>4.3.2. Modelo lógico y diccionario de datos .....</b>	<b>68</b>
<b>4.3.3. Formularios usados .....</b>	<b>68</b>
<b>4.3.4. Conformación básica del programa .....</b>	<b>69</b>
<b>4.3.5. Generación de la tabla <i>Coordenadas</i> .....</b>	<b>72</b>
<b>4.3.6. Ejecución de las consultas .....</b>	<b>80</b>
<b>4.3.7. Conformación de los accesos a la base de datos .....</b>	<b>83</b>
<b>5. MODELAMIENTO PARCIAL DE UN SECTOR DE LA RED MEDIANTE EL USO DEL SOFTWARE EPANET .....</b>	<b>86</b>
<b>5.1. LA RED A MODELAR .....</b>	<b>86</b>
<b>5.1.1. Generalidades .....</b>	<b>86</b>
<b>5.1.2. Tipo de red .....</b>	<b>86</b>
<b>5.1.3. Abastecimiento .....</b>	<b>87</b>
<b>5.1.4. Materiales .....</b>	<b>87</b>
<b>5.2. QUE ES EPANET? .....</b>	<b>87</b>
<b>5.3. PRESTACIONES DE EPANET .....</b>	<b>88</b>
<b>5.4. ELABORACION DEL MODELO HIDRAULICO .....</b>	<b>90</b>

5.4.1. Datos necesarios .....	90
5.4.2. La barra de proyecto .....	91
5.4.3. Exportar el mapa de fondo .....	93
5.4.4. Dibujo de la red.....	94
5.4.5. Definiendo la red .....	94
<b>5.5. VISUALIZANDO LOS RESULTADOS DEL ANALISIS .....</b>	<b>99</b>
5.5.1. El visor de Epanet.....	99
5.5.2. La opción <i>Consultar</i> .....	101
5.5.3. Resultados gráficos .....	101
5.5.4. Resultados tabulados .....	101
5.5.5. Informe completo del modelo.....	103
<b>6. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS .....</b>	<b>104</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>107</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>108</b>

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 2.1. Distribución del Uso de suelo .....</b>	<b>25</b>
<b>Tabla 2.2. Crecimiento de la población en Lebrija .....</b>	<b>28</b>
<b>Tabla 4.1. Combinaciones posibles para criterios de la tabla</b> <b><i>Tuberías</i> .....</b>	<b>82</b>
<b>Tabla 5.1. Normas RAS 2000 A.3.1 .....</b>	<b>95</b>
<b>Tabla 5.2. Norma RAS 2000 B.2.2 .....</b>	<b>96</b>
<b>Tabla 5.3. Norma RAS 2000 B.2.5 .....</b>	<b>97</b>
<b>Tabla 5.4. Norma RAS 2000 B.2.6 .....</b>	<b>97</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.1. Componentes de un SIG .....</b>	<b>8</b>
<b>Figura 1.2. Secuencia en la elaboración de un SIG .....</b>	<b>9</b>
<b>Figura 1.3. Modelos del proceso productivo de un SIG .....</b>	<b>10</b>
<b>Figura 1.4. Cámara para válvula seccionadora .....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 3.1. Símbolo de un C-90 .....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 3.2. Cuadro de diálogo de atributos y apariencia de estos datos en AutoCad .....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 3.3. Cuadro de diálogo de bloques y apariencia de un elemento insertado .....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 3.4. Barra <i>Modify II</i> .....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 3.5. Cuadros de diálogo <i>Define Object Data</i> y <i>Attach/Detach Object Data</i> .....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 3.6. Cuadro de diálogo para exportación de atributos .....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 3.7. Cuadro de diálogo para seleccionar atributos a exportar .....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 3.8. Símbolo para un codo de 22 ½° .....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 3.9. Símbolo para un codo de 45° .....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 3.10. Símbolo para un codo de 90° .....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 3.11. Símbolo que indica un cambio de material .....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 3.12. Símbolo para una cruz .....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 3.13. Símbolo para un codo de 45° ubicado en forma vertical .....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 3.14. Símbolo para un hidrante .....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 3.15. Símbolo para un medidor .....</b>	<b>57</b>

Figura 3.16. Símbolo para una reducción .....	57
Figura 3.17. Símbolo para un tapón .....	57
Figura 3.18. Símbolo para una tee .....	58
Figura 3.19. Símbolo para una válvula .....	58
Figura 3.20. Símbolo para una yee .....	58
Figura 4.1. Configuración del ODBC .....	67
Figura 4.2. Visor de los formularios utilizados en la aplicación ....	70
Figura 4.3. Esquema general de funcionamiento de la aplicación .	70
Figura 4.4. Esquema general de funcionamiento de la aplicación .	71
Figura 4.5. Formas de comparación de coordenadas a)igualdad, b)por rangos de valores .....	72
Figura 4.6. Componentes de la ecuación de una recta .....	73
Figura 4.7. Criterios de las X y de las Y .....	74
Figura 4.8. Rangos de longitudes y sus valores respectivos de <i>N</i>	75
Figura 4.9. Rangos de las pendientes para los criterios de X y de Y .....	77
Figura 4.10. Elemento <i>ComboBox</i> de Delphi .....	80
Figura 4.11. Elemento casilla de texto <i>Tedit</i> de Delphi .....	81
Figura 4.12. Módulo de datos de Delphi .....	83
Figura 4.13. Elementos usados (en orden jerárquico) para mostrar una tabla de atributos .....	84
Figura 5.1. Cuadro de diálogo <i>Resumen</i> .....	91
Figura 5.2. Cuadro de diálogo <i>Valores por defecto, Identificativos ID</i> .....	92
Figura 5.3. Cuadro de diálogo <i>Valores por defecto, Propiedades</i> .	93
Figura 5.4. Cuadro de diálogo <i>Valores por defecto, Opciones hidráulicas</i> .....	93
Figura 5.5. Ventana del Visor .....	99
Figura 5.6. Esquema de la red .....	100
Figura 5.7. Ventana de consultas .....	102

<b>Figura 5.8. Perfil longitudinal de presiones .....</b>	<b>102</b>
<b>Figura 5.9. Tabla de estado de los nodos de la red .....</b>	<b>103</b>
<b>Figura A.1.1. Ventana principal de la aplicación .....</b>	<b>111</b>
<b>Figura A.1.2. Ventana del navegador .....</b>	<b>112</b>
<b>Figura A.1.3. Menú <i>Archivo</i> de la ventana principal .....</b>	<b>113</b>
<b>Figura A.1.4. Menú <i>Ver</i> .....</b>	<b>114</b>
<b>Figura A.1.5. Menú <i>Archivo</i> del navegador .....</b>	<b>114</b>
<b>Figura A.1.6. Menú <i>Explorar</i> del navegador .....</b>	<b>115</b>
<b>Figura A.1.7. Cuadro de diálogo para ploteo del archivo <i>dwf</i> .....</b>	<b>117</b>
<b>Figura A.1.8. Ventana de configuración .....</b>	<b>119</b>
<b>Figura A.1.9. Calibrar coordenadas .....</b>	<b>120</b>
<b>Figura A.1.10. Explorando los atributos .....</b>	<b>121</b>
<b>Figura A.1.11. Tablas de atributos .....</b>	<b>122</b>
<b>Figura A.1.12. Ventana de consultas .....</b>	<b>123</b>
<b>Figura A.6.1. Mapa de isolíneas de presión .....</b>	<b>132</b>
<b>Figura A.6.2. Distribución de cotas .....</b>	<b>132</b>
<b>Figura A.6.3. distribución de demandas base .....</b>	<b>133</b>
<b>Figura A.6.4. Distribución de presiones .....</b>	<b>133</b>
<b>Figura A.6.5. Distribución de diámetros .....</b>	<b>134</b>
<b>Figura A.6.6. Distribución de caudales .....</b>	<b>134</b>
<b>Figura A.6.7. Distribución de velocidades .....</b>	<b>135</b>
<b>Figura A.6.8. Distribución de pérdidas unitarias .....</b>	<b>135</b>
<b>Figura A.6.9. Distribuciones de materiales de tuberías.....</b>	<b>136</b>
<b>Figura A.6.10. Distribuciones de edades de tuberías.....</b>	<b>136</b>
<b>Figura A.7.1. Modelo conceptual .....</b>	<b>137</b>
<b>Figura A.7.2. Modelo lógico y diccionario de datos .....</b>	<b>138</b>

## LISTA DE ANEXOS

<b>ANEXO 1. MANUAL DE LA APLICACIÓN SIGVIEWER 1.0</b> .....	109
<b>ANEXO 2. PLANO GENERAL DEL SECTOR 1</b> .....	124
<b>ANEXO 3. ESQUEMA GENERAL EPANET DEL SECTOR 1</b> .....	125
<b>ANEXO 4. CALCULO DEMANDA BASE PARA LOS NODOS</b> .....	126
<b>ANEXO 5. INFORME COMPLETO DE LA RED MODELADA</b> .....	127
<b>ANEXO 6. GRAFICAS DE RESULTADOS</b> .....	132
<b>ANEXO 7. MODELOS CONCEPTUAL Y LÓGICO</b> .....	1377
<b>ANEXO 8. REGISTRO FOTOGRÁFICO</b> .....	1399

## GLOSARIO

**ALGORITMO:** Secuencia explícita y finita de operaciones que conduce a la solución de un problema. Aplicado a los SIG, suele tratarse de un conjunto de operaciones de álgebra de mapas y/o sobre bases de datos que permiten obtener un resultado mediante combinación de información espacial y alfanumérica

**ALTIMETRÍA:** Medida de la altitud o elevación sobre un nivel de referencia (*Datum*).

**ATRIBUTO:** Propiedad o característica de una clase de elementos en una base de datos.

**BASE DE DATOS:** Conjunto de datos estructurado para permitir su almacenamiento, consulta y actualización en un sistema informático.

**CARTOGRAFÍA:** Conjunto de técnicas utilizadas para la construcción de mapas.

**COORDENADA:** Cantidad usada para definir una posición en un sistema de referencia las coordenadas pueden ser lineales (cartesianas) o angulares (esféricas), según el sistema de referencia

**COTA:** Altitud asociada a un punto. Generalmente, un mapa de elevaciones está formado por curvas de nivel y por puntos acotados.

**DATUM:** Sistema geométrico de referencia empleado para expresar numéricamente la posición geodésica de un punto sobre el terreno. Cada datum

se define en función de un elipsoide y por un punto en el que el elipsoide y la Tierra son tangentes; en Colombia, el datum Bogotá usa el elipsoide Hayford Internacional.

**DIGITALIZAR:** Operación de codificar la información en cifras. La digitalización se aplica usualmente a la codificación de la información gráfica (mapas y planos convencionales) pero puede ser aplicada con propiedad a todo tipo de información para la construcción de bases de datos digitales

**EMULACIÓN:** Imitación de un proceso real mediante un modelo.

**GEOREFERENCIAR:** Asignar coordenadas geográficas a un objeto o estructura. El concepto aplicado a una aplicación SIG implica un conjunto de operaciones geométricas que permiten asignar a cada píxel de la imagen de un objeto un par de coordenadas (x,y) en un sistema de proyección.

**LÍNEA:** Conjunto ordenado de vectores encadenados. En el modelo de datos vectorial la línea se usa para representar objetos geográficos como tuberías, carreteras, tendidos eléctricos, etc. En una estructura topológica, las líneas tienen un sentido y están definidos los lados izquierdo y derecho.

**MAPA:** Modelo gráfico de la superficie terrestre donde se representan objetos espaciales y sus propiedades métricas, topológicas y atributivas. Un mapa puede ser analógico (impreso sobre papel, por ejemplo) o digital (codificado en cifras, almacenado en un ordenador y presentado en una pantalla) existen mapas métricos, diseñados para representar distancias, superficies o ángulos y mapas topológicos, diseñados para representar vecindad, inclusión, conectividad y orden. En el contexto de los SIG, un mapa es la presentación de cualquier estructura de datos usada para reflejar cartográficamente una variable espacial (nominal o cuantitativa) independientemente del modelo de datos utilizado (vectorial o raster).

**METADATOS:** Información sobre las características de un conjunto de datos.

**MODELO:** Representación simplificada de un objeto o proceso en la que se muestran algunas de sus propiedades. Un modelo reproduce solamente ciertos atributos del objeto o sistema original que queda, por tanto, representado por otro objeto o sistema de menor complejidad; los modelos se construyen para conocer o predecir propiedades del objeto real.

**NODO:** Vértice inicial o final de una línea. Se aplica por extensión a las entidades puntuales que están interconectadas en una estructura en red. El orden de los nodos (inicial-final) permite asignar a la línea un sentido y dejar definidos los conceptos topológicos de izquierda/derecha.

**PENDIENTE:** Ángulo entre la línea normal a la superficie del terreno y la vertical.

**RED:** Modelo de datos formado por nodos y conexiones (p.ej. tuberías) entre ellos. Tanto los nodos como las conexiones pueden tener atributos propios como, por ejemplo, longitud, material, etc.

**SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRAFICA:** Sistema de gestión de bases de datos (SGBD) con herramientas específicas para el manejo de información espacial y sus propiedades.

**SISTEMA DE COORDENADAS:** Marco de referencia espacial que permite la definición de localizaciones mediante coordenadas, éstas pueden ser lineales (sistemas cartesianos, con ejes ortogonales) o esféricas (donde se utilizan como coordenadas, el azimut y elevación angular).

TOPOGRAFÍA: Descripción de las formas del terreno. Es frecuente, aunque erróneo, considerar sinónimos topografía y altimetría.

TOPOLOGÍA: Referencia a las propiedades no métricas de un mapa. En el contexto de los SIG, topología hace referencia a las propiedades de vecindad o adyacencia, inclusión, conectividad y orden, es decir, propiedades no métricas y que permanecen invariables ante cambios morfológicos, de escala o de proyección. Se dice que una estructura de datos es *topológica* cuando incluye información explícita sobre estas propiedades; en este caso, es posible realizar análisis y consultas *topológicas* sin necesidad de acudir a las tablas de coordenadas

## RESUMEN

**TITULO:**  
**DISEÑO DE UNA APLICACIÓN SIG PARA EL SISTEMA DE ACUEDUCTO DEL MUNICIPIO DE LEBRIJA<sup>i</sup>**

**AUTORES:**  
ANGULO MENDIVIL, Luis Osvaldo  
JAIMES QUINTERO, Oscar Mauricio<sup>ii</sup>

**PALABRAS CLAVES:**  
SIG, Red de distribución, Cartografía, Digitalización, Base de datos, Modelo hidráulico.

### **DESCRIPCIÓN:**

El objetivo de este documento es presentar las actividades desarrolladas antes, durante y después del diseño de la aplicación para el sistema de información geográfica (SIG) al sistema de distribución de agua potable en el municipio de Lebrija, Santander, que se encuentra a cargo de la empresa de servicios públicos (ESPL.)

En los primeros capítulos se da una idea general del alcance del proyecto y sus beneficios, además de una breve reseña general del municipio. Seguidamente se describen los diferentes pasos y procesos ejecutados para la recolección y digitalización de la información necesaria para la actualización de la cartografía y el desarrollo de la base de datos de los elementos de la red, describiendo sus principales características y atributos para consultas. Posteriormente se describe la forma en que se desarrollo la aplicación SIG en particular y sobre que bases se encuentra fundamentada. Finalmente se presenta la elaboración de un modelo hidráulico de un sector parcial de la red desarrollado con el software Epanet, mostrando los resultados más relevantes del modelo.

Al final del presente documento, dentro de los anexos, se puede consultar el manual del usuario para la utilización de la aplicación SIG, así como leer las diferentes observaciones, conclusiones y sugerencias para el correcto funcionamiento de la misma.

---

<sup>i</sup> Trabajo de grado

<sup>ii</sup> Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil

Directores: Ingeniero Mario García Solano  
Ingeniero Jorge Gómez Gómez

## ABSTRACT

**TITLE:**

**DESIGN OF A GIS APPLICATION TO THE DISTRIBUTION SYSTEM OF POTABLE WATER IN THE URBAN AREA OF LEBRIJA<sup>i</sup>**

**AUTHORS:**

ANGULO MENDIVIL, Luís Osvaldo  
JAIMES QUINTERO, Oscar Mauricio<sup>ii</sup>

**KEY WORDS:**

GIS, Distribution net, Cartography, Digitization, Data base, Hydraulic Model.

**DESCRIPTION:**

The objective of this document is to present the carried out activities before, during and after the design of the Geographic Information System (GIS) application to the distribution system of potable water in Lebrija, Santander, which is in charge of the Public Services Company (ESPL.)

In the first chapters is given a general idea of the coverage of the project and its benefits, besides of a short general describe of the municipality. Subsequently, are described the different steps and process executed for the recollection and digitization of the information necessary for the cartography actualization and the development of the data base of the net elements, describing their main characteristics and attributes for queries. Later on is describe the way that was development the GIS application in particular and the bases that supported it. Finally is presented the elaboration of a hydraulic model of a partial sector of the net development with Epanet software, showing the outstanding results of the model.

At the end of the present document, within the annex, can be consult the user manual for the use of the GIS application, as well as read the observations, conclusions, and suggestions for the correct operation of the same one.

---

<sup>i</sup> Degree work

<sup>ii</sup> Faculty of Physical-mechanical Sciences, School of Civil Engineering

Directors: Engineer Mario García Solano  
Engineer Jorge Gómez Gómez

## INTRODUCCION

El crecimiento y desarrollo de una región se debe en gran parte a la forma de administrar los diferentes recursos, tanto naturales como económicos, buscando para ello la manera de optimizar su aprovechamiento, es decir, no solo se debe ser eficaz, sino a la vez trabajar de forma eficiente. Esto sólo se logra manteniendo altos estándares de calidad que estén a la altura de la tecnología y a su vez de los requerimientos de los usuarios, tanto actuales como potenciales de un servicio, los cuales sean adecuados y acordes a las capacidades de nuestros municipios.

Una forma eficaz de administrar nuestros recursos es mediante el desarrollo de sistemas de trabajo en los que puedan interactuar de forma rápida y apropiada el recurso humano y su materia prima de trabajo. En busca de esto nace alrededor de los años 60's y 70's, al empezar a aplicarse la tecnología del computador, el concepto de *Sistema de Información Geográfica*, muy acorde con las necesidades planteadas y que hasta el momento se ha constituido en herramienta básica de desarrollo.

En el presente trabajo se busca dar a conocer al lector la forma en que se realizó el diseño de una de las tantas aplicaciones de estos sistemas: elaborado para la administración del sistema de distribución de agua potable del municipio de Lebrija (Santander) con el objeto de plantear soluciones a diferentes problemas comunes que se puedan presentar durante el funcionamiento y operación de la red.

Se da a conocer también la forma como se creó la aplicación SigViewer 1.0, comenzando con las ideas básicas de su funcionamiento y luego mostrándose la

manera como se programó en el lenguaje Delphi y los principales elementos que componen a esta.

Además de lo anterior, se elabora un manual de usuario para el personal que se encargará de su manejo dentro de la empresa.

También se realiza un análisis parcial de la red del municipio, examinando su funcionamiento y estado actual mediante la elaboración de un modelo hidráulico, con el cual se puedan conocer los principales fenómenos que ocurren en la distribución de agua a través de la red modelada. Este modelo se quiere sirva como base para futuros análisis y como ejemplo de estudio y guía para diseños posteriores.

## **1. DESCRIPCION DEL PROYECTO**

### **1.1. OBJETIVO GENERAL**

Realizar la sistematización e inventario de la red de suministro de agua potable del municipio de Lebrija en el Departamento de Santander, mediante la creación de un Sistema de Información Geográfica.

### **1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Realizar una investigación de la red del acueducto del municipio, anotando los principales elementos constituyentes de esta, como las propiedades físicas de las tuberías (diámetro, longitud, material, etc.).
- Elaborar un historial de la red de suministro donde se puedan anotar características como la edad y problemas que se han presentado en la vida útil de la tubería, entre otros aspectos.
- Actualizar la información cartográfica de la red de acueducto para sistematizar los elementos que la componen.
- Construir una base de datos completa y de fácil acceso en la cual se relacionen todos los aspectos antes mencionados para beneficio del municipio y de sus futuros proyectos de desarrollo.

- Desarrollar un SIG en el área de acueducto del Municipio de Lebrija como una potencial herramienta de consulta e investigaciones futuras para personal de la empresa.
- Realizar un modelamiento parcial de la red que permita identificar zonas críticas, con el ánimo de plantear soluciones a las deficiencias encontradas. Dicho modelamiento puede llevarse a cabo con la ayuda de un software como Epanet.

### **1.3. JUSTIFICACION**

En una era caracterizada por contar con herramientas muy efectivas para el desarrollo y la investigación como la actual, es de mucha importancia mantenerse siempre adelante o, si no se es tan ambicioso, por lo menos estar al día con los adelantos tecnológicos en cuanto al manejo y procesamiento de datos, ya sean estos de tipo numérico, alfanumérico o bien, de carácter gráfico.

En la actualidad, la forma mas eficiente de manejar y procesar una gran cantidad de datos existentes se logra a través de la informática. Los computadores cada vez más se afianzan como nuestros principales aliados en el trabajo diario encaminado hacia nuestro desarrollo como sociedad. Al fin y al cabo son los datos aquellos parámetros por los cuales nos ceñimos en la toma de decisiones para poder asumir los riesgos de una forma responsable y teniendo un respaldo sólido.

De acuerdo con lo anterior, se quiere hacer énfasis en la aplicación de un Sistema de Información Geográfica en el Municipio de Lebrija, en el cual no se cuenta en la actualidad con herramienta alguna para administrar en una forma actualizada y ordenada la cantidad de información correspondiente al sistema de distribución de agua potable, lo cual podría generar muchas confusiones y errores costosos por la

poca claridad en la información. Es por ello que la aplicación de un SIG es una solución muy eficaz y acorde con las necesidades del municipio.

Al consultar con la empresa encargada del manejo del recurso hídrico (ESPL)<sup>i</sup>, queda bien claro que la forma de administrar la información es muy informal, muchas veces no existen datos ni algún tipo de información consignada que pueda ser de fácil acceso para futuros proyectos. Con la puesta en marcha del SIG, el municipio puede contar con información precisa, actualizada y sobre todo, fácilmente actualizable, además de tener un cómodo y rápido acceso en caso de requerirse una consulta respectiva sobre algún elemento integrante de la red. La información será además de fundamental utilidad a otras organizaciones de prevención y desarrollo del Departamento de Santander.

Esta es una idea que ha tenido muy buena aceptación por parte del personal de la universidad, la alcaldía y la empresa de acueducto del Municipio de Lebrija, lo cual la hace una propuesta muy viable y prometedora, por lo que se motiva a las personas a cargo de la investigación a realizar un trabajo destacado, que cumpla con todas las expectativas que encierra un proyecto de esta magnitud. Lo más importante es que existe la opción de que el sistema pueda seguir operando y manteniéndose actualizado constantemente por parte del personal de la empresa, dependiendo del interés que esta tenga sobre ello.

Se quiere destacar la importancia de colaborar con el desarrollo de la región, de aportar con el conocimiento y la investigación a la comunidad y así buscar un mejor futuro para todos.

---

<sup>i</sup> Empresa de Servicios Públicos de Lebrija

#### **1.4. ALCANCE**

Mediante los conocimientos teóricos adquiridos en la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander, y fuera de ella, se quiere crear una base de datos de fácil y rápido manejo, que involucre además el aspecto espacial o geográfico de la región, para lo cual se investigará sobre la localización del municipio, instituciones, edificaciones en general, lo cual conducirá a una mejor calidad y confiabilidad en los datos.

Se llevará a cabo una investigación concerniente al manejo que el municipio le está dando al agua como recurso útil para su desarrollo. Esto se logrará con el apoyo del personal de la Empresa de Servicios Públicos de Lebrija (ESPL), la cual es la encargada de los sistemas de acueducto y alcantarillado. Se busca con lo anterior detallar en forma precisa la red de suministro de agua potable y tener la posibilidad de mantener actualizado el sistema, obviamente, con el compromiso y la disposición del personal a informar cualquier cambio importante sobre las redes.

Se quiere hacer un estudio completo del aspecto físico de las tuberías que conforman las redes, precisando longitudes, diámetros, materiales, etc. Además se busca elaborar un historial con información a cerca de la edad de las tuberías, daños que han sufrido y por qué se han presentado estas averías. Por eso la importancia de contar con el respaldo de la ESPL y del personal experimentado de la región.

Además del estudio orientado hacia al estado físico de las tuberías, es de gran importancia conocer aspectos como la ubicación y características de válvulas, contadores, tanques de almacenamiento, planta de tratamiento y otras estructuras que se encuentren relacionadas con la red de agua potable.

Para todo el desarrollo del proyecto se trabajará con el software apropiado y de acceso para el presupuesto municipal, en caso de que se requiera implementar el SIG en Lebrija. En este SIG se consignarán todos los datos recolectados en la etapa de investigación y manipulación de datos tanto gráficos como alfanuméricos, aprovechando el hecho práctico de trabajar en un entorno espacial georeferenciado de información del trabajo de investigación y consultoría.

## **1.5. MARCO TEORICO**

### **1.5.1. Sistemas de información geográfica**

#### **1.5.1.1. Definición**

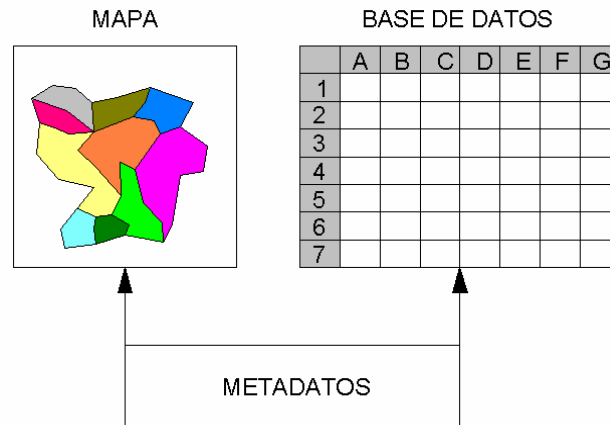
Un sistema de información geográfica SIG consiste básicamente en la administración de información gráfica, la cual a su vez está relacionada con una información de carácter alfa-numérico. Un SIG radica en la obtención, procesamiento y mantenimiento de datos espaciales, los cuales se encuentran georeferenciados, es decir, relacionados a coordenadas terrestres.

#### **1.5.1.2. Componentes**

En un SIG podemos apreciar los dos componentes principales: Los componentes de carácter gráfico y los de carácter numérico.

Los componentes gráficos son los mapas georeferenciados y los componentes numéricos son las bases de datos relacionadas a ese mapa. Existe un tercer componente, la mayor parte de las veces ignorado, se trata de los metadatos. Los metadatos son los *datos de los datos*, es decir, la información adicional que nos

dice por ejemplo, quien tomó los datos, en qué fecha los tomó, etc., lo cual nos sirve en un futuro para analizar las condiciones en las que fueron obtenidos dichos datos y en consecuencia, saber el grado de confiabilidad de estos.



**Figura 1.1.** Componentes de un SIG

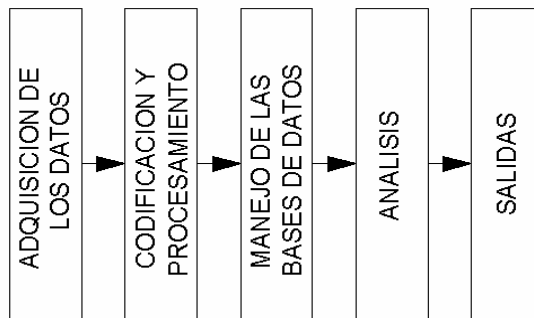
---

### 1.5.1.3. Secuencia en la elaboración de un SIG

La secuencia que se debe seguir en la elaboración de un SIG es básicamente la siguiente:

- **Adquisición de datos:** es necesariamente el primer paso, el cual consiste en la obtención de los mapas. Las formas de adquirir estos datos son diversas, por ejemplo, una de ellas es la cartografía tradicional, es decir, los planos impresos en papel, los cuales se constituyen en Colombia como una de las fuentes principales. En la actualidad, el GPS y las imágenes satelitales han ofrecido una solución práctica a la obtención de datos, cobrando cada vez más terreno en esta área.

- **Codificación y Procesamiento de los datos:** esta parte comprende la traducción a lenguaje de computador de los datos adquiridos previamente. Es en esta fase donde se asignan los atributos a cada uno de los elementos. Aquí comienzan a aparecer las bases de datos.



**Figura 1.2.** Secuencia en la elaboración de un SIG

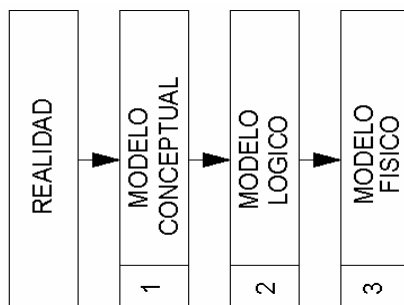
---

- **Manejo de las bases de datos:** luego de haber consignado toda la información correspondiente a los mapas, el usuario puede manipular estos datos a su antojo. Se pueden realizar constantemente actualizaciones, añadir campos, borrarlos y en fin, lo que se desee hacer según lo requerido. Es en esta parte donde se aprecia notablemente las ventajas del uso de la informática, dejando en manifiesto la flexibilidad que se puede lograr.
- **Análisis:** la etapa del análisis es en realidad la más importante y para la cual se elabora un SIG, es en ella donde se obtienen los resultados para los cuales se ha trabajado. Es donde se pueden tomar decisiones más adecuadas luego de haber observado todas las opciones que el sistema muestra.
- **Salidas:** un SIG no solo sirve para tomar decisiones, también se pueden generar informes. Las salidas son la información que se puede crear a partir de un SIG, son los mapas impresos y en archivo digital, son los datos

estadísticos generados por el sistema luego de una consulta específica. Como salida se entiende todo tipo de información que se pueda obtener de un SIG, ya sea instantánea como por ejemplo, en el monitor del computador, o sea permanente, como por ejemplo, las impresiones en papel o los archivos guardados en memoria.

#### 1.5.1.4. Etapas y modelos en un SIG

La figura representa las etapas y modelos del proceso productivo de un SIG, que a continuación se explicaran.



**Figura 1.3.** Modelos del proceso productivo de un SIG.

---

#### - **Modelo Conceptual**

Es la conceptualización de la realidad por medio de la definición de objetos de la superficie de la tierra (entidades) con sus relaciones espaciales y características que representan un escenario, describiendo fenómenos del mundo real.

Para obtener el modelo conceptual, el primer paso es el análisis de la información y los datos que se usan y producen en la institución que

desarrolla el SIG. El siguiente paso es la determinación de las entidades y los atributos con las relaciones que aquellas guardan, de acuerdo con el flujo de información de los diferentes procesos que se llevan a cabo en la institución.

Los tipos de relaciones que pueden aparecer en el modelo dependen del diseño que se haga. A continuación se muestran estas relaciones.

- Uno a uno: sirve para representar una relación singular entre dos entidades, por ejemplo, un departamento tiene una sola ciudad capital, y una ciudad capital pertenece a un solo departamento.
- Uno a muchos: es el tipo de relación más común. Representa una entidad que puede contener más de una vez a la otra, por ejemplo, un municipio puede tener muchos barrios, pero cada barrio pertenece sólo a un municipio.
- Muchos a muchos: cuando dos entidades se pueden contener más de una vez, por ejemplo, un lote puede tener muchos propietarios un propietario puede tener muchos lotes.

#### **- Modelo Lógico**

Se define como el diseño detallado de bases de datos que contienen información alfanumérica y capas de información gráfica con objetos y sus atributos que describen a cada entidad, identificadores, conectores, tipo de dato (numérico o carácter) y longitud; además, se define la geometría (punto, línea o área) de cada una de ellos.

Un SIG manipula elementos del ambiente, por medio de una codificación se almacenan en el computador y luego son manipulados digitalmente, además se define la simbología para su representación gráfica en pantalla o en papel.

En esta etapa se diseñan estructuras que almacenarán todos los datos. Se trata de hacer una descripción detallada de entidades, procesos y análisis que se llevarán a cabo, los productos esperados y la preparación de menús de consulta para los usuarios.

Este modelo define los diferentes tipos de análisis que se implementarán más adelante y consultas a resolver. De la estructura de la base de datos (gráficas y alfanuméricas) dependen los resultados; por lo anterior, en esta etapa se hace un diseño detallado del contenido del SIG y la presentación de información, definiendo los tipos de mapas con sus leyendas, contenido temático y reportes o tablas que se espera satisfagan los principales requerimientos de los usuarios; con estos se busca agilizar las consultas que envuelvan directamente entidades en estudio.

Definido el modelo conceptual y lógico se especifica qué mapa se ha de digitalizar y qué información alfanumérica debe involucrarse en la georeferenciación.

Tanto el modelo conceptual como el lógico son independientes de los programas y equipos que se vayan a usar y de su correcta concepción depende el éxito del SIG.

A continuación se definen las propiedades que pueden tener los campos:

- Llave primaria (PK): Es un campo que contiene un valor único, lo cual quiere decir que la entidad donde se encuentra es la tabla de origen.
- Llave foránea (FK): Este tipo de dato representa un número que proviene de otra entidad, la cual contiene la llave primaria. La llave foránea es indicio de que existe una relación con otra entidad.
- No nulo (Not Null): Este valor muestra la obligatoriedad de llenado, es decir, el valor *no nulo* indica que el campo es obligatorio.
- Nulo (Null): Quiere decir que el campo no es obligatorio, o sea, que se puede dejar en blanco.
- Tipo de dato: Los tipos posibles de datos son: numérico (1234), carácter (abad), o alfanumérico (1ab2).

#### - **Modelo Físico**

Es la implementación de los anteriores modelos en el programa o software seleccionado y los equipos específicos en que se vaya a trabajar y por esto se realiza de acuerdo con sus propias especificaciones. El modelo físico determina en que forma se debe almacenar los datos, cumpliendo con las restricciones y aprovechando las ventajas del sistema específico a utilizar, para este caso SigViewer 1.0.

#### 1.5.1.5. Recursos técnicos

Un SIG se compone básicamente de tres recursos, los cuales son fundamentales en su elaboración:

- **Hardware:** se trata de los equipos de informática que se van a utilizar, o sea, la parte física de los computadores.

Si se planea la elaboración de un sistema de información geográfica, se debe pensar en las características mínimas que debe cumplir un computador para que pueda soportar toda la información gráfica existente.

Dentro del hardware también se encuentran, por ejemplo, los plotters, las tabletas digitalizadoras y en fin, toda la serie de elementos que se necesiten según cada caso en particular.

- **Software:** el software es todo aquel programa destinado a proveer las soluciones a nuestros problemas, se trata de las aplicaciones que nos facilitan enormemente el procesamiento de los datos.

La escogencia de un software en especial depende de las necesidades de cada problema.

- **Recurso humano:** es el principal componente en la creación de un SIG, ya que se necesitan decisiones que lleven adelante un proyecto. Una persona no tiene la capacidad de procesar millones de datos a la vez, pero si tiene el talento de poner a su disposición una serie de herramientas y manipularlas a su antojo para generar obras de ingeniería.

#### **1.5.1.6. Bases de datos en un SIG**

Se define una base de datos como una serie de archivos, cada uno de los cuales contiene un conjunto de datos. Estos se encuentran almacenados de tal forma que se permita encontrarlos de una forma directa, sin importar el lugar en donde se hallen. Además, pueden ser mostrados según el tipo de consulta que se requiera hacer en cada caso.

Las bases de datos pueden ser diseñadas según las consultas que se vayan a realizar. Para la realización de un SIG existen principalmente las bases de datos *relacional* y *orientada a objetos*.

#### **1.5.2. Sistemas de distribución de agua potable**

El servicio físico y natural que se presta en una empresa de acueducto está basado en leyes y aspectos teóricos y empíricos de varias clases. Desde la captación hasta la entrega domiciliaria, el agua pasa por una variedad de procesos físicos y químicos para hacer esta apropiada para el consumo humano.

Un sistema de abastecimiento de agua potable está conformado por diferentes obras, entre ellas captación, tratamiento, conducción, regulación, distribución y suministro intradomiciliario. El proceso comienza por la captación del agua cruda desde fuentes naturales, sean estas superficiales o subterráneas. Luego hay que conducirla, generalmente mediante gravedad, o si es necesario, la utilización de sistemas de bombeo para impulsar el agua hasta la planta de tratamiento o tanques de distribución, en el caso de que el agua no requiera tratamiento, sino sólo cloración debido a su buena calidad. Generalmente, debido a procesos antrópicos, es necesario el tratamiento para ofrecer un agua con una calidad química y bacteriológica aceptable. En la planta de tratamiento se lleva a cabo

casi en su totalidad el proceso de potabilización mediante procesos químicos, físicos y/o mecánicos. Después del tratamiento, el agua se lleva hasta tanques de almacenamiento para la posterior distribución por medio de conducciones para la entrega al usuario antes del medidor mediante una red de tuberías, estanques y de ser necesario de sistemas de bombeo. El sistema intradomiciliario comprende las obras destinadas a conducir el agua potable desde la entrada del inmueble hasta los diferentes aparatos sanitarios ubicados en su interior.

A continuación se dan unos aspectos generales de algunos componentes de un sistema de distribución que se tratan durante el desarrollo de la investigación.

#### **1.5.2.1. Obra de toma**

La Obra de Toma forma un conjunto de estructuras y sus auxiliares que permiten extraer agua del curso de un río o de algún tipo de embalse (natural o artificial) en condiciones satisfactorias de flujo y con un control adecuado. Generalmente se conoce como bocatoma y existen varios tipos, dependiendo del emplazamiento de esta. El diseño de la misma varía mucho de acuerdo con las condiciones geológicas y topográficas, el lugar de donde se realiza la extracción y las variaciones del caudal a extraer.

#### **1.5.2.2. Tuberías**

Constituyen el componente indispensable en cualquier sistema de distribución de agua potable en acueductos a presión, ya que serán las encargadas del transporte del fluido hacia el destinatario final. Por lo general, y dependiendo del tamaño de la obra, los costos de la tubería hacen mas del 50% del costo total del proyecto, por ello es de suma importancia su estudio profundo si se quiere hacer un buen

proyecto en términos de calidad y economía. Es necesaria una adecuada selección de las mismas, partiendo del correspondiente dimensionamiento, de acuerdo con los caudales a transportar, la topografía del trazado elegido y las solicitaciones (internas y externas) que deberán soportar (presión de trabajo, sobrepresión por transitorios, cargas por el relleno de la zanja y por el tránsito, etc.).

Los materiales más frecuentes de tuberías en la oferta local son:

- Policloruro de Vinilo (PVC)
- Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV)
- Hormigones Armados y Pretensados o Postensados, con alma de acero o sin ella.
- Fundición Dúctil
- Acero
- Poliéster de Alta Densidad (PEAD)

También se cuenta, aunque no con tanta demanda, tuberías de:

- Asbesto-Cemento (AC)
- Hierro Galvanizado (HG)

Cabe mencionar que aquellas tuberías que se comportan como flexibles, una vez instalada en la zanja, se caracterizan por una buena resistencia a la tracción, por lo cual son ideales para los requerimientos de presiones internas, necesitándose para ello pequeños espesores. En contraposición a lo anterior, este tipo de tuberías posee una baja resistencia a las cargas externas que tienden a *aplastar* la tubería con la consecuente *ovalización* de esta, que da lugar a reacciones laterales resistidas por la zanja después de un buen proceso de compactación.

Por otra parte, dos características distintivas y destacables de las tuberías plásticas en general son su resistencia química al ataque corrosivo de los suelos y la capacidad que presentan de llevar a cabo una gran atenuación de las ondas positivas por Golpe de Ariete, debida a la baja celeridad de transmisión de las ondas de sobrepresión y depresión, que presentan como consecuencia de su elasticidad. En el caso particular del PRFV, este presenta una flexibilidad tal de producción, que permite la adopción del diámetro exacto que el cálculo hidráulico requiere.

Dentro de las tuberías plásticas, las tuberías de PVC por lo general son una alternativa de muy buena resistencia y especialmente muy económica, siempre y cuando se trabaje en el rango de diámetros entre 63 y 500 mm. Un aspecto importante para tener en cuenta es que, para un diámetro nominal dado, el diámetro real de cálculo hidráulico de estas tuberías (PVC) es menor cuanto mayor es la resistencia de las mismas. Esto debido a que en el proceso de fabricación, con el fin de aumentar la resistencia, se hace un incremento en el espesor de las paredes de la tubería hacia adentro. Por lo tanto, para las tuberías de PVC, el diámetro real dependerá del tipo de resistencia de la tubería adoptada. Una de las características más atractivas son su bajo peso, y consecuente facilidad de transporte y manejo en obra, lo cual es importante para el costo de obra, en especial para poblaciones con presupuesto limitado.

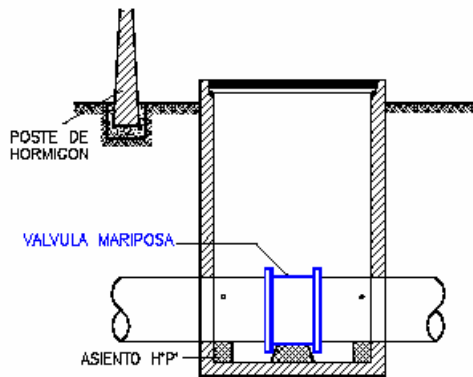
Las tuberías de comportamiento rígido frente al suelo de apoyo, permiten un diseño de zanjas menos exigente, puesto que no deben evitar el aplastamiento de las conducciones, obviamente, su resistencia elevada al aplastamiento les dará ventaja relativa en el rango de las bajas presiones, cuando se hace importante la acción de las cargas externas.

Como puede observarse con algunas de las ventajas y desventajas relativas (a veces contradictorias) enunciadas, la selección del material requiere de un cuidadoso estudio comparativo. El mismo implica el conocimiento profundo de las propiedades de las tuberías de los distintos materiales que se ofertan en el mercado.

#### **1.5.2.3. Válvulas seccionadoras**

Las válvulas seccionadoras son las encargadas de posibilitar la división del acueducto en tramos independientes. De esta manera, en caso de hacerse necesaria la reparación de algún sector de tubería, o de algún otro accesorio, no hace falta el vaciado del acueducto, sólo se aísla el tramo en problemas, cerrando las válvulas seccionadoras al comienzo y al final del mismo. La cantidad, tipo y distribución de estas válvulas en la instalación dependerá, de la configuración de cada problema en particular y de la decisión del proyectista.

Asimismo, todos los componentes mecánicos de la obra (bombas, válvulas, etc.) deben colocarse entre dos de estas válvulas con el mismo fin (permitir el reemplazo de los mismos sin sacar de funcionamiento el tramo entero).



**Figura 1.4.** Cámara para válvula seccionadora.

---

#### 1.5.2.4. Medidores

Uno de los temas más importantes para la buena explotación de un sistema de abastecimiento de agua, es el conocimiento de la cantidad de agua que se suministra a la red y del caudal que se pierde en los depósitos de distribución. La instalación de contadores de calidad, en tiempo real y conectados mediante radio con la planta potabilizadora, es el sistema que permite este control de la cantidad de agua puesta en la red.

Los medidores se clasifican como tipos de *velocidad* o de *desplazamiento*. Los tipos de *velocidad* miden la velocidad de flujo, ya sea directamente o con medidores de corriente, o bien, de forma indirecta con dispositivos del tipo *venturi* y se calibran para dar datos directos del gasto. Los medidores de tipo *velocidad* se utilizan para medir flujos en corrientes, ríos y tubos grandes, como las tuberías principales de los sistemas de distribución. Los medidores de tipo *desplazamiento* indican de forma directa el gasto, por que registran el volumen al cual se llena y vacía su cámara medidora. Este tipo de medidor se usa para caudales pequeños en los sistemas de distribución, al igual que en las tomas individuales de los consumidores. Este tipo de medidor tiene pistones o particiones que son desplazadas por el fluido en movimiento y un mecanismo de conteo que registra el

número de desplazamientos en una unidad conveniente, como litros o metros cúbicos.

Un medidor común utilizado en muchos sistemas domésticos de distribución de agua potable es el *medidor de disco* o *medidor de balanceo*. El disco oscila en un conducto de tal manera que un volumen conocido de fluido se mueve a través del medidor en cada oscilación. Un vástago perpendicular al disco opera un sistema de engranaje que mueve un contador. En buenas condiciones, estos medidores son precisos dentro del 1%. Cuando están gastados, el error puede ser muy grande para flujos pequeños, como los causados por un grifo con fuga.

Se considera muy importante para la buena explotación de la red la instalación de contadores de calidad, como mínimo, en las salidas de todos los depósitos de agua. También es interesante disponer de caudalímetros en las impulsiones y en puntos singulares de la red de distribución. En concreto sería necesario colocar medidores de calidad en las distintas salidas de cada depósito, impulsiones y puntos singulares de la red de distribución.

Por todo lo anterior se puede decir que es muy útil instalar un contador para conocer el consumo y poder contrastarlo con los datos de las fuentes públicas o acometidas domiciliarias, para de esta forma conocer la cantidad de agua que consumen los usuarios y compararla con la cantidad de agua tratada y así conocer las pérdidas de agua en la red de distribución y ubicar sus posibles causas.

#### **1.5.2.5. Hidrantes**

El Hidrante contra incendios es una instalación derivada de la red de distribución, colocada por encima del nivel de piso terminado en los andadores peatonales. Tienen la función de proporcionar un flujo suficiente de agua para combatir

cualquier incendio que pudiera presentarse. Constan de conexiones especiales, derivadas directamente de la red exterior, hechas con la finalidad de conectar mangueras de gran tamaño (en la mayoría de los casos) que permite a personal especializado el control de un incendio. Existen dos tipos básicos de hidrantes: los de *barril húmedo* (o *tropicales*) y los de *barril seco*. Estos últimos son usados en países donde existe invierno, para evitar el congelamiento del agua. También se recurre a ellos para colocarlos en la calle, porque requieren una llave especial para ser abiertos. Los *tropicales* son más usados a nivel industrial. La diferencia esencial es que en los *húmedos* hay agua hasta el borde de las válvulas y en los *secos* no.

El hidrante consta además del barril, de una válvula de corte del tipo de compuerta o de compresión, que conecta el barril con la tubería principal. Normalmente hay dos o más conexiones para manguera en el barril encima de la superficie del piso. Por lo general se requiere una válvula de compuerta adicional entre el hidrante y la tubería para corte de agua y reparación del hidrante.

El número de los hidrantes en una red y su espaciamiento esta supeditado a las necesidades de protección y las sugerencias de la autoridad con jurisdicción. Igualmente, debe proveerse arriostre en los puntos donde se conecta el hidrante para garantizar que al funcionar no existan daños a la red.

En cualquier caso se debe consultar la norma local, o la norma RAS-2000 con el fin de conocer las recomendaciones citadas en el capítulo B en lo referente a ubicación y disposición de hidrantes.

## **2. ESTADO DEL ARTE Y RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN**

Durante la planificación del proyecto se pensó en la importancia de la validez de los datos que se iban a procesar, desde un principio fue muy importante para el desarrollo del proyecto y para el éxito del mismo la colaboración de cada una de las personas que de muy buena voluntad aportaron su parte, por pequeña que fuera, para obtener información confiable que respaldara el trabajo posterior y así realizar una investigación fundamentada en información lo mas verídica posible.

A continuación se presenta la forma como se consultó la información existente, el estado de la misma, la confiabilidad, entre otros aspectos.

### **2.1. GENERALIDADES DEL MUNICIPIO**

#### **2.1.1. Ubicación geográfica**

Lebrija se localiza al Noroccidente del Departamento de Santander. Su casco urbano dista 17 km de Bucaramanga y se encuentra en la vía que de esta ciudad conduce al municipio de Barrancabermeja. La cabecera municipal se encuentra a 1015 msnm<sup>i</sup>. La cabecera municipal se halla a 7° 07' de latitud, y a 73° 13' de longitud.

---

<sup>i</sup> m.s.n.m. = metros sobre el nivel del mar.

### **2.1.2. Límites**

Lebrija limita por el Oriente con el municipio de Girón, por el Occidente, con el municipio de Sabana de Torres, por el Norte con el municipio de Rionegro, y por el Sur con Girón.

### **2.1.3. Aspectos climatológicos**

La temperatura promedio es de 23° C, que corresponde a la zona climática cálida, donde se presentan temperaturas que varían entre los 22 y los 26 °C. De esta manera, Lebrija posee un clima cálido que cubre cerca del 81% de su territorio (Zona baja de Lebrija), el restante posee un clima medio (Zona Alta). En la Zona alta se ubica la agricultura más intensiva e importante del municipio. El régimen de lluvias oscila entre 570 y 1740 mm al año, con un promedio de 1246 mm. Las épocas de mayor precipitación son las de abril y mayo, en el primer semestre, y los meses de octubre y noviembre para el segundo semestre<sup>i</sup>.

### **2.1.4. Extensión**

El municipio cuenta con un área aproximada de 549,85 km<sup>2</sup> (54985Ha) <sup>ii</sup>. Esta superficie se distribuye como se presenta en la siguiente tabla:

---

<sup>i</sup> IMAT, 2003

<sup>ii</sup> Fuente: *Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC – seccional Bucaramanga, 2004*

**Tabla 2.1.** Distribución del Uso de suelo<sup>i</sup>

<b>USO ACTUAL</b>	<b>Área (Ha)</b>
Casco urbano	133,40
Otros Centros poblados	20,75
Suelo para expansión urbana según EOT	95,28
Zona rural	54735,57
TOTAL	54985,00

### **2.1.5. Hidrografía**

El municipio de Lebrija está localizado en la parte media de la cuenca del Río Lebrija, que pertenece a los principales sistemas hidrográficos del Departamento de Santander del Sur. En este sector se presentan subcuencas y micro cuencas tributarias a la cuenca principal del río Lebrija, tales como la Subcuenca de Lebrija Medio, que está compuesta por la micro cuenca de La Angula, a la cual le tributan las quebradas Las Lajas, La Aguirre, La Puentana, La Tigra, La Lagunera, Piedra Azul y Torcoroma.

La micro cuenca La Cútiga es la segunda en tamaño de área de la subcuenca del Río Lebrija. La subcuenca recibe varios pequeños afluentes de la vereda Montevideo que se agrupan bajo el nombre Montevideo - Vanegas todos de cortos recorridos y pequeños cauces muy torrentosos en época de invierno.

De mayor importancia por su caudal, es la micro cuenca de Vega de Pato, que recoge las aguas de la Vereda La Estrella y desemboca en la Vereda Chuspas.

---

<sup>i</sup> Esquema de ordenamiento territorial – EOT – Lebrija, 2003

Con el nombre de Chuspas se agrupa una serie de pequeñas corrientes, permanentes o no, que tributan al río Lebrija.

Separando al municipio con el de Sabana de Torres, corre la quebrada Las Doradas, que da su nombre a dicha micro cuenca.

A la subcuenca Sogamoso Medio le tributan las micro cuencas del Río Sucio, La Leona y La Negra-Pujamanes. La micro cuenca La Leona tiene especial importancia por los fenómenos de remoción en masa que se presentan en su área de influencia, que se constituyen en factor de desestabilización para la vía Bucaramanga Barrancabermeja.

La micro cuenca La Negra-Pujamanes tiene especial importancia por el potencial de aporte de agua para las concentraciones poblacionales del municipio. El sistema hidrográfico del municipio corresponde a la subcuenca Lebrija.

El caudal medio multianual calculado para la cuenca es de 150,3 m<sup>3</sup>/s y el máximo multianual es de 462,9 m<sup>3</sup>/s. La zona baja de la cuenca es de características inundables

#### **2.1.6. Demografía**

Lebrija, según los datos del DANE, proyectados al año 2005, tiene una población total igual a 23308 habitantes<sup>i</sup>, repartidos así: 15454 en el área rural (lo que equivale al 66,30 %) y los restantes 8854 en el sector urbano (el 33.70%). Esto determina que la vocación del municipio de Lebrija es mayoritariamente rural.

---

<sup>i</sup> Proyecciones del DANE de acuerdo con el censo desarrollado en el año 1993

La densidad poblacional promedio es de aproximadamente 42,4 habitantes/km<sup>2</sup>. Pero aproximadamente el 80% se concentra en la meseta, que corresponde a un 30% del área municipal.

Como se puede desprender de la tabla 2.2, que muestra las proyecciones del censo de 1993, en Lebrija para el año 2004, habitan 23.313 habitantes. En este punto se debe hacer la aclaración sobre la gran diferencia existente entre los datos proyectados del DANE y los que el municipio de Lebrija maneja relativos a la población del SISBEN. Esta base datos para el año 2004, reporta una población superior a los 30000 habitantes para Lebrija, lo que implica un error en el conteo de los habitantes de Lebrija superior a los 8000 habitantes. Los reportes del EOT también manejan valores similares de la población de Lebrija. Esta Realidad implica un gran déficit de ingresos para el municipio en relación a la demanda de servicios. Se espera para el censo próximo que realizará el DANE entre el 2005 y 2006, esta situación mejore.

Para el caso de los reportes de indicadores poblacionales presentados en el presente proyecto, se reportará en cada caso la base específica poblacional.

### **2.1.7. Vivienda**

El municipio cuenta con 7479 predios, de los cuales 3306 predios son urbanos, 218 corresponden a los corregimientos<sup>i</sup> y 3955 rurales<sup>ii</sup>. El casco urbano posee 2.550 casas, en tanto que en el área rural hay 3.000 viviendas<sup>iii</sup>.

---

<sup>i</sup> Uribe Uribe: 75 predios, Conchal: 80 y Vanegas: 63

<sup>ii</sup> IGAC – seccional Bucaramanga, 2004

<sup>iii</sup> Secretaría de Planeación Municipal, 2004

**Tabla 2.2.** Crecimiento de la población en Lebrija

<b>Año</b>	<b>Cabecera</b>	<b>Resto</b>	<b>Total</b>	<b>% crecimiento</b>
1995	7.955	14.726	<b>22.681</b>	-
1996	8.065	14.721	<b>22.786</b>	0,46%
1997	8.174	14.711	<b>22.885</b>	0,43%
1998	8.282	14.696	<b>22.978</b>	0,41%
1999	8.388	14.677	<b>23.065</b>	0,38%
2000	8.489	14.647	<b>23.136</b>	0,31%
2001	8.587	14.611	<b>23.198</b>	0,27%
2002	8.680	14.567	<b>23.247</b>	0,21%
2003	8.770	14.515	<b>23.285</b>	0,16%
2004	8.854	14.454	<b>23.308</b>	0,10%
2005	8.931	14.382	<b>23.313</b>	0,02%
2006	9.023	14.335	<b>23.358</b>	0,19%
2007	9.109	14.277	<b>23.386</b>	0,12%
2008	9.195	14.220	<b>23.415</b>	0,12%
2009	9.282	14.163	<b>23.445</b>	0,13%
2010	9.368	14.106	<b>23.474</b>	0,12%

En el casco urbano, 70 de las viviendas son del tipo bifamiliar, por adaptación de sus propietarios. Adicionalmente, hay 15 viviendas con hacinamiento, en las que habitan un total de 50 familias. La crisis económica y social ha reforzado la dinámica de la familia extensa y encontramos que en una misma casa conviven las familias de los padres y de algunos hijos.

En el desarrollo del EOT se entrevistó en la cabecera municipal un total de 2232 familias, arrojándose un déficit de 220 viviendas, a la cual se debe adicionar las familias de la invasión ubicada en el barrio Altos del Paraíso, donde habitan 150 familias, para un déficit total de 370 residencias, que equivale al 18.4% de las viviendas existentes.

La vivienda del sector rural ubicada en la zona alta, circunvecina al casco urbano, está construida principalmente en muros de ladrillo cocido, pisos de cemento y techos de eternit. En la zona baja o marginal rural, las viviendas están construidas, en su mayoría en tapia pisada, bahareque, tablón, pisos de tierra y techos de zinc, teja de barro y nacuma.

En la cabecera municipal se presentan dos tipos de vivienda: la tradicional y la de interés social. La primera está establecida en el sector antiguo, conformado por los barrios Centro, La Loma y Santa Bárbara, que en términos generales mantiene uniformidad en el tipo de construcciones y son de tamaño más grande, con la característica de ser casas con amplios patios interiores y lotes con plantas ornamentales o frutales. Los barrios que han crecido como programas de vivienda de interés social son San Jorge I y II, Los Rosales, Los Laureles, El Prado, Cabecera del Llano, Campo Alegre, María Paz y La Popa.

Conforman los sectores más densamente poblados y mantienen una relativa homogeneidad en diseños, las viviendas de dos pisos, patio interior pequeño; algunos sectores con vías peatonales.

## **2.2. CARTOGRAFIA**

Los planos en el proceso de análisis y construcción, son uno de los documentos más importantes para la ejecución de las actividades con base a los resultados obtenidos del proceso de diseño. Estos son la principal herramienta en la construcción y análisis de las obras. Para los proyectos referentes a la instalación de redes de acueductos en las obras del municipio de Lebrija, el control de estos documentos es esencial como primera medida para garantizar el cumplimiento a los requisitos exigidos.

### **2.2.1. Cartografía convencional**

Durante la primera etapa de la recolección de información se consultó a la empresa la cartografía con que en esos momentos contaba, la cual, como se había previsto no era muy buena, en cuanto a calidad física (estado del papel) como a confiabilidad de los datos. Sin embargo se tomó como punto de partida para las primeras investigaciones de la red de suministro.

Al iniciar la investigación sobre la red de acueducto del municipio de Lebrija, se observó una escasez en la información que retrasaría el desarrollo del proyecto. En la empresa se revisó el registro y control que se llevaba anteriormente para el manejo de los planos, encontrándose en un estado deficiente, ya que en algunas obras no se tenía organizados los planos en forma sistemática. Muchos planos no se encontraron, no se tenía secuencia lógica en la clasificación, se encontraron planos obsoletos sin referenciar y confundidos con los vigentes, no se llevaba control sobre los planos entregados a los contratistas y al personal administrativo, no se tenía el registro de los planos y las versiones existentes. En conclusión, el control sobre los planos no era el adecuado para garantizar una documentación e información ordenada y actualizada.

Prueba de lo anterior era que no se contaba con un inventario actualizado sobre la ubicación y edades de la red, ya que había planos en papel hasta de más de 30 años de antigüedad, los cuales ya no representaban utilidad alguna debido a los numerosos cambios sufridos en el transcurso de los años por causa del crecimiento del pueblo y reparaciones hechas, como consecuencia de los daños ocurridos y del vencimiento de la vida útil de las tuberías.

Dentro de los muchos planos consultados, no hubo ninguno de fecha reciente, el más actual era del año 2002 y con graves deficiencias en los datos suministrados,

debido a que para la elaboración del mismo no se trabajó o consultó con el personal más experimentado de la empresa.

Desde este punto, se decide dibujar de nuevo la red de todo el municipio con la colaboración de la persona más idónea para tal caso. Se trabajó primero sobre plano en papel, dibujando calle por calle las tuberías principales del acueducto, anotando características como el diámetro, el material; y la ubicación aproximada de válvulas en la red.

Los planos utilizados fueron muchos, la desventaja radicaba por un lado, en las diferencias en cuanto a edades de cada uno de los planos y el hecho de que cada uno de ellos pertenecía a un barrio distinto, por lo cual hubo necesidad de trabajar por separado para luego ir recolectando la información sobre la ubicación del barrio en el municipio y la validez de la información consignada en ellos.

Es importante resaltar que toda la información sobre las redes de acueducto del municipio de Lebrija se encontraba en cartografía convencional, no se contaba con planos digitales.

### **2.2.2. Cartografía digital**

El trabajo sobre papel en ocasiones no es tan favorable como hacerlo en medios digitales. En esta etapa del proyecto se decide trabajar en planos digitales con el fin de consignar todo lo recolectado con la cartografía convencional.

Para el trabajo en el computador se hace necesario conseguir la cartografía general del municipio, con su respectiva prediación en formato dwg. Para dicha información se debe recurrir a planeación del municipio.

De los planos recolectados se extrae la información necesaria para el desarrollo del proyecto, entre estos aspectos como la prediación, la altimetría (casco urbano), coordenadas, etc.

### **2.2.3. Investigación**

Como se viene diciendo, los únicos planos existentes eran los de topografía y prediales, los cuales se pudieron obtener gracias a Planeación del municipio de Lebrija. Pero el estado de desactualización de la red de acueducto no permitía comenzar a elaborar el diseño de la aplicación SIG.

En el transcurso de la búsqueda de la información se pudo observar la carencia de esta y la falta de registro histórico a cerca de los cambios hechos a la red, así como las edades respectivas de cada una de las tuberías existentes. Todo el conocimiento estaba limitado a la experiencia de los operarios de la empresa, lo cual generaba una gran dependencia de ellos y el peligro relacionado con la pérdida de información valiosa.

Debido a la falta de planeación, se pueden observar en casi toda la extensión del pueblo, problemas relacionados con los cambios de material (Consultar en aplicación SigViewer los cambios de material). Existen lugares donde se encuentran pedazos de tubería en Asbesto-Cemento y, peor aún, en Hierro Galvanizado. Estas tuberías generan constantes problemas de mantenimiento, debido a la vejez y a la rigidez propia del AC.

La imprudencia de la gente ha causado también que aparezcan ampliaciones incoherentes en la red, ya que cuando se creaba un barrio nuevo no se consultaba con la empresa de acueducto para el trazado de las tuberías ni para la escogencia de los diámetros adecuados para estas. Este desorden en la distribución de la red

ha causado en gran parte de los casos, pérdidas innecesarias de energía, las cuales en un principio no eran tan críticas como lo irán siendo a medida que la red se vaya ampliando con el transcurso de los años.

Hay un sector muy particular en donde se introdujo una manguera en vez de tubería, precisamente, por la imprudencia y desesperación de los habitantes y la falta de toma de medidas por parte de la empresa y la Alcaldía Municipal para evitar la reiteración de estos acontecimientos.

Los casos de avería de este tramo de manguera son muy frecuentes y se unen a los temas anteriormente mencionados para ocasionar reducciones en la eficiencia de la distribución del agua en el municipio de Lebrija.

### **2.3. RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN**

Se da gran importancia a esta fase del proyecto, debido a que es, en esencia, la razón de ser de la investigación. De ella depende que el diseño de la aplicación sea verídica o simplemente carezca de validez y sea solo una forma “elegante” de mostrar información sin fundamento.

Esta etapa consiste en acudir a diversos lugares informativos como archivos, bibliotecas, hemerotecas, librerías, videotecas, filmotecas, museos, institutos de investigación, Internet, etc., además de recurrir al trabajo en cooperación con personal experimentado en el manejo e instalación de redes de acueductos.

### **2.3.1. Fuentes de información**

Lo primero que se hizo fue localizar las posibles fuentes de información y analizar si se podía contar con la colaboración para su recolección, y posteriormente recopilarla, ya fuera de forma documental o mediante visitas de campo. Todo el seguimiento a la información consistió en extraer, validar, procesar y presentar la información.

Las Fuentes de información más utilizadas fueron las siguientes:

Fuentes bibliográficas o documentales, libros, ensayos, monografías, enciclopedias, Periódicos, recopilaciones estadísticas y principalmente, la información aportada por personal técnico de la empresa. También cabe mencionar que la mayoría de las fuentes anteriormente nombradas se consultaron vía Internet.

#### **2.3.1.1. Los Datos Primarios**

Los datos primarios fueron los generados por los investigadores para hallar soluciones a problemas específicos encontrados antes y durante la realización del proyecto; para de esta forma, tomar decisiones correctas para la elaboración de la aplicación SIG. También para hallar respuestas a preguntas que motivaron a desarrollar el proyecto de investigación. En áreas de la ingeniería civil como la sistematización de la información, y para el presente proyecto en particular, los datos primarios fueron los utilizados con mayor frecuencia, además de que servirán como precedentes para futuros proyectos de investigación.

Cabe resaltar que este tipo de datos tienen la ventaja de que se pueden adaptar a las necesidades particulares de la aplicación para un mejor entendimiento de los

datos recolectados. Además, un objetivo y valor agregado importante de este tipo de consulta de datos, es que se puede contar actualmente con esta información, la cual no existía anteriormente. Por ello representa un recurso confidencial de alto valor para la empresa de servicios públicos de Lebrija ESPL.

Los datos primarios se obtuvieron por medio de entrevistas, mediante reuniones con personal calificado de la empresa. Con el ánimo de obtener un mejor provecho de cada reunión fue necesario la elaboración previa de un cuestionario guía que contenía todas las dudas e inquietudes surgidas durante cada sesión de trabajo. La principal característica de este tipo de toma de datos fue el requerimiento de la participación directa del jefe de plomeros de la empresa, persona conocedora y experimentada, con una trayectoria de trabajo de más de 30 años al servicio de ESPL.

El proceso de interrogar o hacer preguntas al jefe de plomeros de la empresa se hizo con el fin de captar sus conocimientos y opiniones acerca del objeto en estudio. De de esta forma, se podían realizar labores específicas con la información captada, es decir, su posterior procesamiento.

El valor de las reuniones con el jefe de plomeros fue muy grande, cosa que se quiere dejar clara por parte de los autores hacia los lectores. Una de las ventajas de estas reuniones fue la profundidad y el detalle de la información que se obtuvo, lo cual fue un proceso enriquecedor tanto para los investigadores como para la persona colaboradora, ya que facilitó la retroalimentación de los procesos.

Es importante mencionar y resaltar algunas características que se encontraron a la hora de hacer este tipo de consultas, algunas de ellas son:

- Informalidad, al no pertenecer a sistemas de documentación estructurados.

- Garantía de no exhaustividad.
- Inmediatez y actualidad.
- Acceso al conocimiento de trabajos inéditos.
- Acceso al conocimiento de trabajos en curso de elaboración.

### **2.3.1.2. Las Fuentes De Información Institucionales**

Están constituidas por las instituciones que custodian (depósitos documentales) o informan acerca de la existencia de documentos y los facilitan al investigador (centros de documentación y centros de acceso a bases de datos). Son los archivos, las bibliotecas, los museos y los centros de documentación y centros de acceso a bases de datos. La principal fuente institucional para el desarrollo de este proyecto fue el departamento de Planeación del Municipio de Lebrija.

Se trate de fuentes de información primaria o institucional, siempre fue importante como complemento y retroalimentación, la realización del ejercicio de interpretación y crítica de las fuentes, la cual tuvo dos finalidades: comprobar su autenticidad, veracidad y aprovechar las ideas, claras o sugeridas, que las mismas contuvieron y brindaron.

En todo caso, el valor de las fuentes descansa pues, en su autenticidad y en su veracidad, siendo referencia muy importante el conocimiento del autor, su credibilidad. Además, hay que dejar claro que con el interés de hacer una recolección de datos confiable, los investigadores sumaron esfuerzos con el fin de manejar fuentes cuya veracidad y autenticidad se pueda comprobar y, por tanto,

se trató en lo posible de alejarse de documentos no originales o conocidos a través de otros autores.

### **2.3.2. Información necesaria**

El punto de partida para considerar la información necesaria para el desarrollo de la aplicación está en los objetivos planteados, luego, fue de allí de donde se empezaron a plantear los interrogantes que llevarían a una profunda recolección de la información.

Después de especificar la información básica que se buscaría, el siguiente paso fue definir como se obtendría. Todo esto dependió, claro, de la naturaleza de la información. Como primera opción se pensó siempre en consultar fuentes estructuradas, con cierto grado de garantía, es decir, documentos respaldados por firmas de organismos, empresas, personas, etc. Lastimosamente, no siempre se pudo conseguir este tipo de datos. Luego fue necesario dar solución a los interrogantes mediante fuentes personales (recurso humano) calificadas e idóneas en el tema de las redes de distribución del municipio de Lebrija.

Una vez realizada la recopilación, siguiendo los pasos y recomendaciones anteriormente mencionadas, y habiéndose especificado el objetivo con claridad, se elaboró un cronograma tentativo para la validación de algunos datos consignados.

#### **2.3.2.1. Planos convencionales**

Para la recolección de la información se partió de los antiguos planos existentes en papel. Estos planos se utilizaron como base para mirar los cambios ocurridos con respecto a la red actual. Este a su vez fue uno de los aspectos que más

necesitó dedicación y tiempo para revisar plano por plano y actualizar aquellas cosas que hoy en día son diferentes a las presentes en los planos.

Las diferencias entre la información de los planos y la información real se dieron principalmente por cambios ocurridos durante la instalación de la tubería en los barrios, ya que en ocasiones no se seguían las especificaciones de los planos y de aquellos cambios que se hacían no se llevó ningún registro, lo cual es un error típico que se tuvo que manejar durante la consulta de planos. Una de las ventajas del diseño de la aplicación se puede observar en este tipo de datos y registros, de tal manera que para futuros proyectos de desarrollo se lleve un control acerca de los trabajos de instalación de tubería de agua potable, partiendo de información de fuente confiable como el personal colaborador de este proyecto de investigación, es decir de bases de datos estructuradas.

En este punto es importante el trabajo conjunto con personal conocedor de la región, en especial para la ubicación de barrios, casas, sitios de interés, etc., con el fin de poder trabajar con planos individuales barrio por barrio o conjunto por conjunto, dependiendo del caso. Aunque el trabajo con planos en papel fue bueno para una mejor concepción de las redes de acueducto en los barrios, no fue posible conseguir planos de todos ellos, debido a que las fuentes eran escasas. Los planos consultados se consiguieron gracias a la ayuda de el jefe de plomeros de la empresa de servicios públicos de Lebrija, quien para objetivos de consulta de información, fue el principal asistente del proyecto.

En muy pocos planos se encuentra información de la configuración de la tubería, válvulas, y accesorios que conforman la red, pero es de buena referencia tener información de la prediación de la localidad, con el fin de confirmar con los planos en formato digital que se recolectaron, pues en un principio fue necesario dibujar la red en planos convencionales al no ser muy clara la información cartográfica en los primeros planos digitales que se obtuvieron. Todas estas correcciones se

verificaron mediante visitas de campo en la cual se corroboraba la posición de la tubería y válvulas respecto de los elementos más representativos en los planos.

Una parte importante para rescatar del trabajo en planos convencionales, es la información acerca de la fecha de elaboración de los planos, lo cual es buen referente para conocer el año de construcción de los diferentes barrios del municipio, para los cuales se cuenta con planos. Esto a su vez es una fuente de información para la base de datos al momento de consignar la edad de la tubería.

### **2.3.2.2. El trabajo en planos digitales**

Para un mejor rendimiento, y con el ánimo de ser más eficaces, es de vital importancia trabajar con herramientas informáticas, además de que el resultado final del proyecto SIG es un formato digital. Por todo esto, se hace necesario consignar toda la información recolectada de forma convencional a un formato digital de fácil acceso, manejo y visualización, pero sobre todo, de fácil actualización de los datos recolectados, que con el transcurso del tiempo sufran algún tipo de modificación.

En lo referente a material digital sobre la red de acueducto del municipio, la empresa no contaba con información acerca de la configuración de los diferentes componentes de la red de distribución. Desde un principio se observó esta falencia en el manejo de la información, pues no se tiene a nadie encargado de archivar ni manejar este tipo de planos. Debido a esto, también surgió el interés de los autores y la empresa para realizar un trabajo conjunto con el objetivo de inventariar los elementos del acueducto. En esta etapa fue preciso recurrir a Planeación Municipal, quien para estos efectos es la encargada de archivar información digital de planos topográficos y de prediación.

Teniendo como base la información recolectada en la fase de trabajo sobre planos en formato convencional, es decir en papel, se puede tomar un precedente para organizar la información de tal forma que se pueda dar máximo provecho, y de esta forma lograr ensamblar esta información con la recolectada en formato digital.

Los tipos de planos digitales recolectados fueron en su mayoría planos de prediación, sobre los cuales se trabajó para la actualización de la red. En un principio se consiguieron planos en formato *Pdf*, no muy aptos para el trabajo que se pretendía realizar, pero se utilizaron a manera de guía para solicitar los planos necesarios, es decir hacer una revisión general de cual información servía para el desarrollo del proyecto, y teniendo esto claro, solicitarlos en la oficina.

Estos archivos son los correspondientes al EOT (esquema de ordenamiento territorial) y que se pueden solicitar directamente en planeación del municipio. En este punto, cabe mencionar que por tratarse de planos en formato digital, el personal de planeación es mucho más celoso con la información, pues como es bien sabido, es un trabajo para el cual fue necesario invertir recursos económicos por parte del municipio. Por lo mismo, no se puede dar información en formato *Dwg* a todas las personas que lo requieran. Para la obtención de información, en este caso planos en formato *Dwg*, es necesaria la elaboración de una carta en la cual se mencione para qué se necesitan los planos, y para qué tipo de proyecto específico se requiere. Para el caso particular se pretende desarrollar una aplicación SIG para el manejo de consultas del inventario de la red de distribución de agua potable del municipio de Lebrija.

Con la asistencia de personal de la empresa de servicios públicos de Lebrija se digitalizó toda la información recolectada en etapas anteriores; etapas que incluyeron observaciones en planos antiguos, en visitas de campo, reuniones con el jefe de plomeros de la empresa entre otras fuentes. De aquí la gran importancia de procesar toda la información paso a paso, pues será de un gran beneficio el

poder guardar la información para futuras consultas más eficaces que las actualmente utilizadas.

### **2.3.2.3. Recorrido de campo**

La observación se realiza en casi todos los estudios de investigación, al menos en su etapa de exploración. Es la forma directa de recopilar datos en el momento y lugar que ocurren ciertos eventos y en que se encuentran ubicados los elementos del proyecto. Como técnica de recopilación de datos, la observación brindó ciertas ventajas como lo fue obtener información en el mismo lugar en que se encuentra y así no se depender de otras personas o publicaciones.

Las visitas de campo se hicieron con el fin de corroborar lo hecho en el papel, es una forma de ver las cosas desde otro punto de vista, pues se tiene la oportunidad de percibir los objetos en todas sus dimensiones.

Para las visitas de campo se hizo un muestreo mediante la elaboración de un inventario de válvulas, para ello fue necesario analizar primero la extensión del casco urbano del municipio, para seguidamente fijar un límite geográfico y períodos de tiempo tentativos para las visitas. A veces existieron limitaciones imprevistas como lo fue no poder contar con personal de la empresa para las visitas, debido a disponibilidad de tiempo del mismo. Sin embargo una buena forma de validar este tipo de salidas de campo fue mediante un registro fotográfico de los diferentes elementos ubicados, en este caso las válvulas de la red y la ubicación respecto a los demás elementos del ambiente.

La segunda etapa en el proceso del muestreo fue identificar en el plano de registro la ubicación de los elementos y cuales de ellos no fueron consignados en pasadas reuniones.

Para cada una de las válvulas ubicadas en la red, y para la digitalización de la información, se hizo una visita de campo con el fin de verificar su posición y llevar un registro de aquellas válvulas que han sido instaladas por la empresa. Durante este tipo de visitas se encontraron inconvenientes respecto a la ubicación de las válvulas, en particular algunas que habían sido removidas, así como otras que se encontraban enterradas bajo el pavimento sin acceso directo y rápido a ellas, por lo cual era difícil de identificar a primera vista. Esto hizo necesario el recorrido de campo con personal de la empresa, en este caso el jefe de plomeros, quien fue directamente la fuente de la información previamente recolectada.

Este recorrido de campo también fue importante para validar la ubicación de la tubería, ya fuera a la derecha o izquierda de la calle, dependiendo del sentido adoptado, importante aspecto a la hora de hacer reparaciones a la red de distribución y que en muchas ocasiones ha sido de constante problema para la empresa de servicios públicos, pues al no contar con esta información se proceden hacer reparaciones que en muchas ocasiones han sido causas de deterioro de las calles, ya que solo existía un conocedor a fondo de la red laborando en la empresa, el jefe de plomeros, el cual no siempre estaba disponible para labores de reparación e instalación de tuberías o elementos de la red.

En estas salidas de campo también se verifico la ubicación de los medidores con que cuenta el municipio, ubicados en la planta de tratamiento y otros en la periferia del casco urbano del municipio.

### **3. SISTEMATIZACION DE LA INFORMACION**

En esta fase del proyecto SIG se pretende integrar, depurar, y generalizar la información previamente consultada para la conformación de cartografía ligada a una base de datos georeferenciada.

#### **3.1. BASES DE LA SISTEMATIZACIÓN**

El principal objetivo de la fase de sistematización es la digitalización de la información que va a contener la aplicación SIG, de esta forma además, se logra la actualización de los datos. La actualización encierra varios aspectos, entre ellos las características generales del proyecto, mediante el uso de entidades puntos y líneas, la digitalización de información cartográfica (posiciones, coordenadas) y la no cartográfica (atributos), cuyo resultado final busca almacenar datos en formatos compatibles con el SIG (formato estructurado) para una correcta visualización gráfica y análisis de datos.

El ingreso de datos se refiere a todas las operaciones por medio de las cuales los datos espaciales de mapas, sensores remotos, y otras fuentes son convertidas a formato digital. Entre los dispositivos utilizados para la elaboración de la aplicación esta el hardware y software para edición como el AutoCad Map 2005. Debido a la facilidad de trabajo y operación se consideró este tipo de software como la mejor opción para los fines de planificación y desarrollo del proyecto. En cualquier circunstancia, para este tipo de digitalización se organizó un cronograma de trabajo, pues la rutina de ingreso de datos requiere una cantidad considerable de

tiempo, que para mejores resultados y eficiencia del proceso debe ser planificado, con el fin de tomar acciones tanto correctivas como preventivas.

Estos procedimientos son los que permiten convertir la información geográfica del formato analógico, habitual en el mundo real (en especial en la forma de mapas), al formato digital que puede manejar el computador. Esta conversión se debe realizar manteniendo todas las características iniciales de los datos espaciales. Por ello, en este subsistema se incluyen no sólo los mecanismos de entrada propiamente dichos (digitalización o similares), sino también los procedimientos que permiten eliminar errores o redundancias en la información incorporada al Sistema de Información Geográfica (Actualización).

Las variables básicas sobre las que actúa la Empresa de Servicios Públicos se relacionan con el tratamiento, distribución y recolección del agua en el territorio en el que se asienta (casco urbano de Lebrija). Actualmente la empresa posee un gran caudal de datos con referencia a estos tópicos.

Interpretando la utilización de la información que se maneja en los distintos sectores, se identifican puntos comunes referidos a ciertos datos, ya que éstos resultan ser únicos en valores, como la población y su distribución, los equipamientos, la infraestructura, entre tantos. Al ser la fuente principal en la orientación para la toma de decisiones, estos datos deberán contar con suficiente confiabilidad para garantizar el éxito en las acciones posteriores.

Esta confiabilidad se inicia en el momento de la recopilación de datos por parte de los autores del proyecto y personal capacitado de la empresa, de este modo, la información provista por la ESPL, adquiere carácter oficial.

Bajo estas consideraciones, la empresa es la entidad propicia para estructurar los datos que provienen del diseño de la aplicación y adquiere un doble rol respecto al

manejo de la información. Como organizador, en las tareas de recopilación, interpretación, control, gestión y análisis de la información y como integrador, permitiendo el tratamiento de problemáticas comunes y el intercambio de información. Todo esto para lograr una base de datos que contenga elementos como las tuberías, las válvulas, los accesorios, etc., mediante la adaptación de los sistemas y las tecnologías a los precisos requerimientos del municipio, con pautas de sustentabilidad tecnológica y económica adecuadas a la realidad.

Desde el punto de vista tecnológico, los Sistemas de Información Geográfica se convierten en la herramienta ideal para gerenciar las distintas etapas que intervienen en el manejo de los datos.

Los datos, que constituyen el corazón de un SIG, representan el porcentaje mayor en el total del costo de su implementación, por ello se deberá poner el mismo énfasis en la etapa de captación como en la de mantenimiento de la información ya que, su desactualización redundará en un perjuicio económico y pondría en peligro el funcionamiento del SIG.

Por otra parte, cada dato tabular puede referenciarse a un elemento ubicado con exactitud en el territorio, localizándolo mediante distintos sistemas de referencia y de proyecciones geográficas, tales como coordenadas, direcciones o nomenclatura catastral. También existe la factibilidad de compatibilizar estos sistemas mediante la transformación de las localizaciones geográficas y debido a esta particularidad, la integración territorial de los datos es automática, es decir, que independientemente del modo y el lugar en donde se efectúe el tratamiento de los datos, su ubicación relativa quedará representada por su emplazamiento geográfico.

En este sentido, el SIG ha revolucionado el procesamiento de los enormes volúmenes de información contenidos en los bancos de datos tradicionales, al

introducir la variable espacial como el centro del análisis de la información, lo cual resulta de gran utilidad en el momento de tomar una decisión o resolver un problema.

### **3.2. DIGITALIZACIÓN EN AUTOCAD MAP**

Luego de terminar la fase de recolección de la información, se procedió a la digitalización de esta. Una aplicación muy útil para este propósito fue AutoCad Map 2005, dentro del cual se encontraban herramientas que permitían tanto crear los elementos como la asignación de sus respectivos atributos.

Dentro de la red de acueducto existen dos tipos fundamentales de elementos utilizados para la representación de esta: los puntos y las líneas. Los puntos son usados para representar los accesorios y uniones, por ejemplo, los codos, tees, cruces, etc. Las líneas son creadas para representar las tuberías del acueducto.

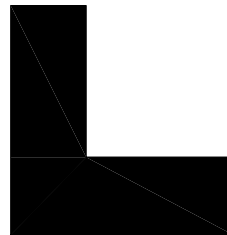
#### **3.2.1. Puntos**

Para la representación de los accesorios y uniones era necesaria la creación del elemento más apropiado, en este caso, el punto, con el cual se necesitaban solamente las coordenadas del sitio de inserción para poder establecer su ubicación en el plano.

AutoCad permite la creación de bloques (Comando *Block*), dentro del cual se pueden introducir una serie de propiedades pertenecientes a este, llamadas *atributos*. Un bloque agrupa varios elementos como un único objeto, el cual puede volver a usarse (herramienta *insertar bloque*).

Un bloque puede estar compuesto por objetos dibujados sobre varias capas con distintas propiedades de colores, tipos y espesores de línea. Aunque un bloque siempre se inserta sobre la capa actual, la referencia a bloque conserva la información sobre las propiedades originales de capa, color y tipo de línea de los objetos contenidos en el bloque. Se puede controlar si los objetos de un bloque retienen sus propiedades originales o heredan las propiedades de los parámetros actuales de capa, color, tipo o grosor de línea.<sup>i</sup>

Para poder armar un bloque con atributos, es necesario crear primero el dibujo o símbolo con el cual se desea representar al elemento deseado. Por ejemplo, para la creación del codo de 90° se hizo el dibujo con su relleno como se puede apreciar en la figura 3.1. Es importante crear el dibujo en el layer 0 para poder escoger después de creado el bloque la capa deseada en la que se va a dejar. Si se establece en otra capa, no se podrá cambiar después el layer.



**Figura 3.1.** Símbolo de un C-90°

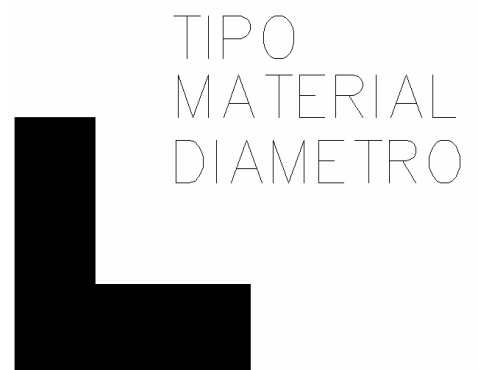
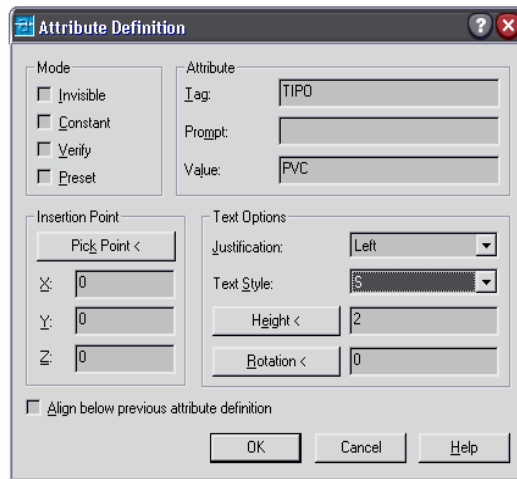
---

Después de la creación del dibujo se procede con los atributos. El comando *Attdef* es utilizado para la creación de estos. En el cuadro de diálogo *Attribute Definition* (Ver figura 3.2) se encuentra el cuadro de texto *Tag*, en el cual se define el título de la etiqueta. En *Value* se introduce un valor por defecto si se desea.

---

<sup>i</sup> Manual AutoCad 2005. Autodesk, Inc.

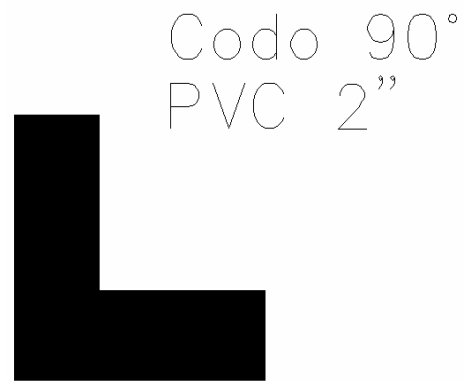
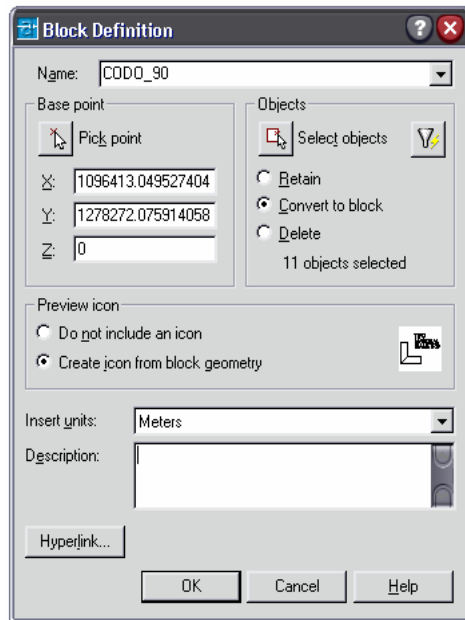
Es importante definir el punto de inserción y los valores de tamaño del texto. Hay opción de dejar los atributos invisibles y solo almacenarlos como una propiedad interna del objeto.



**Figura 3.2.** Cuadro de diálogo de Atributos y apariencia de estos en AutoCad

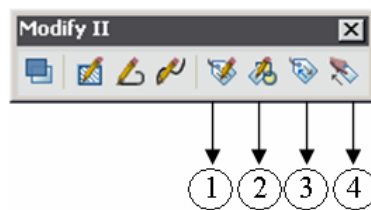
Habiendo creado el símbolo y los atributos deseados, se puede entonces armar el bloque y asignarle un nombre para identificarlo cada vez que se necesite insertar posteriormente en el dibujo (Ver figura 3.3). Lo más importante de crear un bloque es la opción de exportar los atributos a una una base de datos o a un formato *Shape de Esri*.

Para la posterior edición de los atributos de los bloques se utiliza el comando *Battman* o se activa la barra de botones *Modify II* (ver figura 3.4), la cual contiene una serie de botones que son de utilidad para trabajar con los bloques.



**Figura 3.3.** Cuadro de diálogo de Bloques y apariencia de un elemento insertado

La herramienta *Attribute Extract* sirve para exportar los atributos de los bloques a una base de datos de Access, pero tiene la desventaja de que no se identifica a cada elemento con un ID. Es recomendable usar a la hora de exportar atributos la herramienta *Export* de Autocad Map (para guardarlo como Shape) y extraer la información del archivo con extensión *dbf*.



1	Edit attribute
2	Block attribute manager
3	Synchronize attributes
4	Attribute extract

**Figura 3.4.** Barra *Modify II*

### 3.2.2. Líneas

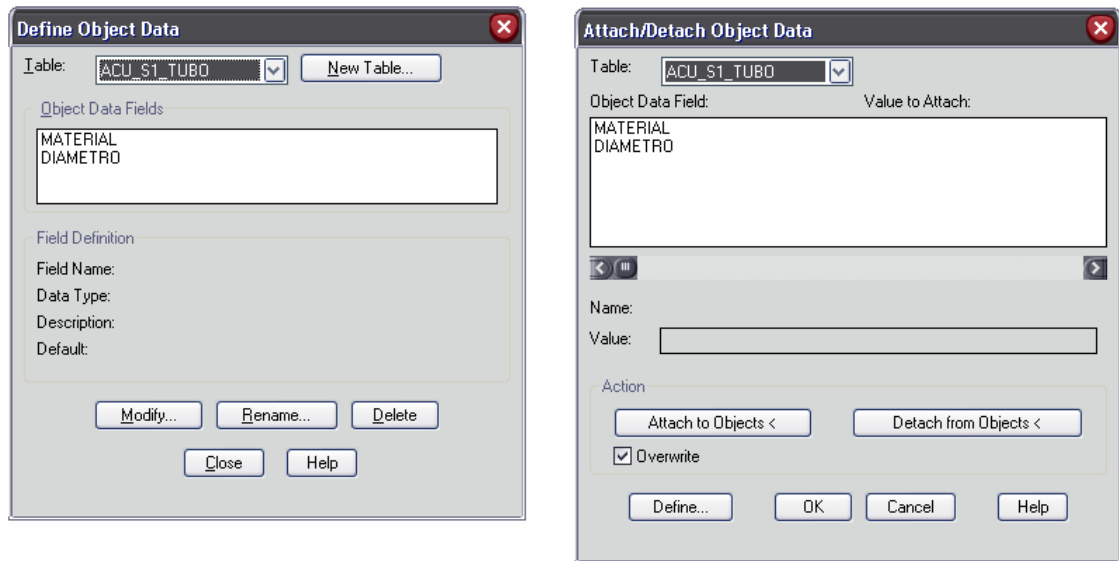
Para la creación de líneas con atributos no resulta de utilidad la herramienta de creación de los bloques, ya que estos solo son aplicables a puntos. AutoCad trae incluida la herramienta para la manipulación de los bloques con atributos, pero sólo en AutoCad Map es posible asignar una serie de propiedades a las polilíneas para su manipulación o exportación, estas propiedades definidas por el usuario son llamadas *Object data* (datos de objetos).

Para poder asignar atributos a las líneas es necesario definir primero cuales son las etiquetas que se van a agregar. Es por esto que se hace necesario crear una tabla de atributos en la que se van a almacenar las distintas propiedades de los elementos.

En el menú *Map* → *Object data* → *Define Object Data* se despliega un cuadro de diálogo en el que se configuran las propiedades que posteriormente se le van a asignar a las líneas (Ver figura 3.5). En la tabla se definen sus campos, una descripción, el tipo de datos (entero, caracter, punto, real) y de forma opcional se puede escoger un valor por defecto para el campo.

En el menú *Map* → *Object data* → *Attach/Detach Object Data*, se abre un cuadro de diálogo (ver figura 3.5), por medio del cual se asigna a cada polilínea sus respectivas propiedades haciendo *click* sobre el botón *Attach to objects*.

Estas propiedades también son exportables a un Shape, de la misma forma que se hace con los bloques (ver sección 3.3).



**Figura 3.5.** Cuadros de diálogo *Define Object Data* y *Attach/Detach Object Data*

### 3.3. EXPORTACION DE LA INFORMACION


Antes de proceder a trabajar en el entorno de la aplicación Sigviewer 1.0, la información debe ser preparada y exportada adecuadamente desde AutoCad Map. Las exportaciones de puntos deben hacerse por separado de las de líneas, ya que para cada elemento se debe especificar el tipo de shape, ya sea punto, polilínea o polígono. Para el caso de trabajo en redes de acueducto se exportaron shapes tipo punto y tipo línea.

Para trabajar en Sigviewer se debe convertir la información a formato Shape. Este es el formato de Esri para su software, en el cual se almacenan localizaciones y atributos de los elementos espaciales. Los shapes fueron creados a partir de fuentes de información espacial existente, aunque también pueden ser generados desde el software ArcGis. Cabe resaltar que aunque desde ArcGis un fichero se trata como un solo archivo, en realidad consta de tres archivos con el mismo nombre y extensiones diferentes.

- \*.SHP → *Datos espaciales - Geometría*
- \*.DBF → *Tabla de atributos*
- \*.SHX → *Indice de datos espaciales*

De los puntos se exportan los atributos creados que se encuentran contenidos en el bloque (Ver sección 3.5), además de las coordenadas referentes al punto de inserción. En el menú *Map → Tools → Export* se lleva a cabo la exportación de nuestro mapa a un formato *Shape*, del cual se puede extraer la información procesada en AutoCad Map para su utilización en SigViewer.

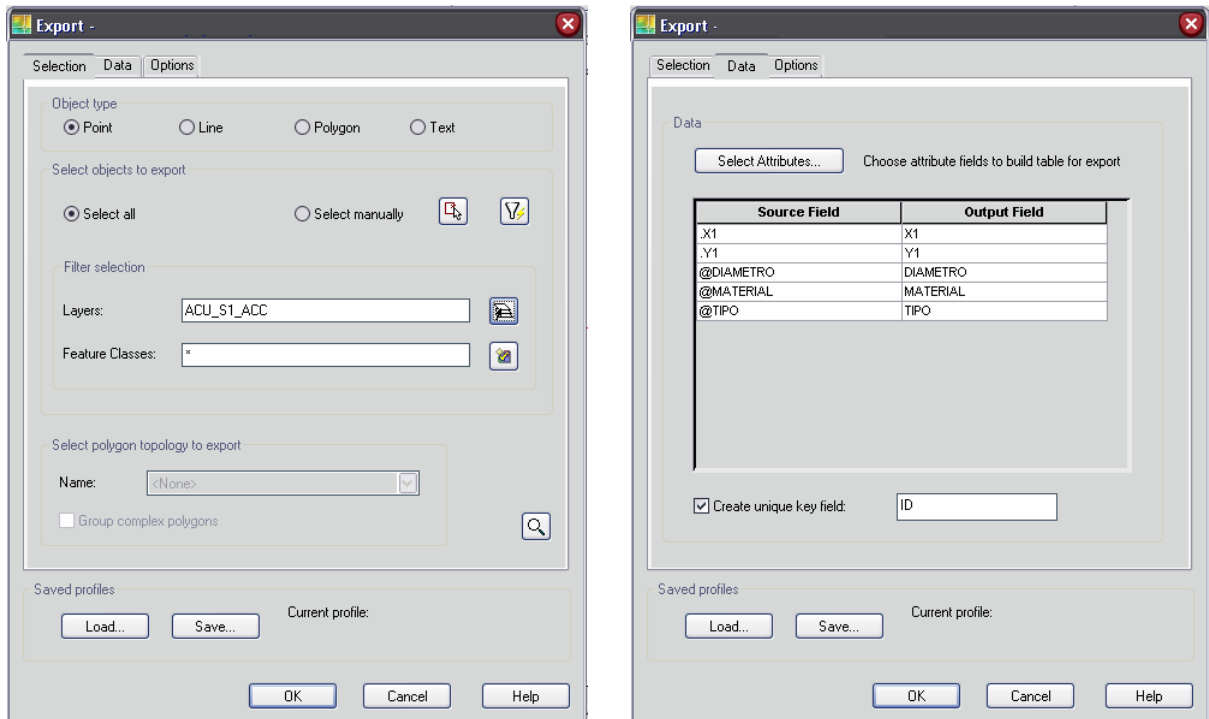
En la pestaña *Selection* se escoge *Point* en el tipo de objeto (Ver figura 3.6). De igual forma, se elige el layer o los layers en los que se encuentran la serie de puntos a exportar. También se puede hacer la escogencia sólo de los elementos deseados con la opción *Select Manually*.

Existe la opción de escoger los elementos según sus propiedades, por ejemplo, realizar la exportación solamente de los bloques cuyo nombre sea *TEE*. Para acceder a este menú debemos pulsar el botón *Quick Select*. 

En la pestaña *Data* se escogen los atributos que posteriormente serán mostrados en la extensión *dbf* para la base de datos, cuando se consulte un elemento. Haciendo *click* en el botón *Select Attributes* se puede acceder al cuadro de diálogo en el cual se categorizan los tipos de datos que se pueden exportar (ver figura 3.7).

Los tipos de atributos se encuentran categorizados en tres grandes ramas:

- Properties
- Object Data
- Block Atributes

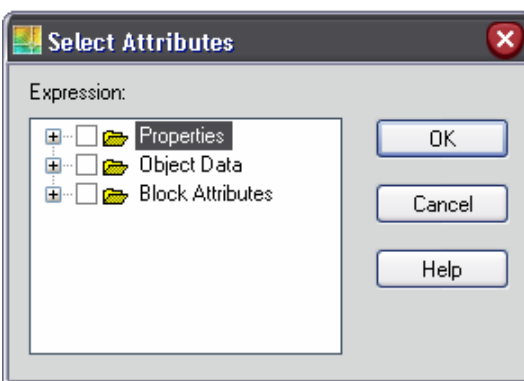


**Figura 3.6.** Cuadro de diálogo para exportación de atributos

El grupo *Properties* contiene a las propiedades pertenecientes a los elementos de AutoCad, tales como el ángulo, el color, el *layer* en el que se encuentra, ubicación X, Y, Z, entre otras propiedades. Es de utilidad tanto para la exportación de los atributos de los bloques (por ejemplo, coordenadas del punto de inserción y elevaciones) como para exportar atributos propios de las polilíneas (por ejemplo, coordenadas iniciales y finales de cada elemento).

En *Object Data* encontramos las propiedades que le son asignadas a las polilíneas por el usuario, como lo son el material, diámetro entre otras. Es útil sólo en el caso de la exportación de los atributos asignados a las polilíneas.

Por último, en el grupo de *Block Attributes* se encuentran los distintos atributos creados a cada uno de los bloques existentes. Es de utilidad sólo para la exportación de las propiedades inherentes a los bloques previamente insertados.



**Figura 3.7.** Cuadro de diálogo para seleccionar atributos a exportar

---

La exportación de líneas se lleva a cabo siguiendo la misma secuencia anterior. Lo que cambia para este caso es la escogencia de la opción *Line* en la pestaña *Selection* y los atributos que se van a exportar.

Cuando se crea el Shape, en el archivo con extensión *dbf* se almacenan todos los atributos previamente exportados desde AutoCad Map. Para visualizarlos se puede utilizar Excel.

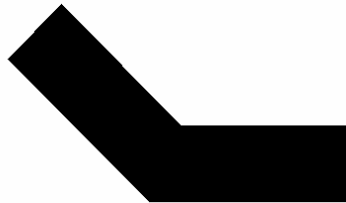
### **3.4. SÍMBOLOS UTILIZADOS**

Para la digitalización de accesorios y su posterior visualización en la aplicación SigViewer, se utilizaron las siguientes figuras como representación gráfica para el bloque con atributos. Estas figuras se pueden detallar en el plano en formato DWG con la aplicación de Autocad Map, con el fin de observar los datos de objeto asignados.



**Figura 3.8.** Símbolo para un codo de 22 1/2°

---



**Figura 3.9.** Símbolo para un codo de 45°

---



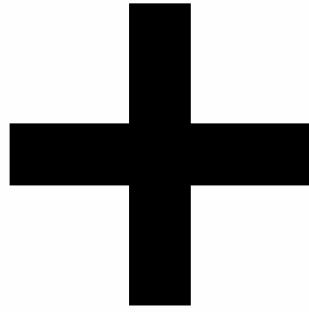
**Figura 3.10.** Símbolo para un codo de 90°

---



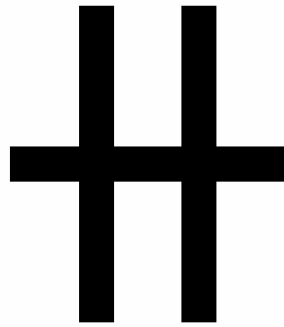
**Figura 3.11.** Símbolo que indica un cambio de material

---



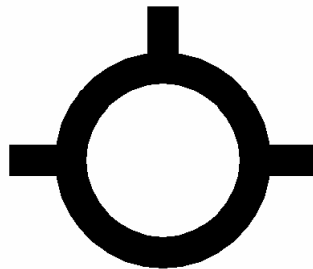
**Figura 3.12.** Símbolo para una cruz

---



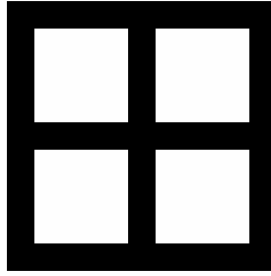
**Figura 3.13.** Símbolo para un codo de 45° ubicado en forma vertical

---



**Figura 3.14.** Símbolo para un hidrante

---



**Figura 3.15.** Símbolo para un medidor

---



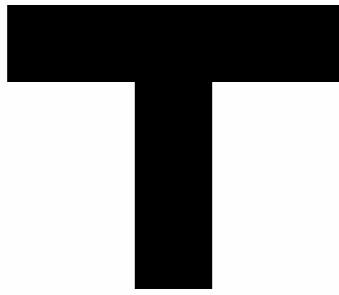
**Figura 3.16.** Símbolo para una reducción

---



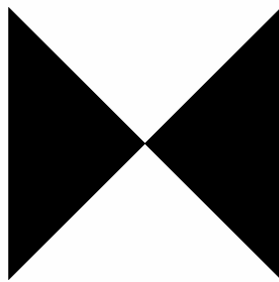
**Figura 3.17.** Símbolo para un tapón

---



**Figura 3.18.** Símbolo para una tee

---



**Figura 3.19.** Símbolo para una válvula

---



**Figura 3.20.** Símbolo para una yee

---

### **3.5 DEFINICIÓN DE ATRIBUTOS**

Con el fin de relacionar las figuras de los bloques anteriormente mostrados (Ver sección 3.4) es necesario definir los diferentes atributos para cada uno de los elementos a representar, es decir definir el modelo conceptual para esta clase de entidades.

A continuación se enumeran los atributos asignados a cada tipo de entidad.

#### **3.5.1. Atributos Para accesorios**

##### **3.5.1.1. Codo de 22 ½°**

- Sector: Atributo específico [1,2,3]
- Tipo: Atributo común [C 22 1/2]
- Material: Atributo específico [PVC, HF]
- Diámetro: Atributo específico [2", 3", ...]
- Dirección: Atributo específico [Cxx, Kxx]

##### **3.5.1.2. Codo de 45°**

- Sector: Atributo específico [1,2,3]
- Tipo: Atributo común [C 45]

- Material: Atributo específico [PVC, HF]
- Diámetro: Atributo específico [2", 3", ...]
- Dirección: Atributo específico [Cxx, Kxx]

#### **3.5.1.3. Codo de 90°**

- Sector: Atributo específico [1,2,3]
- Tipo: Atributo común [C 90]
- Material: Atributo específico [PVC, HF]
- Diámetro: Atributo específico [2", 3", ...]
- Dirección: Atributo específico [Cxx, Kxx]

#### **3.5.1.4. Cambio de material**

- Sector: Atributo específico [1,2,3]
- Tipo: Atributo común [CAMBIO]
- Material: Atributo específico [PVC-AC, AC-HG, PVC-HG,]
- Diámetro: Atributo específico [2", 3", ...]

- Dirección: Atributo específico [Cxx, Kxx]

#### **3.5.1.5. Cruz**

- Sector: Atributo específico [1,2,3]
- Tipo: Atributo común [CRUZ]
- Material: Atributo específico [PVC, HG.]
- Diámetro: Atributo específico [2", 3", ..., ó combinaciones 2X4", 4x6",...]
- Dirección: Atributo específico [Cxx, Kxx]

#### **3.5.1.6. CV 45°**

- Sector: Atributo específico [1,2,3]
- Tipo: Atributo común [CV 45]
- Material: Atributo específico [PVC, HF]
- Diámetro: Atributo específico [2", 3", ...]
- Dirección: Atributo específico [Cxx, Kxx]

### **3.5.1.7. Hidrante**

- Sector: Atributo específico [1,2,3]
- Tipo: Atributo común [HIDRANTE]
- Material: Atributo común [HF]
- Diámetro: Atributo específico [2", 3", ...]
- Dirección: Atributo específico [Cxx, Kxx]

### **3.5.1.8. Medidor**

- Sector: Atributo específico [1,2,3]
- Tipo: Atributo común [MEDIDOR]
- Material: Atributo común [HF]
- Diámetro: Atributo específico [2", 3", ...]
- Dirección: Atributo específico [Cxx, Kxx]

### **3.5.1.9. Reducción**

- Sector: Atributo específico [1,2,3]

- Tipo: Atributo común [REDUCCION]
- Material: Atributo específico [PVC, AC, HF]
- Diámetro: Atributo específico [3X2", 4X3", ...]
- Dirección: Atributo específico [Cxx, Kxx]

#### **3.5.1.10. Tapón**

- Sector: Atributo específico [1,2,3]
- Tipo: Atributo común [TAPON]
- Material: Atributo específico [PVC, AC, HF]
- Diámetro: Atributo específico [2", 3", ...]
- Dirección: Atributo específico [Cxx, Kxx]

#### **3.5.1.11. Tee**

- Sector: Atributo específico [1,2,3]
- Tipo: Atributo común [TEE]
- Material: Atributo específico [PVC, HF]

- Diámetro: Atributo específico [2", 3", ..., ó combinaciones 2X4", 4x6",...]
- Dirección: Atributo específico [Cxx, Kxx]

#### **3.5.1.12. Válvula**

- Sector: Atributo específico [1,2,3]
- Tipo: Atributo específico [VALVULA, VALVULA C.]
- Material: Atributo común [HF]
- Diámetro: Atributo específico [2", 3", ...]
- Dirección: Atributo específico [Cxx, Kxx]

#### **3.5.1.13. Yee**

- Sector: Atributo específico [1,2,3]
- Tipo: Atributo común [YEE]
- Material: Atributo específico [PVC, HF]
- Diámetro: Atributo específico [2", 3", ..., ó combinaciones 2X4", 4x6",...]
- Dirección: Atributo específico [Cxx, Kxx]

### 3.5.2. Atributos Para tuberías

- Sector: Atributo específico [1,2,3]
- Longitud: Atributo específico [ x.xxx (número decimal)]
- Material: Atributo específico [PVC, AC, HG]
- Diámetro: Atributo específico [2", 3", ...]
- Año Instalación: [xxx (número entero)]
- Dir. Inicio: Atributo específico [Cxx, Kxx]
- Dir. Fin: Atributo específico [Cxx, Kxx]
- Daños: Atributo específico [(cadena de texto)]

## **4. DESARROLLO DE LA APLICACIÓN SIGVIEWER**

Antes de desarrollar la aplicación SigViewer se había pensado en utilizar software gratuito, pero al analizar más a fondo, se llegó a la conclusión de que si se dejaba el SIG montado en una aplicación compleja como Map Maker o similar, las personas en la empresa tendrían dificultades en su manejo, además de que se convertirían en herramientas subutilizadas y sin personalizar. Es por ello que se decidió la creación de una herramienta configurada especialmente para las necesidades de la empresa, con menús y botones personalizados y mucho más fáciles de manipular.

### **4.1. HERRAMIENTAS Y COMPONENTES DE PROGRAMACIÓN**

La aplicación fue desarrollada bajo el lenguaje de programación Borland Delphi, la versión usada en este caso es la 6.0 Professional.

Cabe mencionar que la base de datos está creada en Access y se agregó el componente Whip de AutoDesk como un módulo para el reconocimiento de los planos dwf.

### **4.2. ORIGENES DE DATOS ODBC**

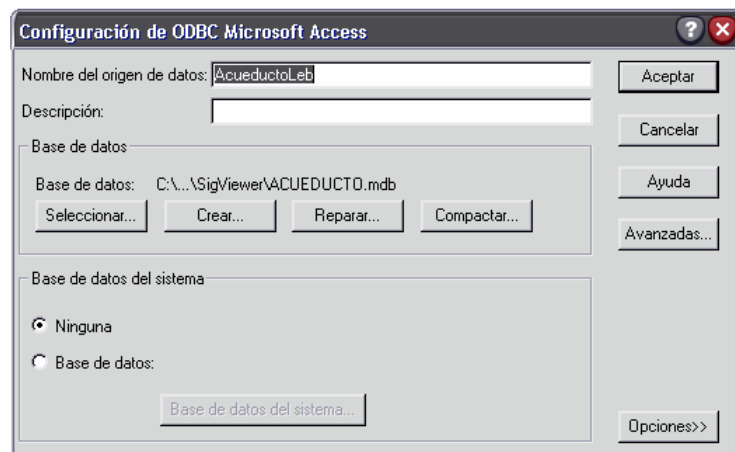
Para que la aplicación se alimente de la base de datos de una forma correcta, lo primero que se debe tener claro es la creación del ODBC, es decir, el origen de la base de datos. Es aquí donde se le dice al programa la ruta en la cual va a buscar

la base de datos, a la cual se le debe crear un nombre (Alias) que no debe ser cambiado para evitar errores posteriores.

Para configurar el ODBC se abre el panel de control y se busca la opción *Herramientas Administrativas* y se abre *Orígenes de datos ODBC*.

En la ventana de administrador de orígenes de datos ODBC se escoge la pestaña *Dsn del sistema* y se agrega un nuevo origen de datos. Se escoge para nuestro caso la opción *Microsoft Access Driver (\*.mdb)*.

En la ventana siguiente se busca la base de datos de la que se va a alimentar a la aplicación en el directorio donde se encuentra ubicada. Después de esto, se escoge un nombre para el origen de datos (ver figura 4.1).



**Figura 4.1.** Configuración del ODBC

---

### **4.3. ESTRUCTURA DEL PROGRAMA**

#### **4.3.1. Modelo conceptual**

El modelo conceptual se encuentra definido en la figura A.7.1. del anexo 7, en el cual se muestran las tablas con sus respectivos atributos y las relaciones que guardan entre sí, además de sus valores de obligatoriedad.

#### **4.3.2. Modelo lógico y diccionario de datos**

El modelo lógico y el diccionario de datos se muestran en la figura A.7.2 del anexo 7. Se definen los atributos de las tablas, sus relaciones y los tipos de datos.

#### **4.3.3. Formularios usados**

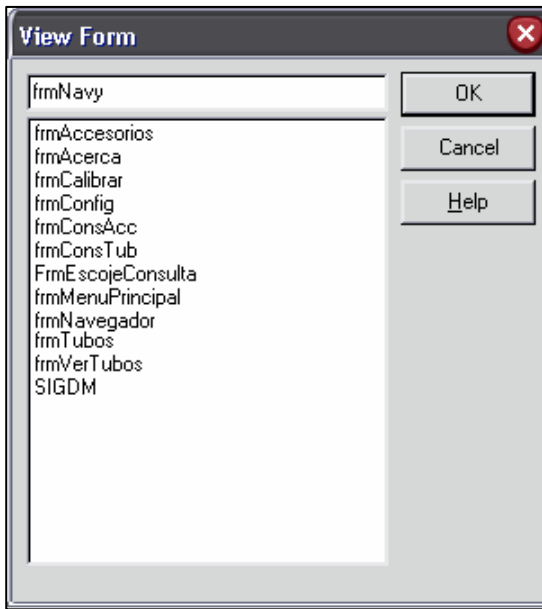
La aplicación se compone de los siguientes formularios (ver figura 4.2):

- FrmAccesorios: Contiene la tabla de atributos de accesorios.
- FrmAcerca: Ventana de información y créditos *Acerca de*.
- FrmCalibrar: Cuadro de calibración de las coordenadas del plano dwf generado desde AutoCad.
- FrmConfig: Es el cuadro de diálogo para la configuración de la creación de la tabla de coordenadas.

- FrmConsAcc: Ventana para la muestra de los atributos pertenecientes a los accesorios.
- FrmConsTub: En esta ventana se muestran los atributos pertenecientes a las tuberías.
- FrmEscogeConsulta: Formulario diseñado para escoger entre las consultas de accesorios y tuberías.
- FrmMenuPrincipal: Ventana inicial, desde la cual se pueden escoger las distintas opciones que ofrece el programa.
- FrmNavegador: En este formulario se puede realizar la exploración del plano que contiene la red de acueducto.
- FrmTubos: Contiene la tabla de atributos de tuberías.
- SIGDM: Funciona como herramienta para hacer el llamado desde la base de datos para la realización de las diferentes consultas.

#### **4.3.4. Conformación básica del programa**

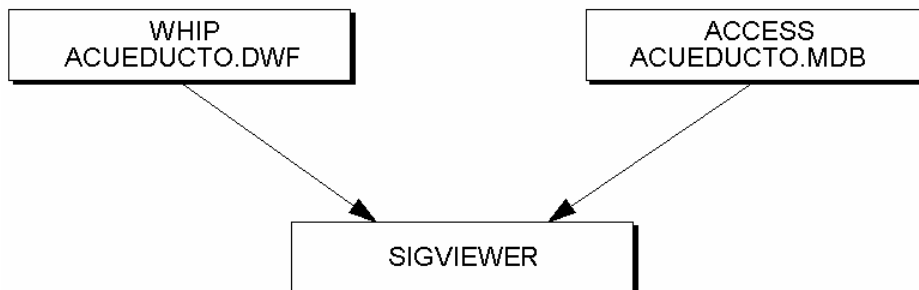
SigViewer se alimenta de la base de datos *Acueducto.mdb*, la cual provee la información necesaria a cerca de los atributos para la ejecución de consultas. Además, la aplicación adquiere la información gráfica de *Acueducto.dwf*, perteneciente al módulo Whip (ver figura 4.3).



**Figura 4.2.** Visor de los formularios utilizados en la aplicación

---

La forma en la cual se relacionan los datos gráficos con los numéricos se lleva a cabo a través del campo que contiene las coordenadas de cada elemento. Cuando se hace *click* sobre un elemento determinado, la aplicación captura las coordenadas de ese punto y las compara con las coordenadas contenidas en la base de datos. Cuando halla el campo similar, muestra sus respectivos valores en la grilla de atributos.

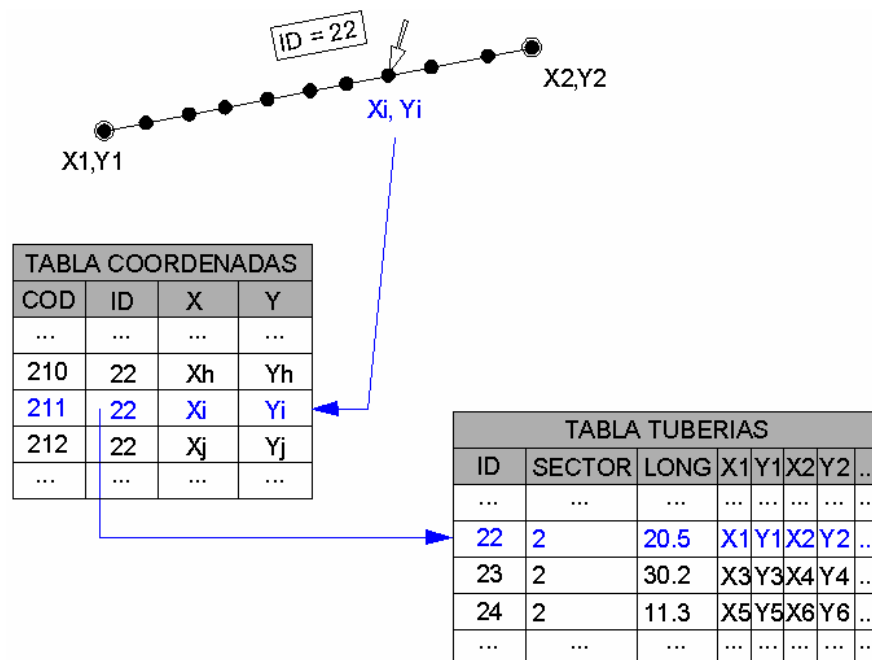


**Figura 4.3.** Esquema general de funcionamiento de la aplicación

---

El mayor problema radicaba en la forma como se compararían los valores en el caso de hacer *click* sobre una línea, ya que de ésta los únicos valores que se exportan desde AutoCad son las coordenadas inicial y final, es decir,  $X1,Y1$  y  $X2,Y2$ , las cuales sólo servirían en el caso en el que se hiciera *click* al principio y al final de una tubería.

La solución que se le dio a este inconveniente fue la creación de una tabla de coordenadas intermedias entre los puntos  $X1,Y1$  y  $X2,y2$  (ver figura 4.4). Esta tabla contiene las coordenadas para cada una de las líneas existentes en la tabla *tuberías*.

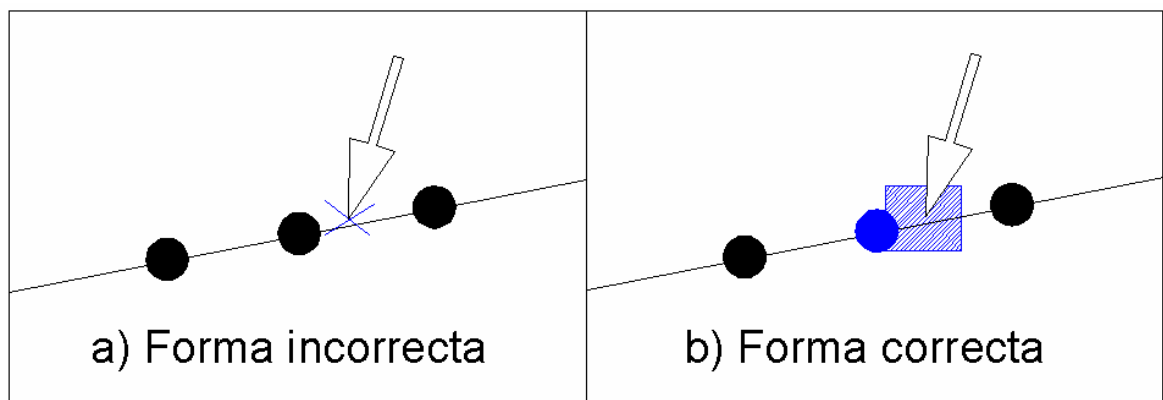


**Figura 4.4.** Esquema general de funcionamiento de la aplicación

Entonces, cuando se selecciona cualquier punto perteneciente a una línea (puntos intermedios), se capturan las coordenadas  $(X_i, Y_i)$  en las cuales se encontraba poseionado el puntero. Estas coordenadas se comparan con los valores almacenados previamente en la tabla *Coordenadas*. Cuando se encuentra la

coincidencia, se busca el ID de esa fila y por medio de la relación con la tabla *tuberías*, se pueden hallar los datos que se desean mostrar en la grilla de atributos.

Obviamente, la comparación de las coordenadas no se puede hacer mediante una igualdad, ya que es muy poco probable que las coordenadas seleccionadas con el puntero coincidan exactamente con las coordenadas almacenadas en la tabla. Es por ello que se deben utilizar rangos de valores para la comparación (ver figura 4.5).



**Figura 4.5.** Formas de comparación de coordenadas: a) igualdad, b) por rangos de valores

#### 4.3.5. Generación de la tabla *Coordenadas*

La tabla *Coordenadas* es necesaria para la obtención de puntos intermedios, cuando se trabaja con las tuberías, ya que para el caso de los accesorios sólo se necesita una pareja de coordenadas X,Y y no una serie de puntos.

Para poder crear puntos intermedios a lo largo de una línea, sólo hay que conocer los puntos inicial y final (ver figura 4.6). A partir de estos se pueden hallar las propiedades de la línea como la pendiente (m) y el punto de corte con el eje Y (b).

$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} \qquad b = Y_1 - m \cdot X_1$$

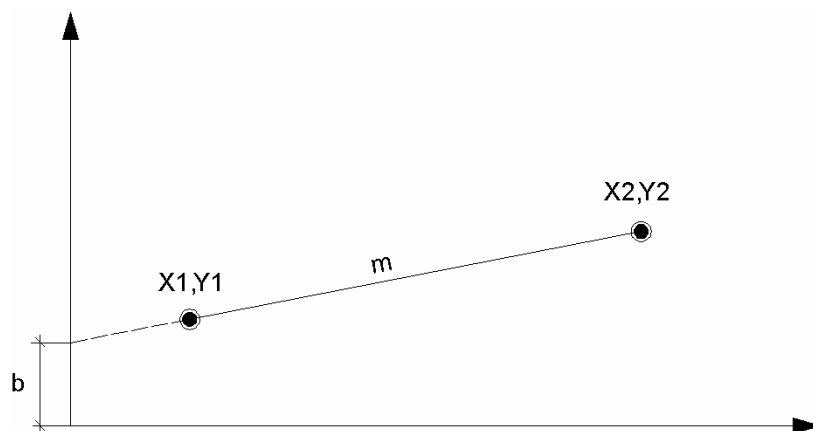
Conociendo la ecuación de la recta  $Y = mx+b$  se pueden hallar los puntos intermedios, para los cuales hay que definir un incremento en X o en Y.

El incremento se define de la siguiente forma:

$$\text{IncrementoX} = \frac{X_2 - X_1}{N} \qquad \text{IncrementoY} = \frac{Y_2 - Y_1}{N}$$

Donde  $N$  es el número de partes en las que se desea dividir la línea. Este valor se captura en la ventana de configuración de SigViewer y depende del rango de longitudes, es decir, entre más larga sea la línea, más divisiones llevará esta.

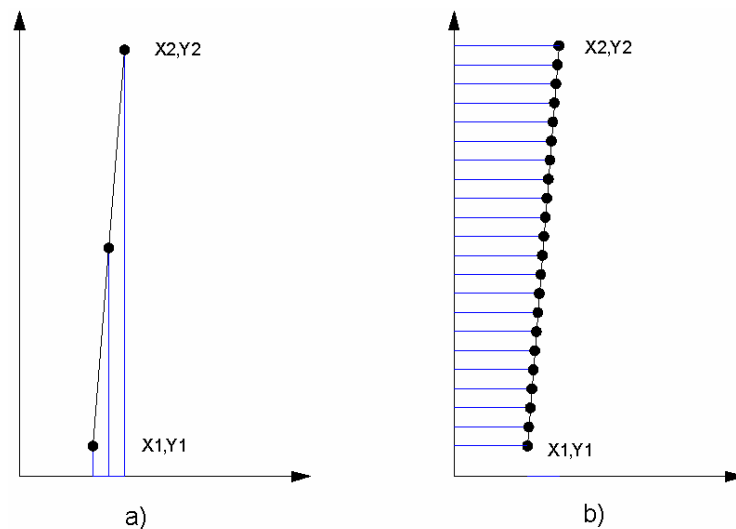
Para saber hacia dónde va el incremento, debe tenerse en cuenta la pendiente de la recta. Si la pendiente está entre -1 y 1 (ángulo entre  $-45^\circ$  y  $45^\circ$ ), el incremento se debe hacer sobre el eje X, de lo contrario, se debe tomar el criterio del eje Y.



**Figura 4.6.** Componentes de la ecuación de una recta

El uso de los criterios se debe a un problema que aparece cuando las líneas presentan tendencia a la horizontalidad o verticalidad. A continuación se muestra un ejemplo ilustrativo, en el cual existe una línea con tendencia vertical, la cual se trabajará con los dos criterios y se mirarán las diferencias.

Aplicando primero el criterio del eje X (caso a de la figura 4.7) se puede notar que el número de divisiones es pequeño y por lo tanto, los puntos generados son escasos, lo cual repercute en una búsqueda difícil con el puntero. Cuando se elige el criterio de las X, primero se halla el delta, el cual será pequeño, ya que  $X_2 - X_1$  tiende a cero. Se busca entonces en la tabla de configuración los valores por defecto (ver figura 4.8), que para este caso se encuentran en el primer rango (0...1). El valor de  $N$  (número de divisiones) es entonces de 3, arrojando un incremento de 0.33 si la línea fuera de un metro de longitud, es decir, la línea quedaría fraccionada en sólo tres partes.

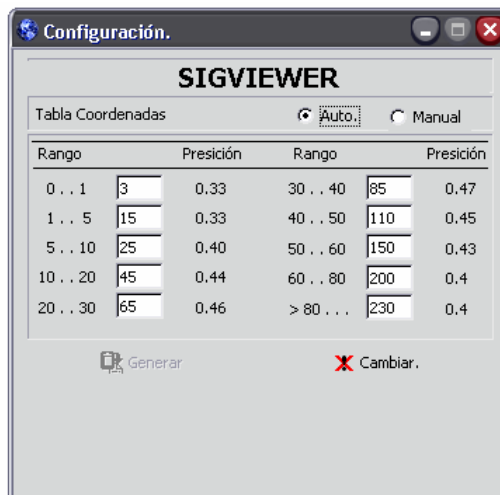


**Figura 4.7.** Criterios de las X y de las Y

Lo anterior indica que las divisiones no son suficientes y no se está teniendo en cuenta que la línea es bastante larga en el sentido de las Y. Por lo tanto, se está tomando el criterio equivocado.

Al elegir el criterio del eje Y, se halla primero el delta, que para este caso, tiene un valor más grande, ya que las coordenadas Y1 y Y2 están más alejadas. Se busca en la tabla de configuración y se obtiene un valor más grande para  $N$ . Por ejemplo, si la línea tuviera un delta de 20 metros, el número de divisiones sería de 45, lo cual aumentaría la cantidad de puntos generados (ver figura 4.7 b).

SigViewer elige el criterio que se va a utilizar para cada caso, mirando el rango en el cual se encuentra la pendiente de la recta. Esta metodología garantiza que haya líneas con las suficientes divisiones y por ende, con una cantidad aceptable de puntos intermedios.



**Figura 4.8.** Rangos de longitudes y sus valores respectivos de  $N$

#### 4.3.5.1. Criterio del eje X

Este criterio fue pensado para el caso de las líneas con tendencia horizontal, en las cuales es preferible llevar a cabo el incremento a través del eje de las X (ver figura 4.9).

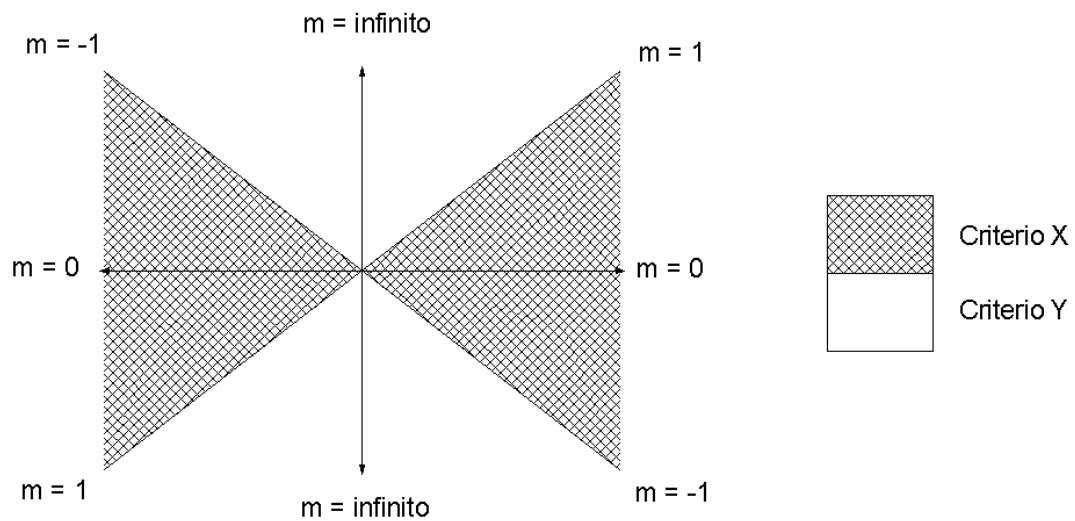
- Se parte de la coordenada  $X_1$  y se le suma el incremento en  $X$ , obteniéndose la coordenada  $X_i$ . Luego, se reemplaza en la ecuación de la recta, es decir, se realiza la operación  $mX_i+b$  para hallar  $Y_i$ .
- Habiendo obtenido la pareja  $X_i, Y_i$  se puede proceder a introducir el primer registro en la tabla *Coordenadas*. Para poder identificar el registro se introduce primero un código, el cual es auto numérico, enseguida se introduce el ID de la línea en la que se están creando las coordenadas, y por último, la pareja de puntos  $X_i, Y_i$ .
- Se repite el primer paso, sólo que ahora la coordenada de partida es  $X_i$ .
- Se sigue la secuencia anterior hasta que el valor de la coordenada  $X$  sea igual a la coordenada  $X_2$ .
- Se pasa a la siguiente línea y se ejecutan los pasos anteriormente descritos hasta terminarlas todas.

#### **4.3.5.2. Criterio del eje Y**

El criterio del eje de las  $Y$  está diseñado para el caso de las líneas con tendencia vertical, en las cuales es preferible llevar a cabo el incremento a través del eje de las  $Y$ .

- Se comienza con la coordenada  $Y_1$ , se le suma el incremento en  $Y$ , obteniéndose la coordenada  $Y_i$ . Se reemplaza en la ecuación  $(Y-b)/m$  para hallar  $X_i$ .

- Habiéndose obtenido la pareja  $X_i, Y_i$  se puede proceder a introducir el primer registro en la tabla *Coordenadas* en el orden siguiente: Código, Id,  $X_i$ ,  $Y_i$ .
- Se repite el primer paso, sólo que ahora la coordenada de partida es  $Y_i$ .
- Se sigue la secuencia anterior hasta que el valor de la coordenada  $Y$  sea igual a la coordenada  $Y_2$ .
- Se pasa a la siguiente línea y se ejecutan los pasos anteriormente descritos hasta terminarlas todas.



**Figura 4.9.** Rangos de las pendientes para los criterios de X y de Y

---

### 4.3.5.3. Código en Delphi

A continuación se muestra un fragmento del código en Delphi, en el cual se aprecia la forma en que se programa la escogencia del valor  $N$ .

```
m:= (y2-y1)/(x2-x1);  
b:= y1-(m*x1);  
  
if (m >= -1) and (m < 1) then  
begin  
  Dif := Abs(x2-x1);  
end  
else  
begin  
  Dif := Abs(y2-y1);  
end;  
  
if dif <=1 then  
  n:= StrToInt(edt1.Text);  
if (dif >1) and (dif<=5) then  
  n:= StrToInt(edt5.Text);  
if (dif >5 ) and (dif<= 10)then  
  n:= StrToInt(edt10.Text);  
if (dif >10 ) and (dif<= 20)then  
  n:= StrToInt(edt20.Text);  
if (dif >20 ) and (dif<= 30)then  
  n:= StrToInt(edt30.Text);  
if (dif >30 ) and (dif<= 40)then  
  n:= StrToInt(edt40.Text);  
if (dif >40 ) and (dif<= 50)then  
  n:= StrToInt(edt50.Text);  
if (dif >50 ) and (dif<= 60)then  
  n:= StrToInt(edt60.Text);  
if (dif >60 ) and (dif<= 80)then  
  n:= StrToInt(edt80.Text);  
if (dif >80 ) then  
  n:= StrToInt(edtMayorQ.Text);
```

Procedimiento para hallar  $m$  y  $b$  de la ecuación de la recta

En esta parte se busca el rango en el que se encuentra la pendiente, para conocer el criterio a usar. Luego se halla el valor  $Dif$ , o sea, la diferencia absoluta entre las coordenadas  $X2-X1$  o  $Y2-Y1$ .

Conociendo el valor de  $Dif$  se busca en los rangos definidos en el cuadro de diálogo *Configurar*, para conocer el valor de  $N$ , que significa el número de divisiones de la recta.

Las etiquetas desde `edt1.text` hasta `edtMatoyQ` son los valores que se introducen en el cuadro de diálogo *Consultar*, aunque existe también la opción automática.

La parte siguiente muestra cómo se escoge entre el criterio de las  $X$  y el criterio del eje  $Y$ , además de la forma como se insertan los registros en la tabla *Coordenadas*.

```

if (m >= -1) and (m < 1) then
begin
  inc := (x2-x1)/n;
  x:= x1;
  for i:=1 to n do
  begin
    y:= (m*x)+b ;
    with SIGDM.QryCoord do
    begin
      Close;
      ParamByName ('id').AsInteger := id;
      ParamByName ('x').AsFloat := x;
      ParamByName ('y').AsFloat := y;
      ExecSQL;
      x:= x + inc;
    end;
  end ;
end

else
begin
  inc := (y2-y1)/n;
  y:=y1;
  for i := 1 to n do
  begin
    x := (y-b)/m;
    with SIGDM.QryCoord do
    begin
      Close;
      ParamByName ('id').AsInteger := id;
      ParamByName ('x').AsFloat := x;
      ParamByName ('y').AsFloat := y;
      ExecSQL;
      y := y + inc;
    end;
  end;
end;

```

Define las fórmulas que se van a usar en caso de escoger el criterio de las X.

Se incluye un *For* para garantizar que termine el proceso de inserción sólo cuando el número de divisiones llegue hasta el final, es decir, hasta X2,Y2.

Después de esto, se insertan los datos de la tabla coordenadas (id, x, y)

Define las fórmulas que se van a usar en caso de escoger el criterio de las Y.

Al igual que el criterio anterior, se incluye la estructura *For* para garantizar que termine el proceso de inserción sólo cuando el número de divisiones llegue hasta el final.

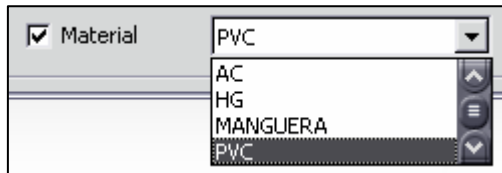
Luego, se insertan los datos en la tabla de coordenadas (id, x, y).

#### 4.3.6. Ejecución de las consultas

Dentro de la aplicación SigViewer, la herramienta para ejecución de consultas es una de las más útiles, por permitir encontrar tuberías o accesorios según los criterios deseados.

El formulario está diseñado específicamente para personas de poco conocimiento en el área de bases de datos, con el fin de evitar cometer errores de búsqueda que puedan generar errores, los cuales pueden volver corrupta la base de datos.

La manera de evitar producir estos errores se soluciona restringiendo la escogencia de los valores para los criterios. La forma más adecuada es la utilización de un ComboBox (ver figura 4.10).



**Figura 4.10.** Elemento *ComboBox* de Delphi

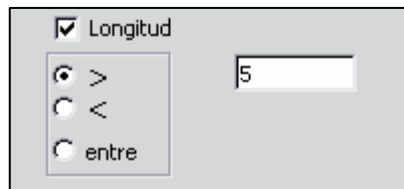
---

El ComboBox se alimenta de la base de datos por medio de una consulta (Query), la cual busca en la tabla *Accesorios* o *Tuberías* la columna respectiva. Por ejemplo, para seleccionar un tipo de material para consultas de tuberías, el ComboBox se estaría alimentando de la consulta siguiente:

```
Select distinct material from Tuberías
```

Lo anterior quiere decir que busque todos los tipos existentes de material (sin repetir) que se encuentren en la tabla *Tuberías* y lo cargue en los elementos del ComboBox para su posterior escogencia.

Además del elemento ComboBox se usan las casillas de texto (Tedit), ya que hay criterios que no permiten la escogencia, como las longitudes o en general, valores que no tienen tendencia a repetirse con mucha frecuencia dentro de la base de datos (ver figura 4.11).



**Figura 4.11.** Elemento casilla de texto *Tedit* de Delphi

---

La consulta más sencilla que existe es la *general*, la cual busca los elementos sin utilizar ningún criterio. El código utilizado es:

```
Select * from Accesorios
```

Esto significa que selecciona todos los registros contenidos en la tabla *Accesorios*.

El proceso para ejecutar una consulta a la vez es sencillo en comparación con el proceso que se sigue para la ejecución de consultas combinadas. Las tablas de *V* y *F* representan una ayuda fundamental para la elaboración de los IF anidados.

Las tablas de *Verdadero* y *Falso* (ver tabla 4.1) representan todas las combinaciones posibles en la elección de criterios para consultas. A partir de estas combinaciones se construye la estructura de los IF.

**Tabla 4.1.** Combinaciones posibles para criterios de la tabla *Tuberías*

	Long	Mat	Diam	Año				
1	F	F	F	V				Año
2	F	F	V	F			Diam	
3	F	F	V	V			Diam	Año
4	F	V	F	F		Mat		
5	F	V	F	V		Mat		Año
6	F	V	V	F		Mat	Diam	
7	F	V	V	V		Mat	Diam	Año
8	V	F	F	F	Long			
9	V	F	F	V	Long			Año
10	V	F	V	F	Long		Diam	
11	V	F	V	V	Long		Diam	Año
12	V	V	F	F	Long	Mat		
13	V	V	F	V	Long	Mat		Año
14	V	V	V	F	Long	Mat	Diam	
15	V	V	V	V	Long	Mat	Diam	Año

A continuación se muestra un fragmento que incluye el caso 6 de la tabla 4.1, F V V F (Material y Diámetro).

```

if (Chblongitud.Checked = False) and (ChbMaterial.Checked = True) and
    (ChbDiametro.Checked = True) and (chbInstalacion.Checked = False) then
begin
    Sconsulta := 'Select * from Tuberias where'+
        ' Material = '+ '''+Material+'''+
        ' and Diametro = '+ '''+Diametro+''';
    edit1.Text := Sconsulta;
    Consultar;
end;

```

En el código anterior se pregunta si están escogidas las casillas *Material* y *Diámetro*. Si esto sucede, guarda en la variable *Sconsulta* la cadena de texto que hace que se seleccione todos los registros de la tabla *Tuberías* donde el material sea igual al valor contenido en la casilla *Material* y el diámetro sea igual al contenido de la casilla *Diámetro*. Después de esto, coloca la cadena de texto en la

casilla de texto *Consulta* para que el usuario pueda ver la consulta que ha sido realizada. Por último, ejecuta la consulta con el contenido de la cadena de texto guardada en la variable *Sconsulta*.

#### 4.3.7. Conformación de los accesos a la base de datos

El motor para el funcionamiento de SigViewer es la base de datos *Acueducto*, es por ello fundamental la definición de los accesos a esta. El elemento *Data Module* de Delphi (ver figura 4.12) se utiliza para contener todos los accesos a las tablas y las distintas consultas que se usan dentro de la aplicación.

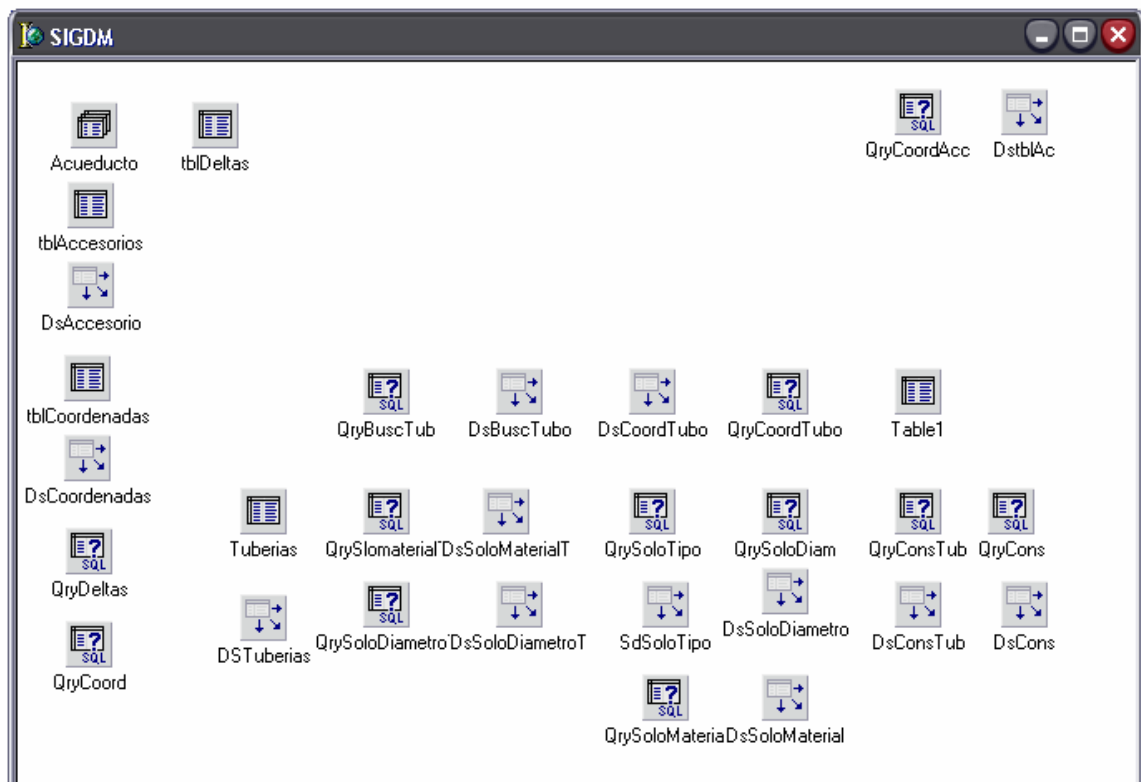


Figura 4.12. Módulo de datos de Delphi

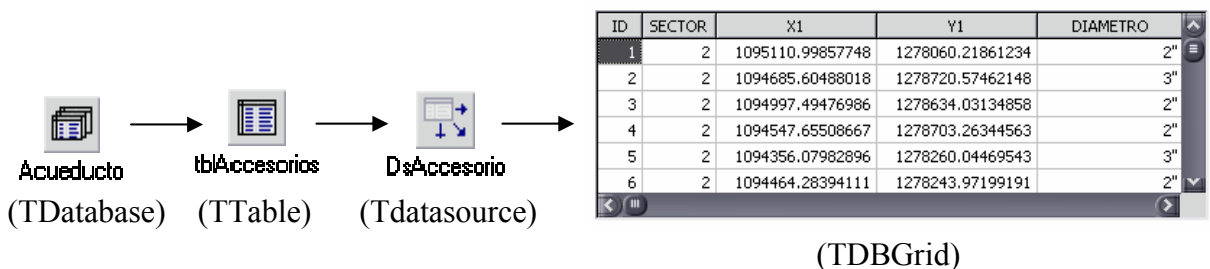
Los tipos de elementos que se encuentran en el módulo de datos son: *TDatabase*, *TTable*, *TDataSource* y *TQuery*.

Los *TDatabase* sirven para llamar a la base de datos, la cual se reconoce a través de un alias definido en el ODBC. Todos los demás elementos funcionan conectados a este *TDatabase*.

El primer elemento integrante del módulo de datos es un *TDatabase*, el cual se alimenta de la base de datos *Acueducto.mdb* con el alias *AcueductoLeb*, definido en el ODBC *Microsoft Access Driver*. El nombre de la base de datos para este *TDatabase* es *Acueducto.db*.

El elemento *TTable* se utiliza cuando se necesita un acceso directo a una tabla de alguna base de datos. Esto significa que se muestran todos los registros y no parte de ellos como en un *Query*.

Un *TDataSource* funciona como el elemento de enlace entre la base de datos y un componente de origen de datos, mediante el cual se pueden mostrar y manipular los atributos de las tablas. Por ejemplo, para poder desplegar la tabla de Accesorios deben crearse los elementos en la siguiente jerarquía (ver figura 4.13): *TDatabase* → *Ttable* → *TDataSource*. Al crear en este orden las conexiones se puede introducir un elemento *TDBGrid*, el cual es el que presenta visualmente la tabla de datos.



**Figura 4.13.** Elementos usados (en orden jerárquico) para mostrar una tabla de atributos

Para la ejecución de consultas es indispensable el uso del elemento *TQuery*, el cual funciona en el mismo orden que el componente *TTable*, con la ventaja de poder mostrar sólo los registros que cumplan con las condiciones dadas de la respectiva consulta.

## **5. MODELAMIENTO PARCIAL DE UN SECTOR DE LA RED MEDIANTE EL USO DEL SOFTWARE EPANET**

En este capítulo se presenta la red parcial de distribución de agua potable del municipio de Lebrija, mediante la elaboración de un modelo que represente aproximadamente la realidad, basado en metodologías de análisis y normas de diseño. Además se muestran los diferentes elementos de la red que deben ser incluidos en el modelo hidráulico.

### **5.1. LA RED A MODELAR**

#### **5.1.1. Generalidades**

La red seleccionada para el modelamiento en Epanet es la que distribuye la zona nor-oriental del municipio (ver anexos 2 y 3). La principal característica de la zona es la elevación, la cual representa el sector crítico de abastecimiento de agua. Este tipo de restricción se vence con el transporte de agua por gravedad desde sendos tanques elevados ubicados hacia el sur-oriente del municipio, en la planta de tratamiento de agua potable.

#### **5.1.2. Tipo de red**

Hidráulicamente, se pueden establecer redes abiertas, cerradas, o mixtas, dependiendo de la conformación física de la población. La red del sector se

clasifica como una red mixta, en la cual predomina el tipo de red abierta con una sección cerrada hacia la parte alta del municipio.

### **5.1.3. Abastecimiento**

El tipo de abastecimiento que se presenta en la red es de gravedad. Este tipo de flujo es a presión, y al igual que el flujo en lámina libre, se basa en el principio de conservación de energía. De tal forma que el movimiento del agua se produce de los puntos con mayor energía a los de menor energía.

### **5.1.4. Materiales**

La gran totalidad de la tubería es de policloruro de vinilo (PVC), exceptuando un pequeño tramo instalado en hierro galvanizado. Para el caso de accesorios, el material utilizado es el PVC para elementos de diámetro pequeño (2"- 4") y de hierro galvanizado para diámetro grande (4"- 8").

## **5.2. QUE ES EPANET?**

Epanet es un programa de ordenador para Windows 95/98/NT/2000 que permite realizar simulaciones en periodos prolongados (uno o varios días) del comportamiento hidráulico y de la evolución de la calidad del agua en redes de suministro a presión. Una red puede estar constituida por tuberías, nudos (uniones de tuberías), bombas, válvulas y depósitos de almacenamiento o embalses. Epanet efectúa un seguimiento de la evolución de los caudales en las tuberías, las presiones en los nodos, los niveles en los depósitos, y la concentración de las especies químicas presentes en el agua a lo largo del periodo de simulación,

discretizado en múltiples intervalos de tiempo. Además de la concentración de las distintas especies, puede también simular el tiempo de permanencia del agua en la red y su procedencia desde las diversas fuentes de suministro.

Epanet proporciona un entorno integrado bajo Windows, para la edición de los datos de entrada a la red, la realización de simulaciones hidráulicas y de la calidad del agua, y la visualización de resultados en una amplia variedad de formatos. Entre éstos se incluyen mapas de la red codificados por colores, tablas numéricas, gráficas de evolución y mapas de isolíneas.

El software Epanet ha sido desarrollado por la División de Recursos Hídricos y Suministros de Agua (anteriormente División de Investigación del Agua Potable) del Laboratorio Nacional de Investigación para la Prevención de Riesgos (NRMRL) de la Agencia para la Protección del Medio Ambiente de EEUU (USEPA). Como tal, es un software de dominio público que puede bajarse y distribuirse libremente desde Internet. El trabajo ha sido financiado por Aguas de Valencia, S.A., y al igual que la versión inglesa, se ofrece como un producto de dominio público. Por consiguiente puede copiarse y distribuirse libremente. Sin embargo, a diferencia de la versión inglesa, el código fuente de la versión española no es, por ahora, de libre difusión.

### **5.3. PRESTACIONES DE EPANET**

Epanet contiene un simulador hidráulico muy avanzado que ofrece las siguientes prestaciones:

- No existe límite en cuanto al tamaño de la red que puede procesarse.

- Las pérdidas de carga pueden calcularse mediante las fórmulas de Hazen-Williams, de Darcy-Weisbach o de Chezy-Manning.
- Contempla pérdidas menores en codos, accesorios, etc.
- Admite bombas de velocidad fija o variable.
- Puede calcular el consumo energético y sus costes.
- Permite considerar varios tipos de válvulas, tales como válvulas de corte, de retención, y reguladoras de presión o caudal.
- Admite depósitos de geometría variable (esto es, cuyo diámetro varíe con el nivel).
- Permite considerar diferentes tipos de demanda en los nodos, cada uno con su propia curva de modulación en el tiempo.
- Puede modelar tomas de agua cuyo caudal dependa de la presión (p.ej. rociadores).
- Admite leyes de control simples, basadas en el valor del nivel en los depósitos o en la hora prefijada por un temporizador, y leyes de control más complejas basadas en reglas lógicas.

Epanet puede utilizarse también para mejorar las características de la red hidráulica. Entre los posibles usos pueden citarse la localización y dimensionado de tuberías, bombas y válvulas, la minimización del gasto energético, la

verificación de las condiciones de suministro en caso de incendio, la realización de estudios de vulnerabilidad de la red, o el entrenamiento de los operadores.

#### **5.4. ELABORACION DEL MODELO HIDRAULICO**

Para realizar el modelo hidráulico en Epanet es necesario conocer su entorno de trabajo, es decir la barra de menús, la barra de herramientas, la barra de estado, el esquema de la red, el visor de datos, el visor del esquema, el editor de propiedades entre otros. Para ello se muestra a continuación los pasos seguidos para la elaboración y análisis del modelo específico del proyecto.

##### **5.4.1. Datos necesarios**

Antes de trabajar en el programa de análisis, fue necesario conocer la información de la red necesaria para su configuración. Dentro de los datos consultados más representativos para la elaboración del modelo están:

- Longitud y localización de las tuberías
- Diámetro de los tubos
- Material de construcción de los tubos
- Elevación (o altura en relación a un punto) de cada uno de los nodos (intersecciones entre tubos) que componen la red o sector.
- Elevación, capacidad y dimensiones de los tanques que abastecen de agua al sector.

## 5.4.2. La barra de proyecto

### 5.4.2.1. Barra Resumen

En esta ventana se consignaron aspectos propios y particulares del proyecto (ver figura 5.1). Se le dio un título al proyecto que en este caso es *SECTOR\_1\_ESPL*, con el cual, además se selecciona utilizar en las salidas impresas. Opcionalmente se escriben unas notas que proporcionen una idea acerca del modelo. A manera informativa se pueden observar estadísticas generales del modelo.

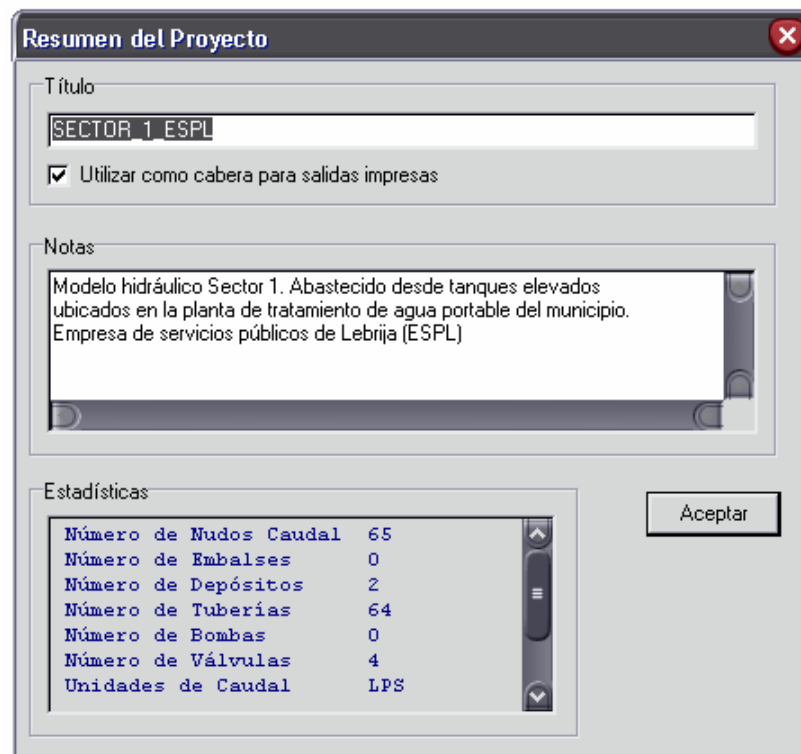


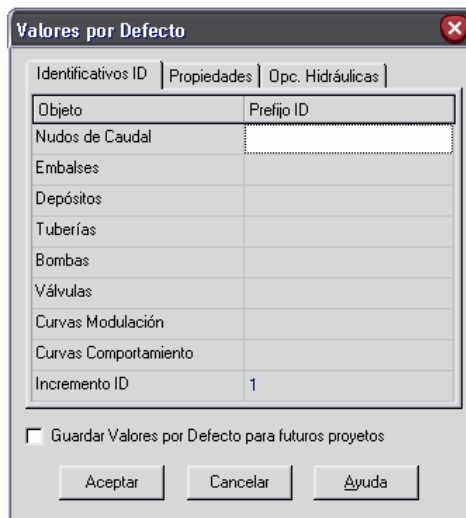
Figura 5.1. Cuadro de diálogo *Resumen*

### 5.4.2.2. Barra Valores por defecto

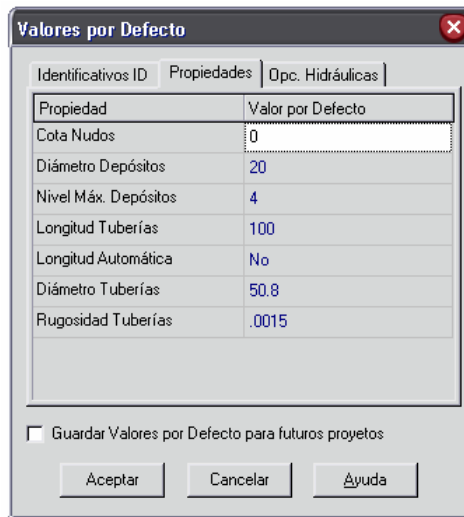
Es importante siempre antes de empezar, calibrar los valores que el programa tiene por defecto, los cuales serán adoptados para asignar propiedades a los elementos introducidos en el modelo. Entre ellos los identificativos ID (ver figura 5.2), las propiedades por defecto para nodos y líneas como longitud, diámetro, rugosidad, etc. (ver figura 5.3), y las opciones hidráulicas, entre ellas el sistema de unidades, la ecuación de pérdidas, entre otras (ver figura 5.4).

Los valores de ID (Auto numéricos) y propiedades se deben editar a medida que el modelo y sus componentes lo exijan. Los parámetros más relevantes en esta ventana son los de opciones hidráulicas (ver figura 5.4), en la cual se detallan las unidades y ecuación de perdidas, numero de iteraciones, etc., datos necesarios definidos por el usuario para el posterior cálculo con el software.

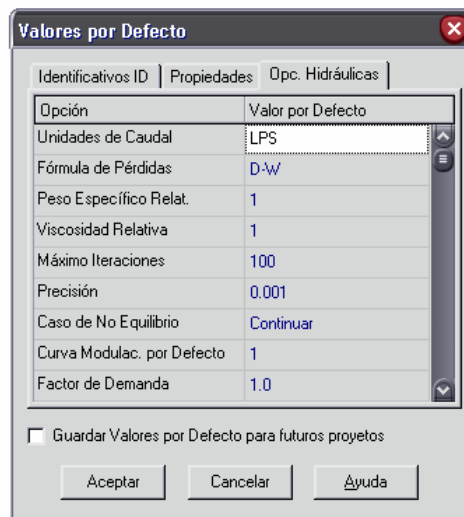
Para el caso de la red parcial del municipio, se define la formula con la cual se calcularán las perdidas. Se escoge la formula de Darcy-Weisbach por ser la universal y mas adecuada en busca de resultados aceptables.



**Figura 5.2.** Cuadro de diálogo *Valores por defecto, Identificativos ID*



**Figura 5.3.** Cuadro de diálogo *Valores por defecto, Propiedades*



**Figura 5.4.** Cuadro de diálogo *Valores por defecto, Opciones hidráulicas*

### 5.4.3. Exportar el mapa de fondo

Para el modelamiento del sector en particular (sector 1) se empieza por definir la red a analizar, en este caso el sector que abastece desde los tanques elevados en

la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) hasta la parte alta del municipio (ver anexo 2).

El archivo previamente exportado de formato *dwg* a formato *wmf* se carga desde la barra de herramientas Ver → Mapa de fondo → cargar, y buscamos la imagen *Acueducto\_ESPL.wmf*, obteniendo el mapa en el archivo del proyecto para *calcar* la red de distribución.

#### **5.4.4. Dibujo de la red**

Con el mapa de fondo se dibuja la red, empezando por los nodos que se quieran analizar. Se tomaron los puntos mas representativos de la red como los son el cambio de dirección, los cambios de propiedades de las tuberías, las válvulas, entre otros.

Los elementos dibujados, luego fueron editados con el fin de asignar las propiedades particulares a cada uno de ellos.

#### **5.4.5. Definiendo la red**

A los nodos se les asignaron propiedades de elevación (cota) y de demanda base (ver anexo 4), es decir, la demanda de consumo del caudal que sale de la red por ese nodo. Esto para representar las conexiones domiciliarias. A las líneas se le asignaron valores de longitud, diámetro, rugosidad, etc.

### 5.4.5.1. Cálculo del caudal de trabajo

#### 5.4.5.1.1. Población servida

Se hizo un conteo de viviendas abastecidas por la red a analizar. Actualmente se cuenta con 183 viviendas ubicadas a lo largo de la red y desde el sitio en el cual se empieza a distribuir el agua, es decir en el punto donde inician las conexiones domiciliarias.

Con datos de vivienda se puede hacer un estimativo de la población servida, teniendo en cuenta datos de habitantes por vivienda en el municipio, suministrados por Planeación del municipio. Para el caso especial se trabajó con 5 hab./vivienda, obteniendo un total de población actual de 915 habitantes.

#### 5.4.5.1.2. Nivel de complejidad

Con estos datos y haciendo uso del reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico, se busca el nivel de complejidad a adoptar para el análisis particular. De acuerdo a esto se estipula el nivel de complejidad de acuerdo al número de habitantes, el cual es un nivel de complejidad bajo

**Tabla 5.1.** Normas RAS 2000 A.3.1

<b>Nivel</b>	<b>Población en la zona (habitantes)</b>	<b>Capacidad económica de los usuarios</b>
Bajo	< 2500	Baja
Medio	2500 - 12500	Baja
Medio- alto	12500 - 60000	Media
Alto	> 60000	Alta

#### 5.4.5.1.3. Dotación neta

Es la cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades de una población sin considerar las pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto (RAS 2000 B.2.4).

**Tabla 5.2.** Norma RAS 2000 B.2.2

Nivel de complejidad	Dot. Neta Mín.	Dot. Neta Máx.
	( Lt/Hab-Día)	( Lt/Hab-Día)
Bajo	100	150
Medio	120	175
Medio-alto	130	-
Alto	150	-

Según la tabla anterior y teniendo en cuenta el nivel de complejidad, se adopta una dotación de 150 Lt/hab.-día.

#### 5.4.5.1.4. Caudal medio diario (Q.m.d.)

Corresponde al promedio de los consumos diarios en un período de un año, se calcula de acuerdo a los parámetros anteriormente definidos y usando la ecuación:

$$Q_{md} = \frac{Pf * Db}{86400} = \frac{1020 * 150}{86400} = 1.771 \text{ lps}$$

#### 5.4.5.1.5. Caudal máximo diario (Q.M.D)

Es el consumo máximo que se presenta en un día del año, (RAS 2000 B.2.7.2), se calcula multiplicando el caudal medio diario por el coeficiente de consumo máximo

diario (k1) el cual corresponde según su nivel de complejidad a un valor de 1.3 (Ver tabla 5.3).

**Tabla 5.3.** Norma RAS 2000 B.2.5

Nivel de complejidad del Sistema	Coefficiente de consumo Máximo diario - K1
Bajo	1.3
Medio	1.3
Medio alto	1.2
Alto	1.2

$$Q.M.D = Qm.d * k1 = 1.771 * 1.3 = 2.302 \text{ lps.}$$

#### 5.4.5.1.6. Caudal máximo horario (Q.M.H.)

Es el consumo máximo registrado durante una hora en un período de un año, sin tener en cuenta el caudal de incendio. Se calcula como el caudal máximo diario multiplicado por el coeficiente de consumo máximo horario, k2, el cual corresponde a 1.6 (Ver tabla 5.4) según la siguiente ecuación:

$$Q.M.H = Q.M.D * K2 = 2.302 * 1.6 = 3.683 \text{ lps}$$

**Tabla 5.4.** Norma RAS 2000 B.2.6

Nivel de complejidad del Sistema	Red menor de distribución	Red secundaria	Red matriz
Bajo	1.6		
Medio	1.6	1.5	
Medio alto	1.5	1.45	1.4
Alto	1.5	1.45	1.4

#### **5.4.5.2 Cálculo de la demanda base para los nodos del modelo**

Para la simulación de salida de caudal de la red a través de los nodos se trabajó con la siguiente metodología:

Se discretizaron los tramos de tubería representativos del sector, a los cuales se les asignó un número de viviendas servidas de acuerdo a datos recogidos con el personal de la empresa. De esta forma se puede consignar el total de viviendas abastecidas por la red.

El caudal entrante, es decir, el caudal máximo horario (Q.M.H) calculado anteriormente, se distribuye en la red con el fin de abastecer la población actual. El caudal de salida para los nodos (demanda base) representa el consumo residencial del sector servido, expresado en unidades de caudal (litros por segundo) y es función del número de viviendas abastecidas por el tramo o tramos de tubería que llegan al nodo. Es así como se calcula un valor de  $Q/\#viviendas$ , el cual se debe multiplicar para cada tramo proporcionalmente. (Ver anexo 4)

#### **5.4.5.3 Topografía de la red**

Con el fin de conocer las presiones en los nodos del modelo, es necesario conocer la elevación de los mismos. Este valor se anota en las propiedades del nodo (cota). El cálculo de la cota se hizo mediante interpolación de curvas de nivel suministradas en un plano topográfico por planeación municipal, en cual cuenta con curvas de nivel dibujadas cada metro.

## 5.5. VISUALIZANDO LOS RESULTADOS DEL ANALISIS

Del proceso anterior se obtiene la red como la mostrada en la figura 5.6.

### 5.5.1. El visor de Epanet

Sobre este modelo se pueden hacer diferentes tipos de consultas referentes a los resultados del cálculo hidráulico, así como los valores ingresados al modelo desde un principio sobre nodos y tuberías.

Para consultas rápidas se puede utilizar la ventana de visor (ver figura 5.5), seleccionando el tipo de dato que se quiere mostrar en las leyendas. Para nodos se pueden mostrar datos como presión, cota, demanda base, etc., y para tuberías se pueden mostrar datos como caudal, velocidad, diámetro, longitud.

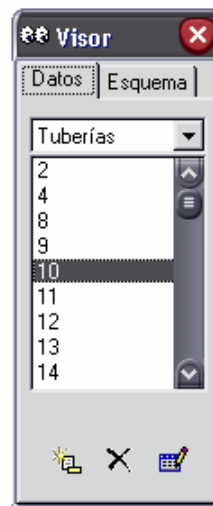
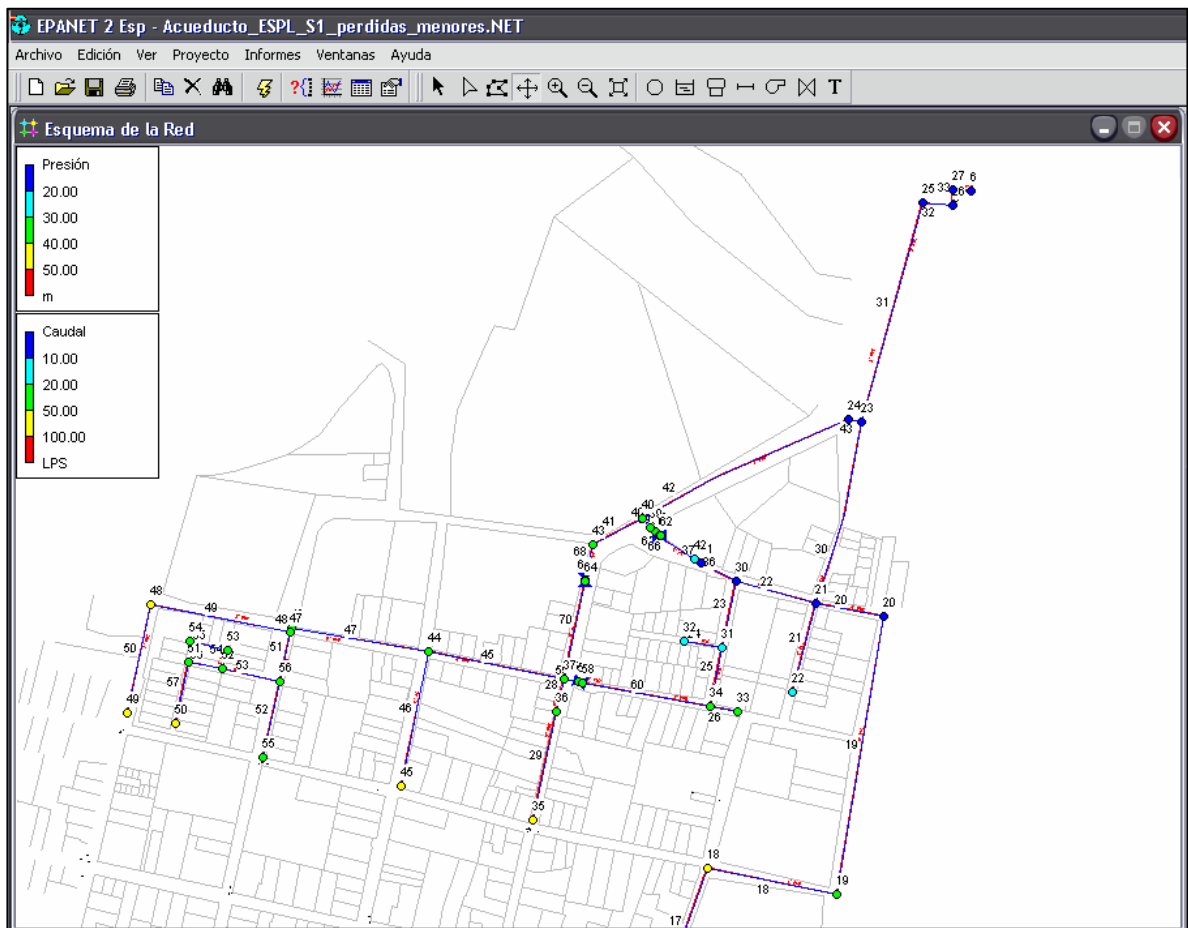


Figura 5.5. Ventana del Visor


---



**Figura 5.6.** Esquema de la red


La visualización se tiene discretizada por colores y para conocer su valor numérico se ubica el cursor sobre el objeto deseado, con la opción de seleccionar objeto. En la figura 5.6 se muestra la red con valores de presión para nodos y de caudal para tuberías.

### 5.5.2. La opción *Consultar*


Para consultas mas detalladas y precisas se utilizó la ventana *consultar*. Para acceder a ella se ingresa desde la pestaña Ver → Consultar, o directamente con el botón 

Mediante este botón se pueden obtener los nodos y líneas que cumplen una determinada condición, (menor, igual o mayor que) respecto a un valor determinado. En la figura 5.7 se muestra la ventana *consultar* en la cual se quiere consultar el numero de nudos con presión menor a 11 metros columna de agua, como un resultado aceptable para casas de un piso.

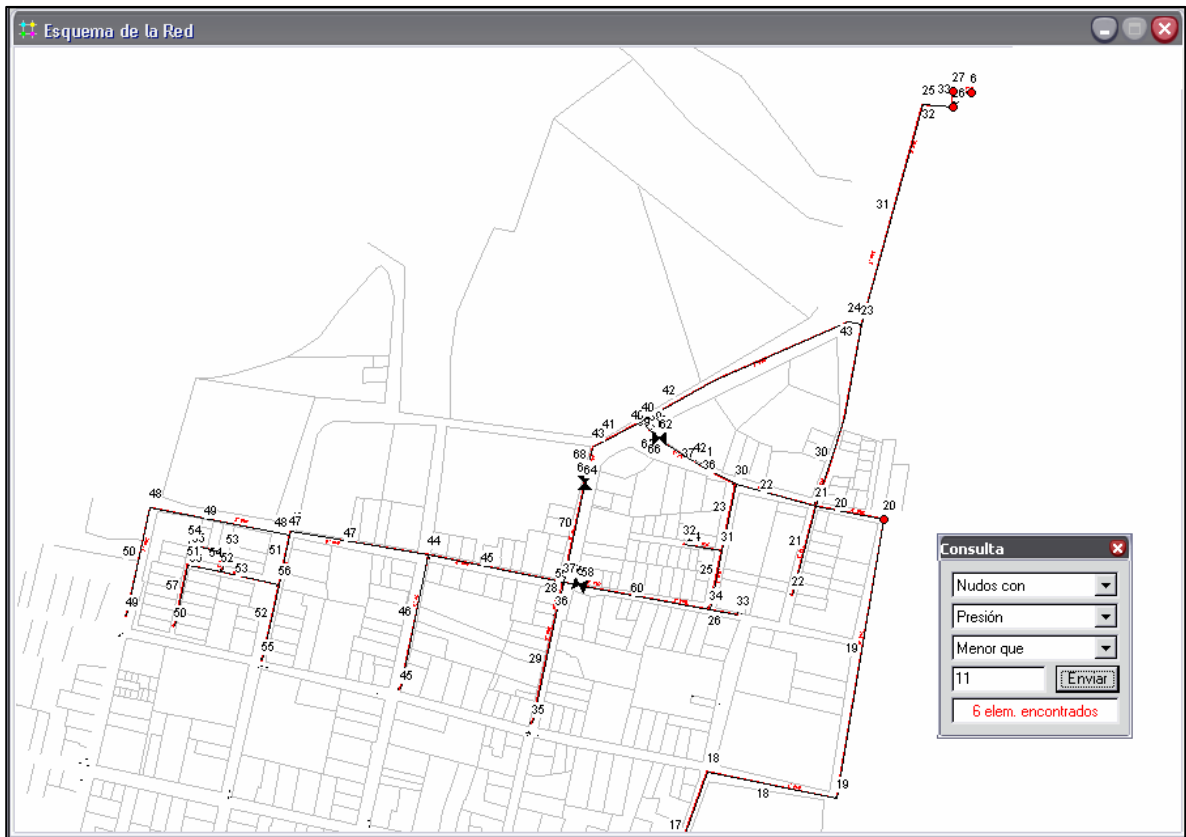
### 5.5.3. Resultados gráficos

Los resultados del análisis, así como ciertos parámetros de diseño, se visualizaron utilizando diferentes tipos de gráficas, una de ellas el perfil de presiones de un tramo (ver figura 5.8). Para observar las gráficas, se ingresa por la pestaña Informes → Gráficos o directamente con el botón 

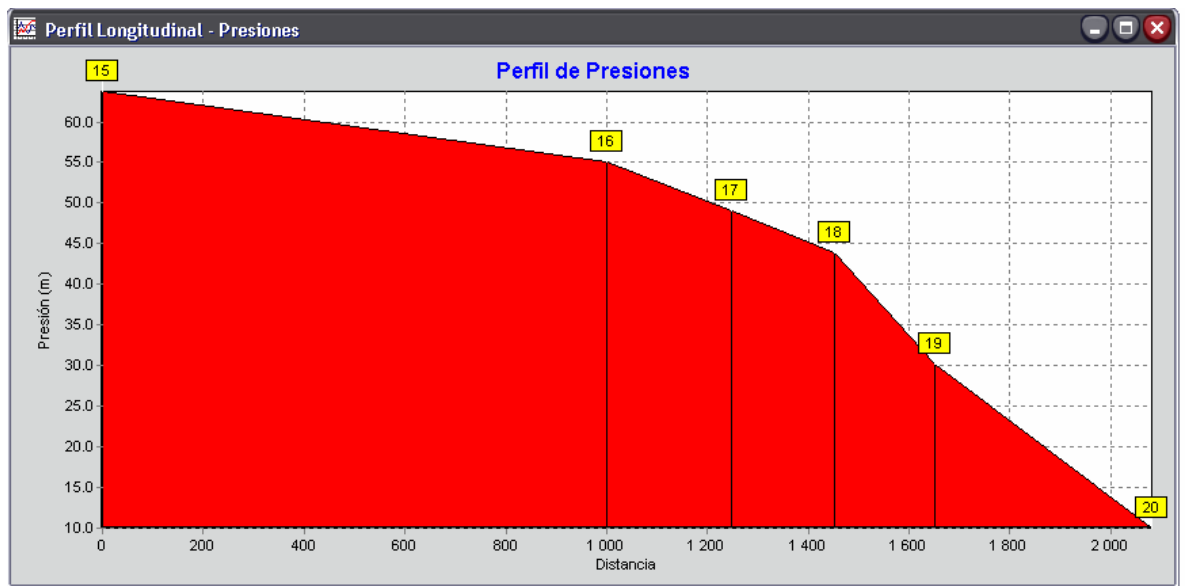
### 5.5.4. Resultados tabulados

EPANET permite también ver ciertos datos del proyecto y los resultados del análisis en forma tabular. Para acceder a ellas se ingresa por Informe → Tablas, o directamente con el botón 

En este tipo de consultas se pueden utilizar filtros con el fin de excluir cierta cantidad de nodos con de características conocidas, mediante condiciones como igual, menor o mayor que. (ver figura 5.9)



**Figura 5.7.** Ventana de consultas



**Figura 5.8.** Perfil longitudinal de presiones

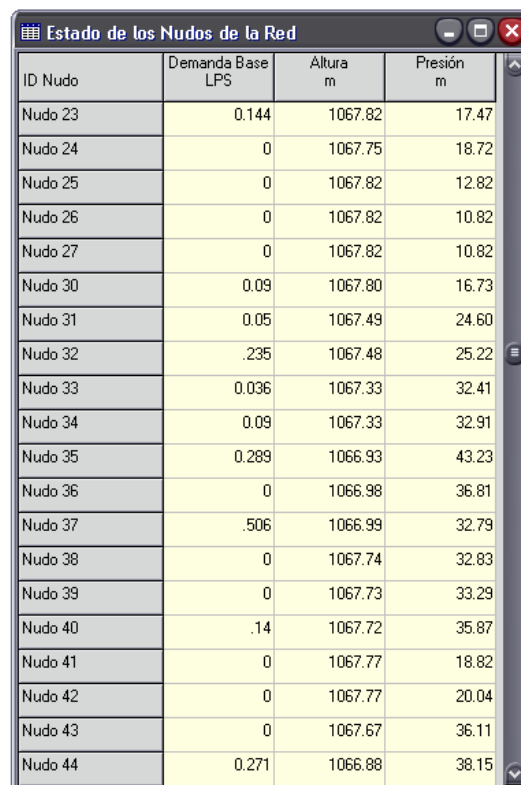
### 5.5.5. Informe completo del modelo

Se genera desde la pestaña informes → Completo. Para el caso particular se obtuvo el informe, el cual genera las siguientes tablas (ver el anexo 5):

Tabla de líneas y nudos: indica la estructuración, nomenclatura y propiedades físicas de las líneas y nodos. Contiene: Id línea, nudo inicial, nudo final, longitud y diámetro.

Resultados en los nudos: indica las características para un instante de tiempo en los nodos. Contiene: id nudo, demanda, altura, presión y calidad.

Resultados en las líneas: indica las características de las tuberías y válvulas para un instante de tiempo. Contiene: Id línea, caudal, velocidad, pérdida unitaria y estado.



ID Nudo	Demanda Base LPS	Altura m	Presión m
Nudo 23	0.144	1067.82	17.47
Nudo 24	0	1067.75	18.72
Nudo 25	0	1067.82	12.82
Nudo 26	0	1067.82	10.82
Nudo 27	0	1067.82	10.82
Nudo 30	0.09	1067.80	16.73
Nudo 31	0.05	1067.49	24.60
Nudo 32	.235	1067.48	25.22
Nudo 33	0.036	1067.33	32.41
Nudo 34	0.09	1067.33	32.91
Nudo 35	0.289	1066.93	43.23
Nudo 36	0	1066.98	36.81
Nudo 37	.506	1066.99	32.79
Nudo 38	0	1067.74	32.83
Nudo 39	0	1067.73	33.29
Nudo 40	.14	1067.72	35.87
Nudo 41	0	1067.77	18.82
Nudo 42	0	1067.77	20.04
Nudo 43	0	1067.67	36.11
Nudo 44	0.271	1066.88	38.15

Figura 5.9. Tabla de estado de los nodos de la red

## 6. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

- Mediante el uso del software SigViewer se logra hacer una mejor gestión del sistema de distribución de agua potable de Lebrija, valiéndose para ello de sencillos métodos de consulta, basados en un entorno gráfico y en formularios caracterizados por su fácil manejo.
- El programa, además de servir a la empresa, es una potencial herramienta para usuarios y para futuros proyectos de desarrollo que se puedan llevar a cabo en el municipio. Se sugiere complementar la aplicación, a medida que las condiciones en el manejo del SIG lo ameriten. La elaboración de estas modificaciones se llevará a cabo con las recomendaciones que los usuarios suministren a los administradores.
- Gracias al desarrollo del presente proyecto, se pueden conocer de forma ágil las propiedades relacionadas con cada elemento integrante de la red, ante la eventualidad de un daño o anomalía, para poder dar una pronta solución.
- Con la investigación realizada, se determinó que existen tuberías con edades que superan los treinta años (ver SigViewer), las cuales presentan fugas de forma frecuente. Se hace necesario pues, su reemplazo para evitar pérdidas al máximo y de esta manera, darle un mejor aprovechamiento al recurso hídrico.
- Con en base en el modelo se puede concluir que la zona norte es la que presenta las presiones mas críticas del sector 1 (ver figura A.6.1) por la lejanía respecto a la planta de tratamiento y por la altura en la cual se encuentra ubicada.

- La zona de mayor presión del sector 1, se encuentra en la carrera 8 con calle 7, en la cual se presentan presiones del orden de los 60 metros de columna de agua. (Ver figura A.6.1).
- Un tramo de la tubería de salida de la planta de tratamiento tiene una capacidad limitada para transportar el caudal requerido para satisfacer la demanda de agua. La simulación hidráulica muestra que el sistema de distribución ha sido mal diseñado o mal construido, pero es evidente que existen fallas en el proceso de concepción y planeación de este sistema. El caso concreto es el de la instalación de una tubería de 3" que metros adelante se amplía 4", lo cual no es recomendable en los diseños de sistemas de distribución, por que se pueden presentar fenómenos hidráulicos que no son favorables para la vida útil de la tubería. Se recomienda cambiar el tramo de 3" a 4" para un mejor aprovechamiento de la red.
- Las altas presiones en la redes de distribución pueden causar grandes desperdicios en el consumo doméstico y agrícola al abrir las llaves de los elementos sanitarios y otros. Por lo tanto, hay que tratar de evitar en lo posible, tener las llaves de los lavamanos, regaderas, riegos y otros elementos, abiertas por un tiempo demasiado prolongado.
- Se recomienda no hacer conexiones a la red de aducción y distribución que no están establecidas dentro del diseño del acueducto, para poder evitar fugas y desperdicios y así garantizar el servicio de agua a todas las viviendas del casco urbano del municipio.
- Como se ha puesto repetidamente de manifiesto, el modelo no es más que un instrumento matemático si no se procede a una calibración del mismo, para que los datos que produce sean fiables. Se deja como sugerencia para futuros

análisis y como trabajo para la empresa el desarrollar la simulación completa de la red hidráulica y realizar las calibraciones apropiadas al modelo.

- A partir del estudio y análisis de la red se deberían colocar macro-medidores que sirvieran para mejorar la explotación y disponer de medios adecuados y continuos para adaptar el modelo hidráulico que se dispone a la realidad. Además, es factible que debido a las condiciones de operación del sistema, hayan pérdidas de agua que no puedan ser estimadas con la información que se tiene en el momento y estos datos incluyen los errores de medición causados por los micro-medidores.

## BIBLIOGRAFIA

GÓMEZ, Jorge. Introducción a los Sistemas de Información geográfica. Publicaciones UIS. Bucaramanga 2005.

BOSQUE Joaquín S. Sistemas de Información Geográfica. Madrid: Rialp, 1992.

ROSSMAN LEWIS, Epanet 2.0, Manual del Usuario, Análisis Hidráulico Y De Calidad En Redes De Distribución De Agua. Valencia, España 2001.

DELPHI, User guide. Coding Standards Document.

LÓPEZ, Ricardo. Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados, Escuela colombiana de ingeniería. Bogotá 2000.

AutoCad Land Desktop, Release 2i, Microgeo Ltda.

AutoDesk Development Inc. AutoDesk Map 2005.

Esquema de Ordenamiento Territorial de Lebrija 2003.

## **ANEXOS**

## **ANEXO 1. MANUAL DE LA APLICACIÓN SIGVIEWER 1.0**

### **1. DESCRIPCIÓN**

La aplicación SigViewer 1.0 es desarrollada como proyecto conjunto de la Escuela de Ingeniería Civil y la Empresa de Servicios Públicos de Lebrija (ESPL) para la consulta y administración de la red de acueducto del municipio de Lebrija, Santander. Las ventajas principales del uso de la aplicación son:

- Compatibilidad con AutoCad Map y bases de datos en Access. Los planos y sus respectivos datos de objetos pueden ser exportados desde Autocad sin complicaciones.
- Facilidad en el manejo, ya que fue diseñada especialmente para personas que no tengan conocimientos avanzados.
- Ahorro en adquisición y compra de costosas licencias por parte de la ESPL.
- Está enfocada directamente a las necesidades de la empresa, por lo cual, el diseño de los menús sólo contiene las herramientas necesarias para consulta de los datos pertinentes.

### **2. INSTALACIÓN DEL PRODUCTO**

Para instalar la aplicación es necesario que el sistema contenga el componente Whip de Autodesk, el cual es un software libre para el reconocimiento de archivos

Dwf generados desde AutoCad. Si no está instalado este componente, hay que hacerlo desde el instalador (archivo *Whip4.exe* incluido en el paquete de instalación).

La aplicación SigViewer se puede instalar desde el archivo *Setup.exe* en la carpeta de los instaladores. El proceso de instalación no permite la escogencia del directorio de destino, así que la base de datos y el plano dwf siempre se encontrarán en el directorio *C:\Archivos de programa\SigViewer\* para garantizar el correcto funcionamiento del programa.

### **3. INTERFAZ DEL USUARIO**

#### **3.1. Entorno de la aplicación**

**Ventana Principal:** Al ejecutar la aplicación se puede observar la ventana principal (ver figura A.1.1), desde la cual se puede acceder a todas las opciones del programa, desde ver las tablas de las propiedades, hasta abrir el navegador.

Dentro de la ventana principal se pueden distinguir los menús en la parte superior, desde los cuales se puede acceder a las distintas opciones que ofrece la aplicación.

**Ventana del Navegador:** Es dentro de esta ventana donde se ejecutan las consultas visuales del SIG (ver figura A.1.2), se trata del elemento más importante por la agilidad y comodidad con la que se puede buscar información de un elemento integrante de la red.



**Figura A.1.1.** Ventana principal de la aplicación

En la ventana del navegador se pueden identificar los siguientes elementos:

- (a) *Barra de Menús*: Desde esta se pueden ejecutar los distintos comandos que componen la aplicación (ver sección 3.2).
- (b) *Barra de herramientas*: Contiene los distintos botones de acceso rápido (ver sección 3.3).
- (c) *Barra de coordenadas*: Informa las coordenadas actuales sobre las cuales está posesionado el cursor cuando se encuentra sobre el plano.

- (d) *Barra de estado de consulta*: Indica el estado de la consulta (Accesorios o Tuberías).
- (e) *Grilla de datos*: Muestra los datos correspondientes al elemento que se encuentre seleccionado en el momento.
- (f) *Ventana de exploración del plano*: Sirve para realizar la búsqueda a través del recorrido por el plano.

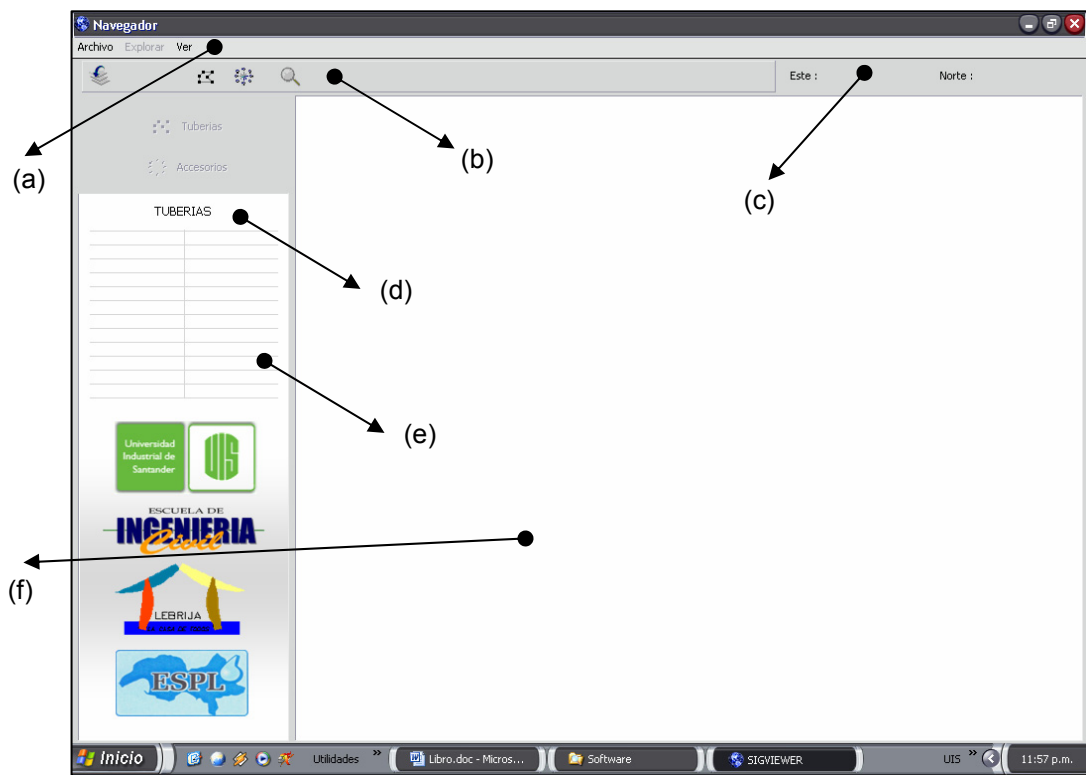
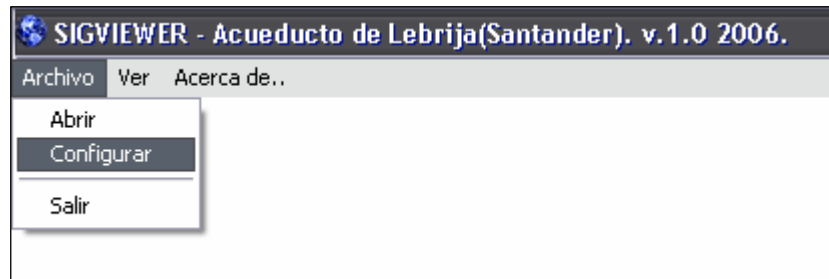


Figura A.1.2. Ventana del navegador

### 3.2. Barras de menús

La barra de menús está organizada de tal forma que permita ordenar los distintos comandos que componen la aplicación.

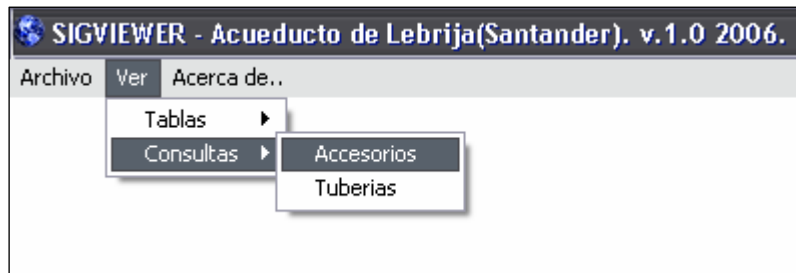
Al abrir el programa aparece la ventana principal, desde la cual se pueden hacer configuraciones, abrir la ventana del explorador, ver las tablas de Accesorios y tuberías y ejecutar las consultas para estos.



**Figura A.1.3.** Menú *Archivo* de la ventana principal

---

- *Archivo* → *Abrir* (ver figura A.1.3): Abre la ventana del explorador, desde la cual se puede cargar, explorar y consultar el plano de la red del acueducto de Lebrija.
- *Archivo* → *Configurar*: Despliega el cuadro de diálogo para la configuración de las coordenadas que se van a generar para las líneas.
- *Ver* → *Tablas*: Abre las tablas de los datos de las tuberías o los accesorios.
- *Ver* → *consultas* (figura A.1.4): Ejecuta el cuadro de diálogo para realizar las consultas para accesorios o tuberías.

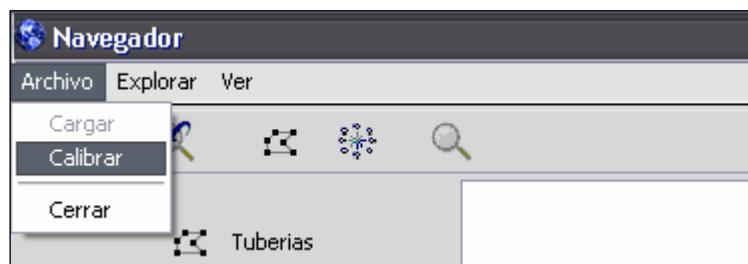


**Figura A.1.4.** Menú *Ver*

---

Dentro de la ventana del explorador se encuentran los comandos siguientes:

- *Archivo* → *Cargar*: Abre el plano de la red de acueducto, el cual se encuentra en formato dwf.
- *Archivo* → *Calibrar*: Despliega el cuadro de diálogo para la calibración del plano dwf. Obviamente, esta opción sólo se encuentra habilitada cuando el plano está cargado.

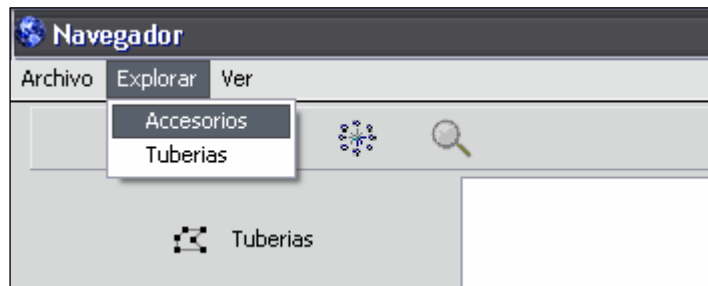


**Figura A.1.5.** Menú *Archivo* del navegador

---

- *Explorar* → *Accesorios/Tuberías*: Sirve para indicar el tipo de consulta en el plano. Cuando se habilita la opción *Accesorios* sólo se pueden consultar estos. Al igual sucede con las consultas de tuberías.

- *Explorar* → *Accesorios/Tuberías*:
- *Ver* → *Tablas*: Abre las tablas de los datos de las tuberías o los accesorios.
- *Ver* → *consultas*: Ejecuta el cuadro de diálogo para realizar las consultas para accesorios o tuberías.



**Figura A.1.6.** Menú *Explorar* del navegador

---

### 3.3. Botones

Los botones son diseñados para darle agilidad a la ejecución de los comandos. En la ventana del explorador se pueden observar los siguientes botones:



**Cargar Plano:** Abre el plano de la red de acueducto, el cual se encuentra en formato dwf.




**Tabla Tuberías:** Abre la tabla que contiene las propiedades de las tuberías.




**Tabla Accesorios:** Abre la tabla que contiene las propiedades de los accesorios.



**Consultas:** Ejecuta el cuadro de diálogo para realizar las consultas para accesorios o tuberías.

 Tuberías

**Tuberías:** Cuando se habilita esta opción solo se pueden consultar las tuberías.

 Accesorios

**Accesorios:** Cuando se habilita esta opción solo se pueden consultar los accesorios.

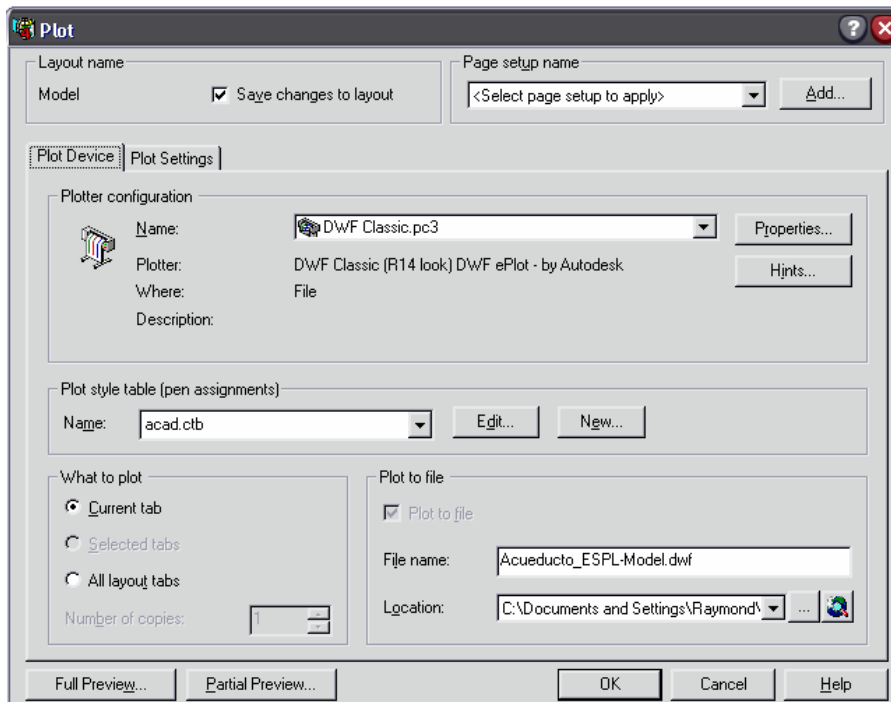
## 4. COMPATIBILIDAD E IMPORTACIONES

Como se ha mencionado con anterioridad, el programa SigViewer trabaja con planos *dwf* de AutoCad, así que la información es de bastante flexibilidad a la hora de requerirse modificaciones. Obviamente, estos cambios en los planos deben estar a cargo de personas de mayor conocimiento que las encargadas de manejar las consultas, ya que es necesario que se manipule el dibujo en el entorno de AutoCad Map para realizar luego la exportación a *dwf*.

### 4.1. Exportación del plano *dwf* desde AutoCad

La generación del plano en formato *dwf* es similar al proceso que se sigue cuando se desea plotear un plano, ya que un plano *dwf* es un ploteo en forma digital.

Para plotear un plano debemos ir a AutoCad y seleccionar el menú *File* → *Plot*. Se abrirá una ventana (ver figura A.1.7), en la cual se escoge la pestaña *Plot device*. En el cuadro *Plotter configuration* se escoge la opción *DWF Classic.pc3* y en el cuadro *Plot style table* se elige la opción *Acad.ctb*. Se puede escoger el directorio



**Figura A.1.7.** Cuadro de diálogo para ploteo del archivo *dwf*

en el cual se desea guardar el archivo y el nombre que se desea colocar a este, para esto hay que ir al cuadro *Plot to file*.

Habiendo hecho los pasos anteriores se procede ahora a seleccionar la pestaña *Plot settings*, en la cual se escoge el papel más grande que se encuentre disponible dentro del cuadro *Paper size and paper units*.

Finalmente, dentro del cuadro *Plot area* se escoge la opción que más convenga para el área de ploteo. Se recomienda utilizar la opción *Extents*.

## 4.2. Exportación de los atributos a la base de datos en Access

Cuando se exportan los datos desde AutoCad Map hacia un Shape se crean tres archivos, dentro de los cuales se encuentra el archivo de atributos (dbf). Un archivo *dbf* contiene la información de cada elemento del plano. Estos son los datos que debemos importar desde Access.

La exportación desde Autocad Map a archivos Shape está referida en la sección 3.3. *Exportación de la información.*

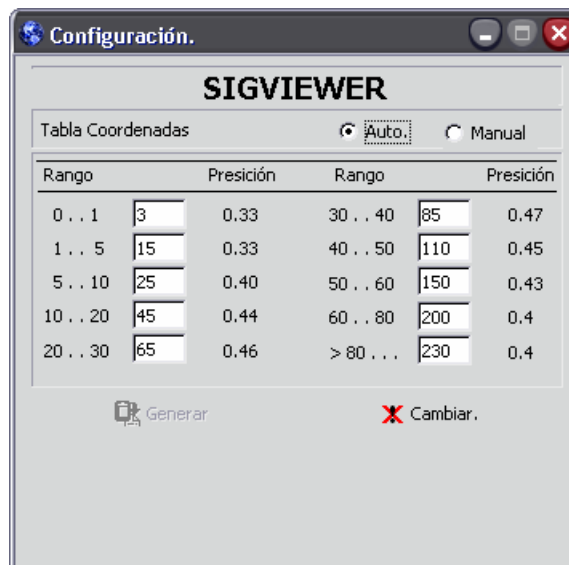
## 5. CONFIGURANDO LA TABLA DE COORDENADAS

Antes de comenzar a utilizar las herramientas de la aplicación, es necesario ingresar a la ventana de configuración (ver figura A.1.8).

En la ventana de configuración se crea la tabla de coordenadas, la cual sirve para relacionar los atributos con los datos espaciales de cada objeto. Se puede escoger la precisión con la que se desea trabajar, es recomendado que se utilicen los valores predeterminados (opción *Auto*).

Con el botón *Generar* se crea la tabla y con el botón *Cambiar* se elimina esta, para generar después una nueva. Es necesario generar nuevamente la tabla de coordenadas solamente cuando los datos que se exportan desde Autocad Map han sufrido cambios.

Los valores del rango están en unidades de metros y la precisión indica el número de partes en las que va a dividir cada línea.



**Figura A.1.8.** Ventana de configuración

---

## 6. VENTANA DEL NAVEGADOR

La ventana del navegador permite observar el plano, desplazarse a través de él, consultar datos de sus elementos y ejecutar muchas otras funciones, las cuales se describen a continuación.

### 6.1. Cargar el plano

Cuando se abre la ventana del navegador, lo primero que hay que hacer es cargar el plano. Esto se hace desde el botón *Cargar* o desde el menú con el mismo nombre. El plano se abre desde el directorio predeterminado *C:\Archivos de programa\SigViewer\Acueducto.dwf*.

## 6.2. Calibrar coordenadas del plano

Habiendo cargado el plano, lo primero que hay que hacer es calibrarlo, ya que cuando se exporta un plano al formato dwf, este sufre un corrimiento con respecto a las coordenadas originales.

Desde la opción *Calibrar coordenadas* se ejecuta el cuadro de diálogo (ver figura A.1.9), en el cual se introducen unas coordenadas cualquiera que sean conocidas, luego se pulsa el botón *Ubicar* y se procede a seleccionar en el plano esas coordenadas. Luego se pulsa el botón *Aceptar*.

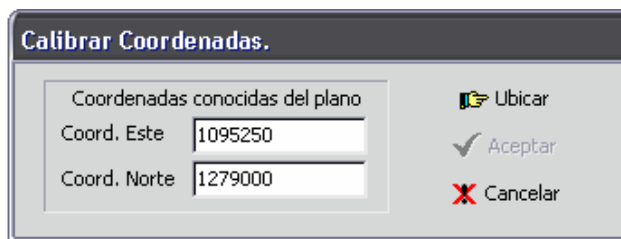


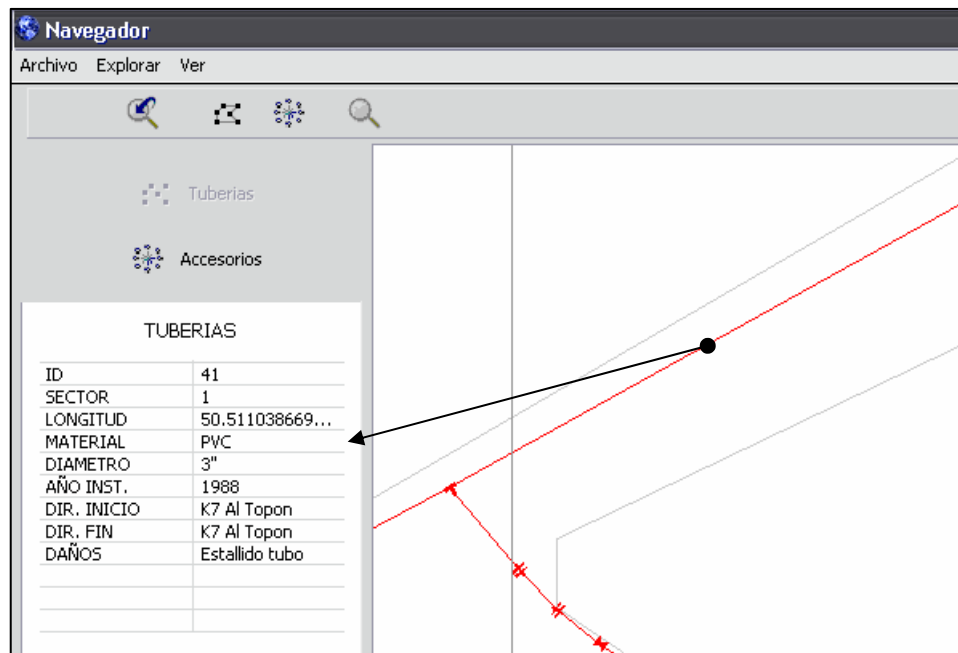
Figura A.1.9. Calibrar Coordenadas

---

## 6.3. Explorando los atributos de los elementos

Para comenzar a mirar las propiedades de cada objeto, basta con escoger entre los botones *Accesorios* o *Tuberías*. Aparecerá de inmediato la opción escogida en la barra de estado de consulta. En este momento, si se selecciona un elemento del plano, se mostrarán sus respectivos atributos en la grilla de datos (ver figura A.1.10).

Al hacer *click* derecho sobre la ventana del plano, se encuentran las opciones para zoom, así como la opción de mostrar y ocultar las capas que se deseen, lo cual puede ser muy útil para ver sólo la información que se necesite en el momento.



**Figura A.1.10.** Explorando los atributos

---

## 7. TABLAS DE ATRIBUTOS

Otra de las opciones que ofrece la aplicación es la posibilidad de ver los atributos tanto de la tabla Tuberías como de la de Accesorios. En la ventana se muestran el número total de registros y mediante los controles se puede realizar el recorrido por la tabla (ver figura A.1.11).

## 8. CONSULTAS

Una de las herramientas más importantes dentro del programa SigViewer es la ventana de consultas (ver figura A.1.12), mediante la cual se pueden realizar búsquedas de una forma rápida y fácil, escogiendo el criterio o la combinación de criterios con los cuales se desea hacer la consulta.

Dentro del cuadro de texto *Consulta* se puede observar el código SQL generado, con el cual se está realizando la búsqueda. En la tabla se muestran los resultados arrojados en la consulta. Además de esto, se muestran la cantidad de registros encontrados para la búsqueda en particular.

ID	SECTOR	X1	Y1	DIAMETRO	MATERIAL	TIPO
1	1	1095121.92136426	1278068.28916034	3X4"	PVC	REDUCCI
2	1	1095438.05345527	1279063.51652165	2"	HF	MEDID
3	1	1095432.34370912	1279063.51652165	3X2"	PVC	REDUCCI
4	1	1095431.33711689	1279063.51652165	3"	PVC	C
5	1	1095431.33711689	1279054.14544508	3"	PVC	C
6	1	1095413.0824196	1279055.35389573	3"	PVC	C
7	1	1095018.66378068	1278724.59334854	2"	HF	VALVULA
8	1	1094965.92550808	1278744.77390334	2"	PVC	TAP
9	1	1094973.98744137	1278781.59917329	2"	PVC	C
10	1	1094975.01746253	1278793.78934097	1"	PVC	TAP

**Figura A.1.11.** Tablas de atributos

Si se desea ver todos los datos existentes, se puede hacer una consulta, seleccionando la opción *general*.

Al seleccionar varios criterios de búsqueda, estos se concatenan con *and*, es decir, si se selecciona *material = PVC* y además se escoge *Diámetro = 3"*, la búsqueda se realizará: *material = PVC and Diámetro = 3"*.

**SIGVIEWER- Consultas de Tuberia**

ID	SECTOR	LENGTH	X1	Y1	X2	Y2	MATERIAL	DIAMETRO	AÑO INST
22	1	3.37168024151149	1095121.60313688	1278786.94597489	1095118.27834262	1278787.5063059	PVC	3"	
35	1	3.78420599929657	1095277.14557978	1278842.69477701	1095280.45335375	1278840.85661315	PVC	3"	
38	1	3.73228543348769	1095253.132526	1278859.01543634	1095256.06326982	1278856.70444193	PVC	3"	
39	1	3.76939262375405	1095253.132526	1278859.01543634	1095250.54430387	1278861.75576971	PVC	3"	
40	1	7.38267069116702	1095250.54430387	1278861.75576971	1095245.79231347	1278867.40576208	PVC	3"	
42	1	8.11987404459878	1095376.90398487	1278924.5615522	1095368.93413325	1278926.11519944	PVC	3"	
61	1	8.89606974612739	1095121.84838578	1277973.18261158	1095121.8427224	1277982.07867952	PVC	3"	
62	1	2.95402961311396	1095121.8427224	1277970.2285874	1095121.84838578	1277973.18261158	PVC	3"	
63	1	2.87456219922751	1095121.8427224	1277967.3540252	1095121.8427224	1277970.2285874	PVC	3"	
64	1	6.39139314671047	1095121.8427224	1277960.96263205	1095121.8427224	1277967.3540252	PVC	3"	
65	1	6.55441929074004	1095115.28830311	1277960.96263205	1095121.8427224	1277960.96263205	PVC	3"	

CONSULTA :  and (año\_instalacion between 1960 and 2005)"/>

Longitud  General

Material

Diametro

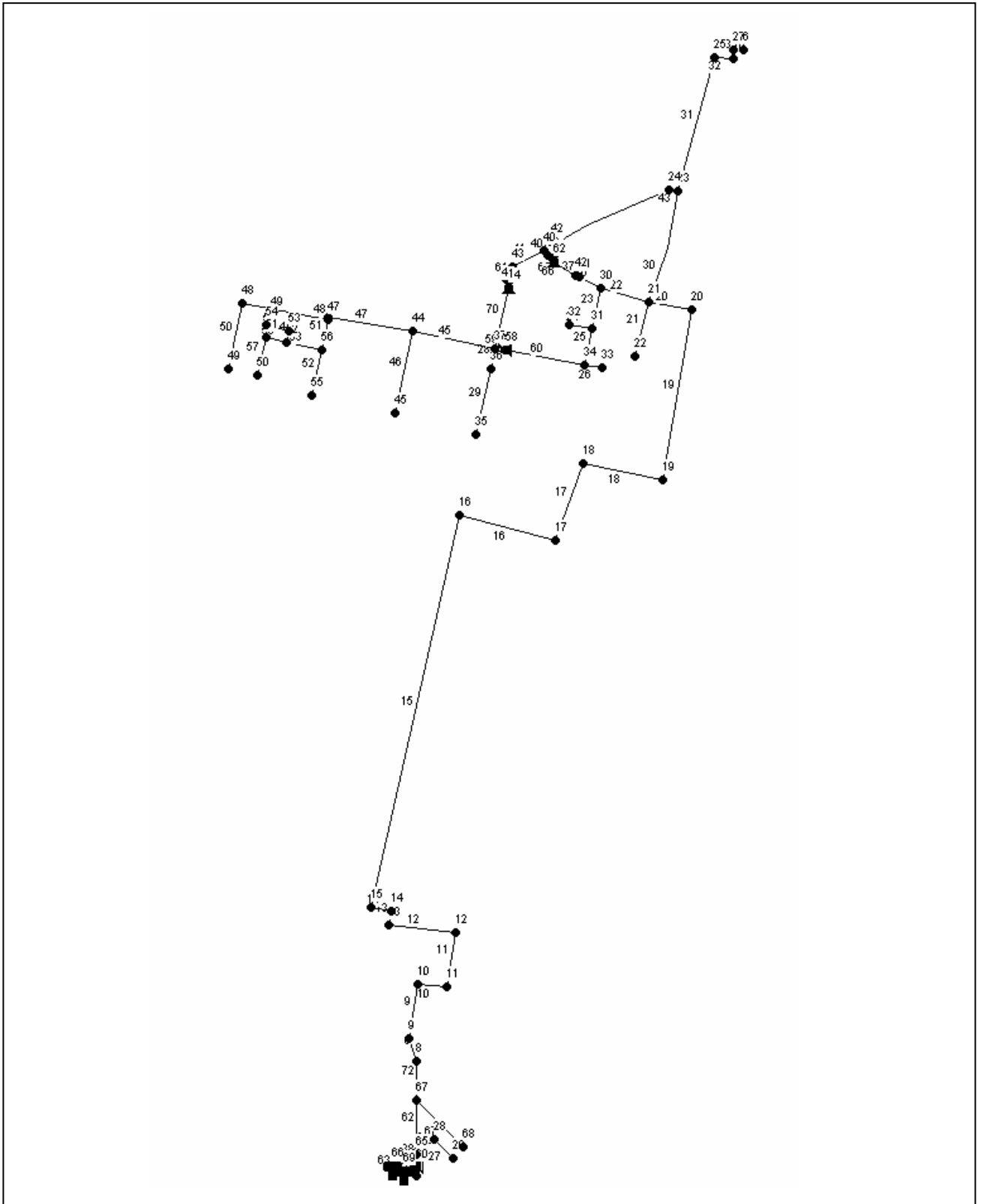
Año de Instalación

REGISTROS ENCONTRADOS : 52

**Figura A.1.12.** Ventana de consultas



### ANEXO 3. ESQUEMA GENERAL EPANET DEL SECTOR 1



#### ANEXO 4. CALCULO DEMANDA BASE PARA LOS NODOS

<i>Tramo tubería</i>	<i>Viviendas servidas</i>	<i>Q(LPS)</i>
1	7	0.126
2	7	0.126
3	9	0.163
4	8	0.144
5	5	0.090
6	3	0.054
7	3	0.054
8	13	0.235
9	5	0.090
10	5	0.090
11	0	0.000
12	2	0.036
13	19	0.343
14	9	0.163
15	16	0.289
16	15	0.271
17	14	0.253
18	7	0.126
19	5	0.090
20	2	0.036
21	4	0.072
22	12	0.217
23	9	0.163
24	4	0.072
25	12	0.217
26	3	0.054
27	6	0.108

Total viviendas=	204	
Hab./vivienda	5	
Población	1020	habitantes
Dotación=	150	lt/hab/día
Qmd=	1.770833333	LPS
K1=	1.3	
QMaxD=	2.302083333	LPS
K2=	1.6	
QMH=	3.683333333	LPS
Q/Vivi.servidas=	0.018055556	

## ANEXO 5. INFORME COMPLETO DE LA RED MODELADA

```

*****
*                                     *
*                               E P A N E T                               *
*                               Análisis Hidráulico y de Calidad          *
*                               para Redes de Distribución de Agua        *
*                               Versión 2.0                               *
*                                     *
* Traducción: Grupo REDHISP,UPV          Financ: Grupo Aguas de Valencia *
*****

```

Fichero Input: Acueducto\_ESPL\_S1.NET

SECTOR\_1\_ESPL

Modelo hidráulico Sector 1. Abastecido desde tanques elevados ubicados en la planta de tratamiento de agua potable del municipio. Empresa de servicios públicos de Lebrija (ESPL)

Tabla de Líneas y Nudos:

ID Línea	Nudo Inicial	Nudo Final	Longitud m	Diámetro mm
2	5	3	24.16	76.2
4	2	3	6.39	76.2
8	8	9	23.96	101.6
9	9	10	53.25	101.6
10	10	11	29.31	101.6
11	11	12	53.38	101.6
12	12	13	65.5	101.6
13	13	14	13.62	101.6
14	14	15	20.42	101.6
15	15	16	393.22	101.6
16	16	17	97	101.6
17	17	18	80.56	101.6
18	18	19	78.98	101.6
19	19	20	168.96	101.6
20	20	21	41.81	101.6
21	21	22	55.15	76.2
22	21	30	49.68	101.6
23	30	31	40.4	50.8
24	31	32	22.9	50.8
25	31	34	35.83	50.8
26	34	33	17.37	50.8
28	37	36	20.51	50.8
29	36	35	66.1	50.8
30	21	23	111.7	76.2
31	23	25	74.54	76.2
32	25	26	18.29	76.2
33	26	27	9.37	76.2
36	30	41	23.79	76.2
37	41	42	3.78	76.2

ID Línea	Nudo Inicial	Nudo Final	Longitud m	Diámetro mm
39	38	39	3.77	76.2
40	39	40	7.39	76.2
41	40	43	33.58	76.2
42	40	24	136.57	76.2
43	24	23	8.12	76.2
45	37	44	78.35	76.2
46	44	45	82.01	50.8
47	44	46	83.91	50.8
48	46	47	2.51	50.8
49	47	48	84.97	50.8
50	48	49	66.09	50.8
51	47	56	30.3	50.8
52	56	55	45.81	50.8
53	56	52	34.85	50.8
54	52	53	11.69	50.8
55	53	54	22.82	50.8
56	52	51	21.02	50.8
57	51	50	37.7	50.8
59	57	37	10.31	76.2
60	34	58	78.6	76.2
65	38	61	3.73	76.2
66	62	42	25.34	76.2
70	64	37	59.86	50.8
5	27	6	10.21	50.8
6	65	28	22.85	25.4
27	28	29	27.37	25.4
67	67	68	64.21	25.4
72	67	8	38.54	76.2
34	69	2	13.09	76.2
1	3	60	2.87	101.6
35	59	7	2.95	101.6
38	7	65	8.9	76.2
61	43	1	22.38	76.2
62	65	67	52.54	76.2
63	66	5	15	76.2
58	57	58	Sin Valor	76.2
Válvula 64	61	62	Sin Valor	76.2
Válvula 3	60	59	Sin Valor	101.6
Válvula 44	1	64	Sin Valor	76.2
Válvula				

Resultados en los Nudos:

ID Nudo	Demanda LPS	Altura m	Presión m	Calidad
2	0.00	1070.15	17.15	0.00
3	0.00	1070.12	17.12	0.00
5	0.00	1070.17	17.17	0.00
7	0.00	1070.11	18.11	0.00
8	0.00	1069.34	35.70	0.00
9	0.00	1069.29	36.67	0.00
10	0.00	1069.19	50.49	0.00
11	0.00	1069.13	59.13	0.00
12	0.00	1069.02	61.45	0.00
13	0.00	1068.90	62.08	0.00
14	0.00	1068.86	62.56	0.00
15	0.00	1068.82	63.14	0.00
16	0.00	1068.10	54.39	0.00
17	0.00	1067.92	48.36	0.00
18	0.00	1067.76	43.20	0.00
19	0.00	1067.61	29.51	0.00
20	0.13	1067.30	9.30	0.00
21	0.13	1067.22	11.36	0.00
22	0.16	1067.22	20.22	0.00
23	0.14	1067.17	16.82	0.00
24	0.00	1067.17	18.14	0.00
25	0.00	916.69	-138.31	0.00
26	0.00	916.69	-140.31	0.00
27	0.00	916.69	-140.31	0.00
30	0.09	1067.18	16.11	0.00
31	0.05	1066.87	23.98	0.00
32	0.23	1066.86	24.60	0.00
33	0.04	1066.72	31.80	0.00
34	0.09	1066.72	32.30	0.00
35	0.29	1066.33	42.63	0.00
36	0.00	1066.37	36.20	0.00
37	0.51	1066.39	32.19	0.00
38	0.00	1067.13	32.22	0.00
39	0.00	1067.13	32.69	0.00
40	0.14	1067.12	35.27	0.00
41	0.00	1067.16	18.21	0.00
42	0.00	1067.16	19.43	0.00
43	0.00	1067.07	35.51	0.00
44	0.27	1066.27	37.54	0.00
45	0.25	1066.23	48.17	0.00
46	0.13	1065.95	34.95	0.00
47	0.00	1065.93	34.93	0.00
48	0.00	1065.93	43.73	0.00
49	0.07	1065.93	42.62	0.00
50	0.22	1065.79	41.41	0.00
51	0.00	1065.81	34.81	0.00

ID Nudo	Demanda LPS	Altura m	Presión m	Calidad
52	0.04	1065.82	34.82	0.00
53	0.00	1065.82	35.00	0.00
54	0.07	1065.82	34.82	0.00
55	0.16	1065.85	31.43	0.00
56	0.09	1065.86	34.86	0.00
57	0.00	1066.68	31.86	0.00
58	0.00	1066.68	31.86	0.00
59	0.00	1070.12	17.12	0.00
60	0.00	1070.12	17.12	0.00
61	0.00	1067.14	30.14	0.00
62	0.00	1067.14	30.14	0.00
64	0.00	1067.03	34.39	0.00
6	0.00	916.69	-143.31	0.00
28	0.05	1069.88	33.11	0.00
29	0.11	1069.79	27.99	0.00
65	0.00	1070.03	20.91	0.00
67	0.00	1069.61	28.22	0.00
68	0.22	1068.89	30.48	0.00
1	0.00	1067.03	34.39	0.00
66	-1.52	1070.20	2.20	0.00 Depósito
69	-2.16	1070.20	2.20	0.00 Depósito

Resultados en las Líneas:

ID Línea	Caudal LPS	Velocidad m/s	Pérdida Unit. m/km	Estado
2	1.52	0.33	2.02	Abierta
4	2.16	0.47	3.37	Abierta
8	3.29	0.41	1.95	Abierta
9	3.29	0.41	1.95	Abierta
10	3.29	0.41	2.07	Abierta
11	3.29	0.41	1.95	Abierta
12	3.29	0.41	1.92	Abierta
13	3.29	0.41	2.36	Abierta
14	3.29	0.41	2.18	Abierta
15	3.29	0.41	1.83	Abierta
16	3.29	0.41	1.89	Abierta
17	3.29	0.41	1.90	Abierta
18	3.29	0.41	1.90	Abierta
19	3.29	0.41	1.85	Abierta
20	3.17	0.39	1.86	Abierta
21	0.16	0.04	0.03	Abierta
22	2.17	0.27	0.87	Abierta
23	1.11	0.55	7.57	Abierta
24	0.23	0.12	0.52	Abierta

ID Línea	Caudal LPS	Velocidad m/s	Pérdida Unit. m/km	Estado	
25	0.83	0.41	4.29	Abierta	
26	0.04	0.02	0.03	Abierta	
28	0.29	0.14	0.70	Abierta	
29	0.29	0.14	0.70	Abierta	
30	0.71	0.15	0.48	Abierta	
31	0.00	0.00	0.00	Cerrada	
32	0.00	0.00	0.00	Abierta	
33	0.00	0.00	0.00	Abierta	
36	0.97	0.21	0.84	Abierta	
37	0.97	0.21	0.83	Abierta	
39	0.97	0.21	0.85	Abierta	
40	0.97	0.21	0.83	Abierta	
41	1.39	0.31	1.69	Abierta	
42	-0.56	0.12	0.32	Abierta	
43	-0.56	0.12	0.32	Abierta	
45	1.30	0.28	1.43	Abierta	
46	0.25	0.12	0.56	Abierta	
47	0.77	0.38	3.92	Abierta	
48	0.65	0.32	4.68	Abierta	
49	0.07	0.04	0.05	Abierta	
50	0.07	0.04	0.05	Abierta	
51	0.58	0.28	2.29	Abierta	
52	0.16	0.08	0.26	Abierta	
53	0.32	0.16	1.18	Abierta	
54	0.07	0.03	0.10	Abierta	
55	0.07	0.03	0.07	Abierta	
56	0.22	0.11	0.43	Abierta	
57	0.22	0.11	0.57	Abierta	
59	0.70	0.15	28.77	Abierta	
60	0.70	0.15	0.48	Abierta	
65	-0.97	0.21	0.82	Abierta	
66	-0.97	0.21	0.84	Abierta	
70	1.39	0.69	10.79	Abierta	
5	0.00	0.00	0.00	Abierta	
6	0.16	0.32	6.79	Abierta	
27	0.11	0.21	3.40	Abierta	
67	0.22	0.43	11.24	Abierta	
72	3.29	0.72	7.15	Abierta	
34	2.16	0.47	4.16	Abierta	
1	3.67	0.45	2.20	Abierta	
35	3.67	0.45	2.19	Abierta	
38	3.67	0.81	8.68	Abierta	
61	1.39	0.31	1.56	Abierta	
62	3.51	0.77	8.01	Abierta	
63	1.52	0.33	1.81	Abierta	
58	-0.70	0.15	0.00	Abierta	Válvula
64	-0.97	0.21	0.00	Abierta	Válvula
3	3.67	0.45	0.00	Abierta	Válvula
44	1.39	0.31	0.00	Abierta	Válvula

## ANEXO 6. GRAFICAS DE RESULTADOS

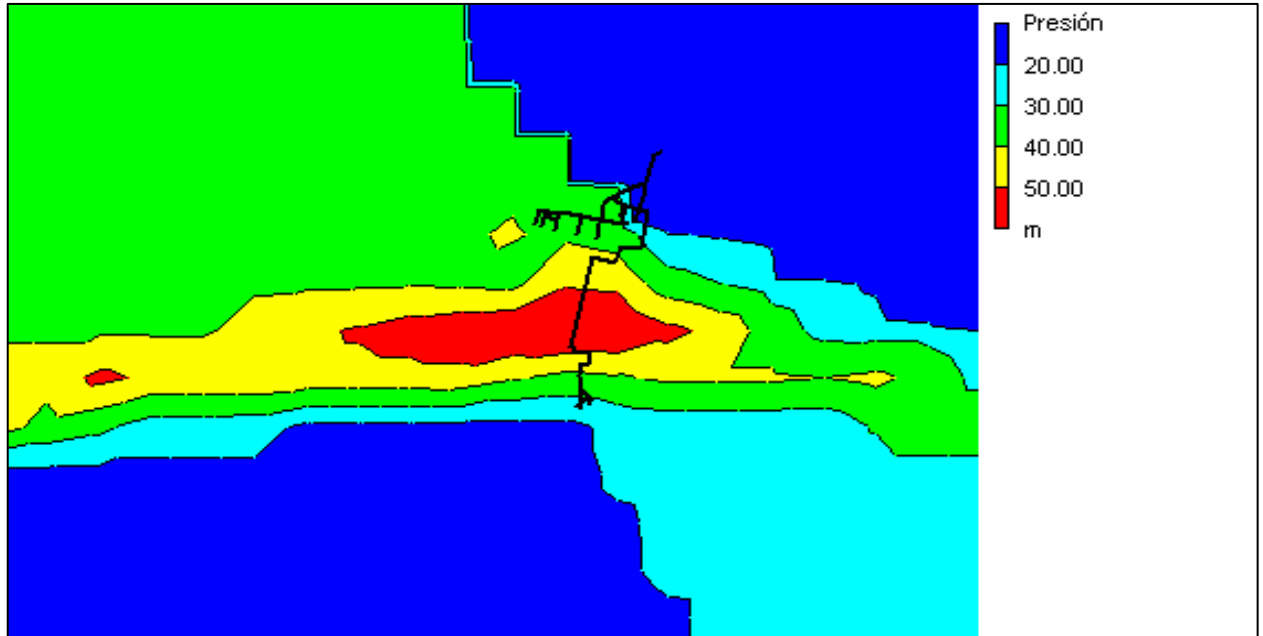


Figura A.6.1. Mapa de isótopas de presión

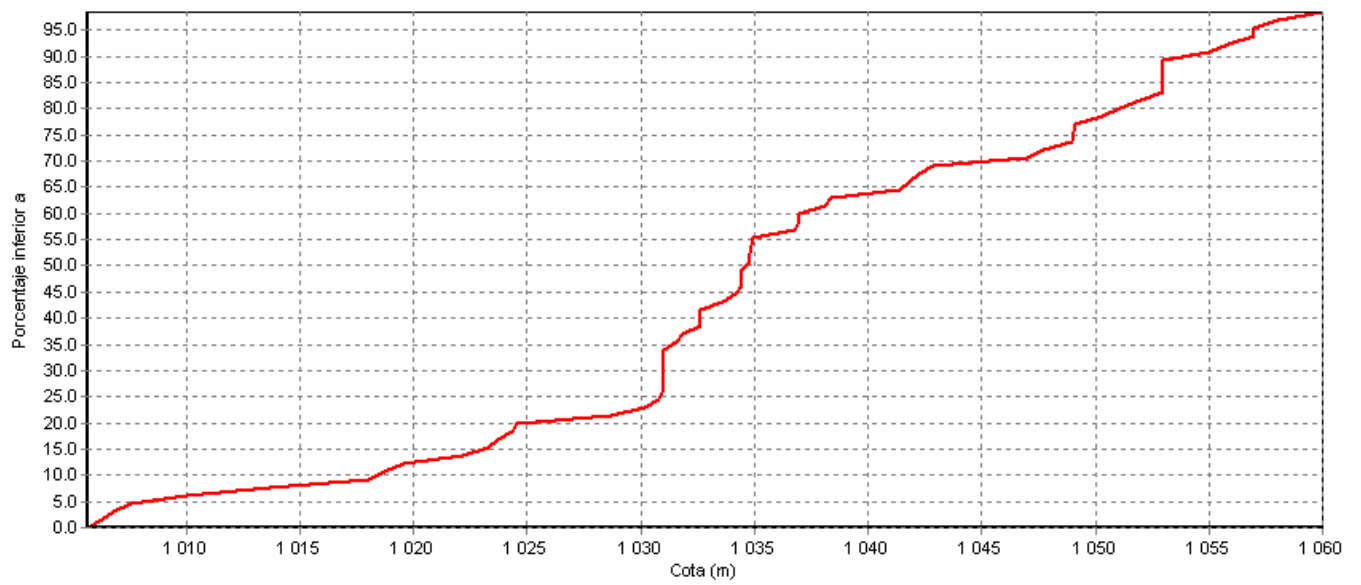
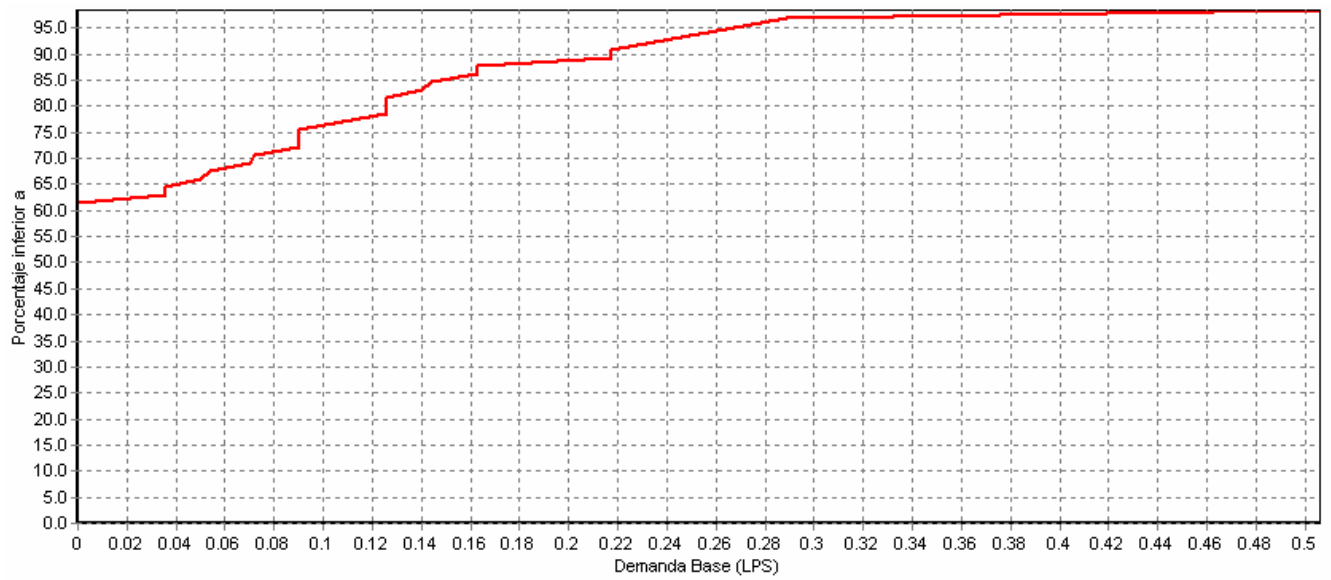
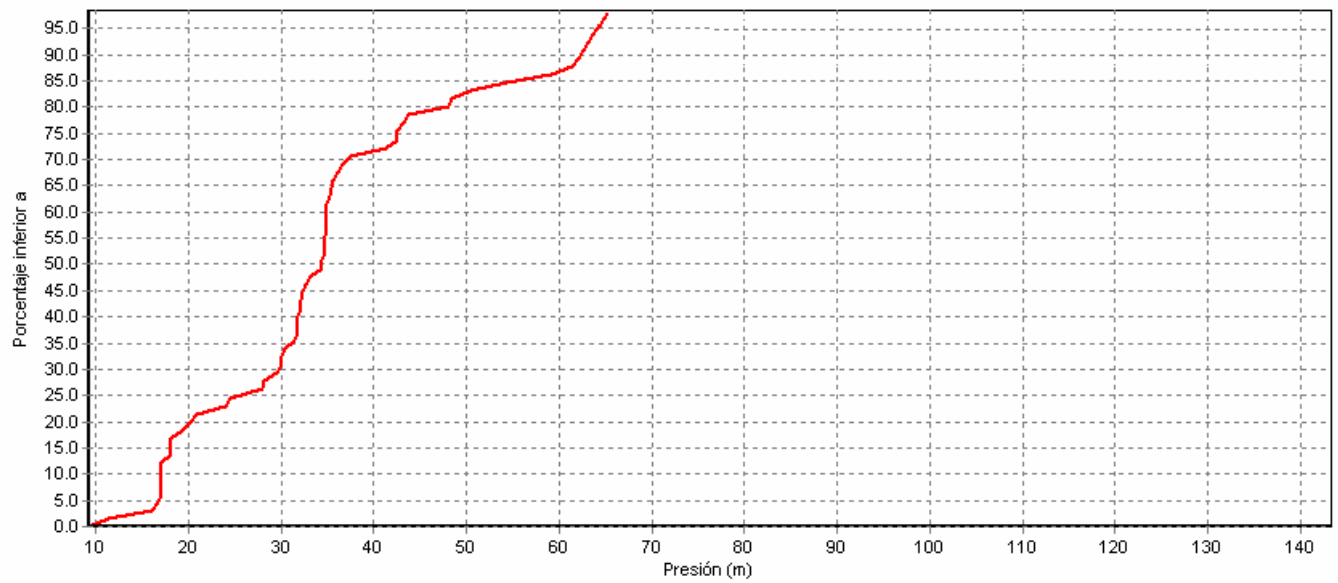


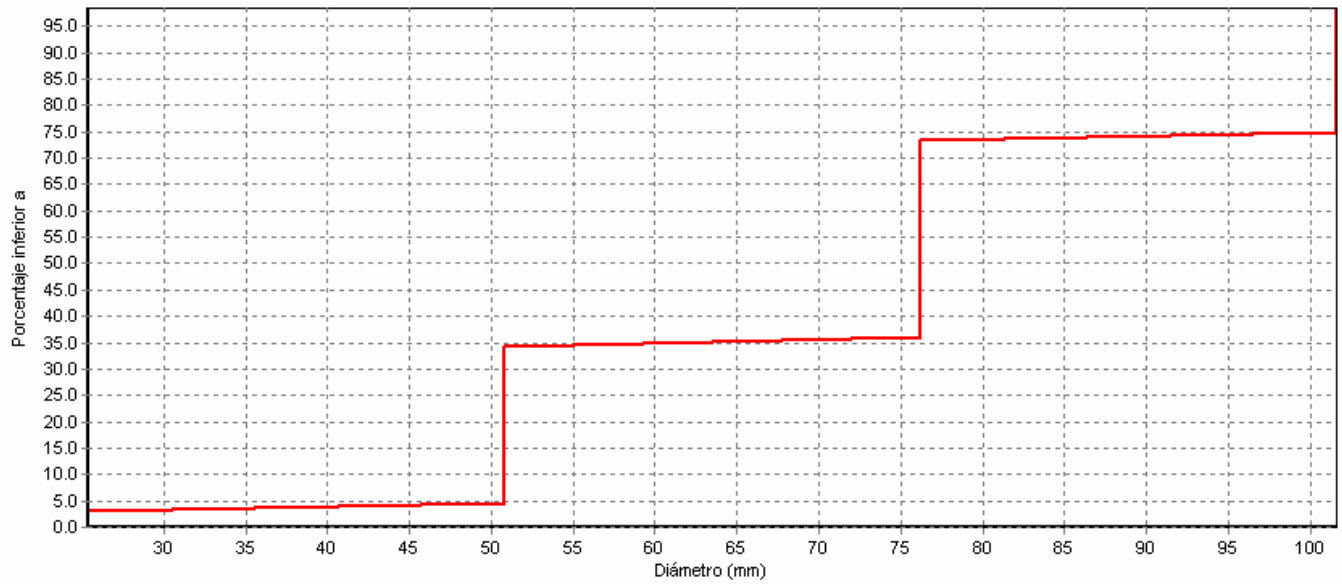
Figura A.6.2. Distribución de cotas



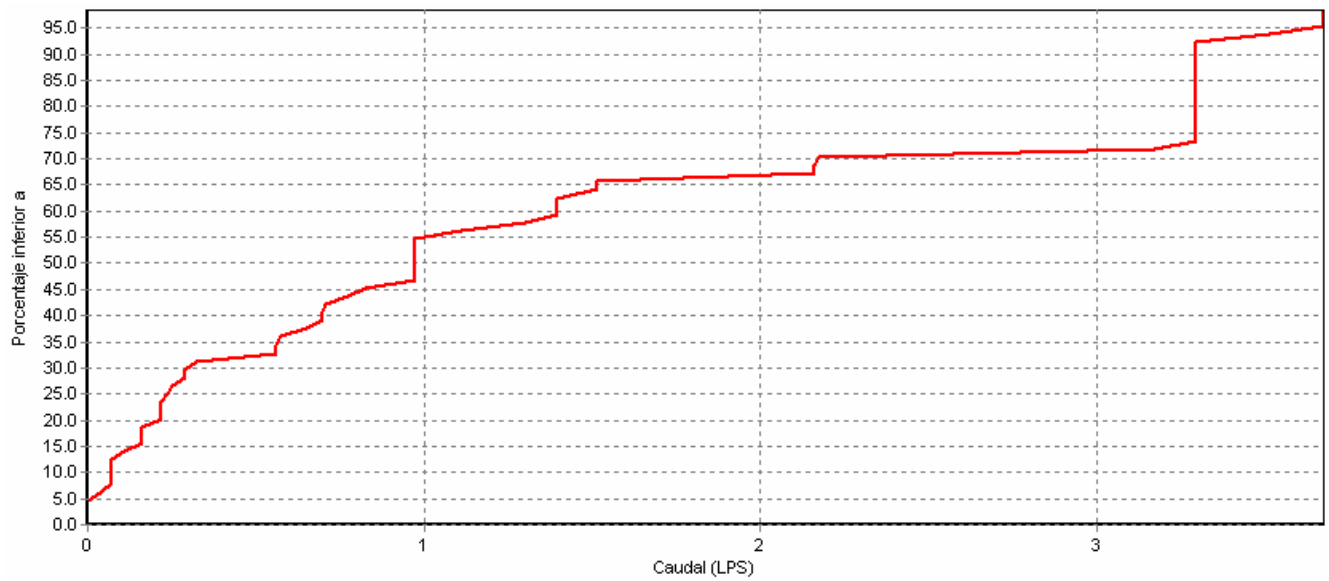
**Figura A.6.3.** Distribución de demandas base



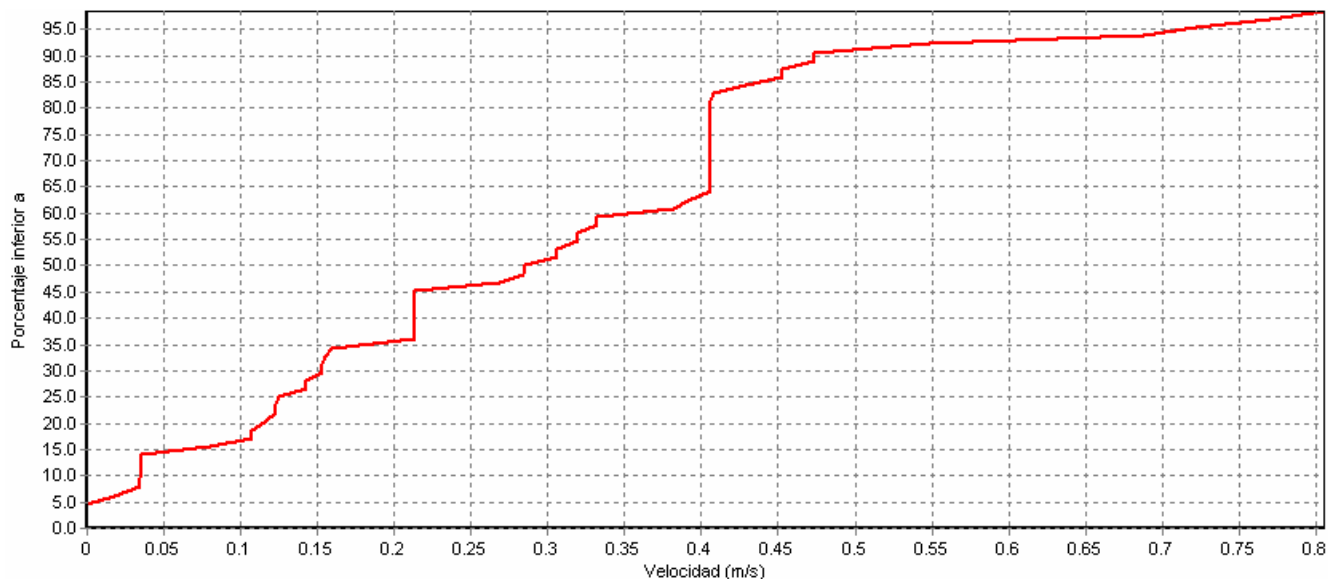
**Figura A.6.4.** Distribución de presiones



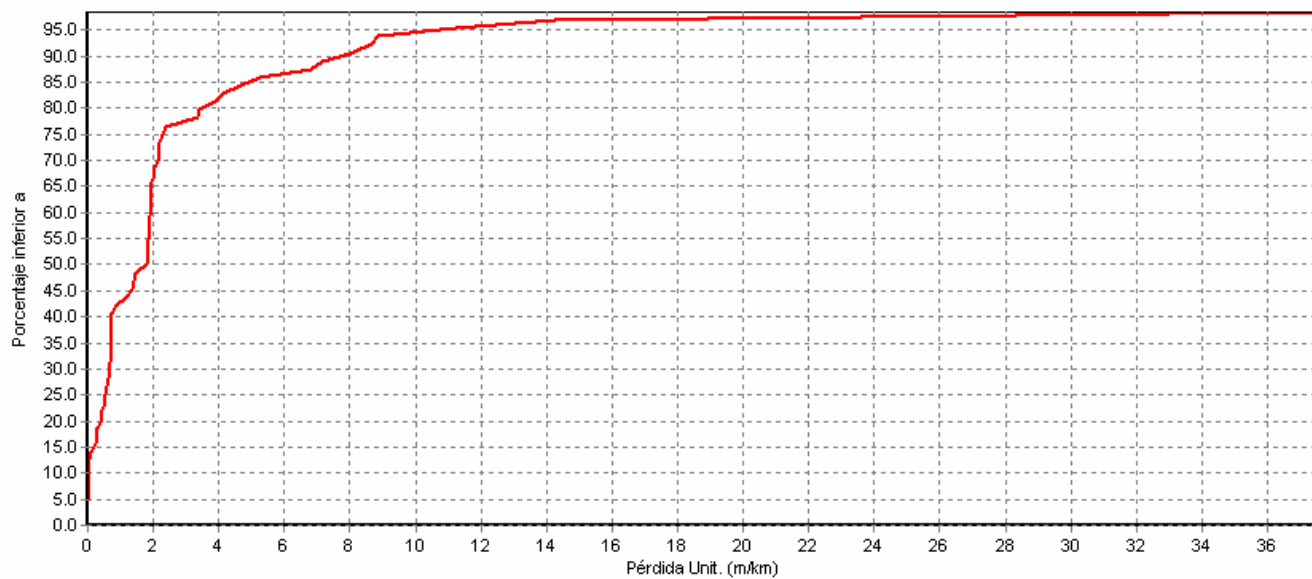
**Figura A.6.5.** Distribución de diámetros



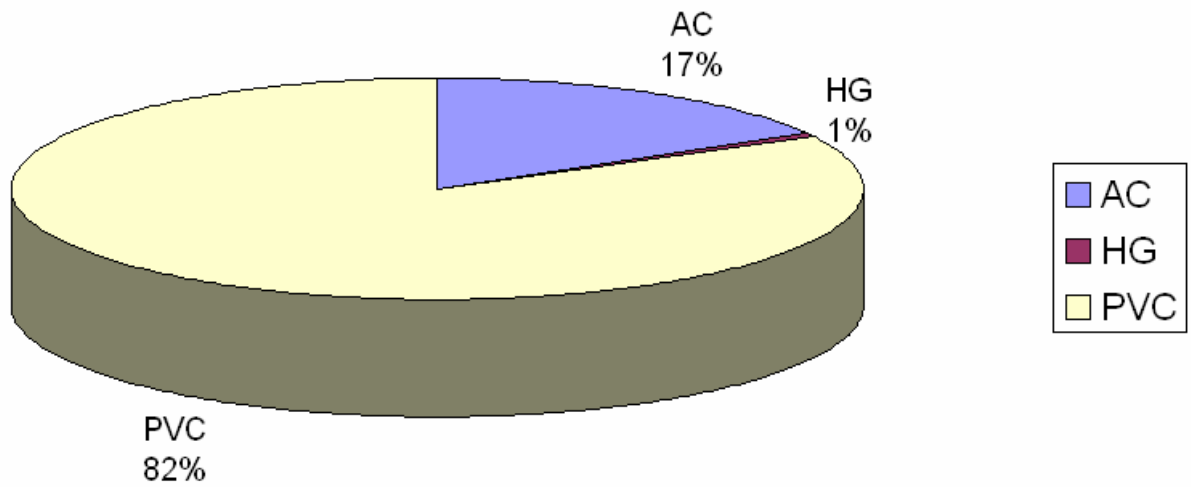
**Figura A.6.6.** Distribución de caudales



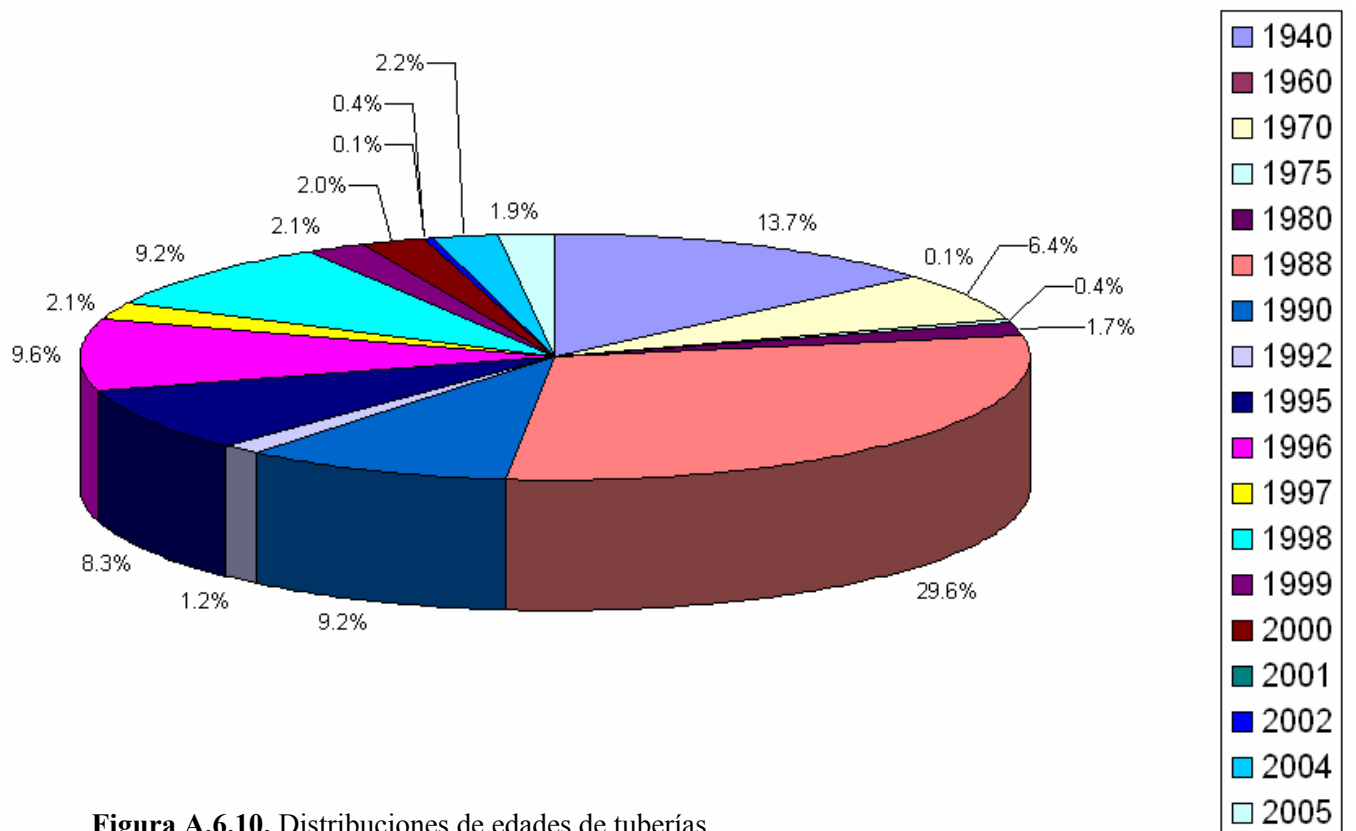
**Figura A.6.7.** Distribución de velocidades



**Figura A.6.8.** Distribución de pérdidas unitarias



**Figura A.6.9.** Distribuciones de materiales de tuberías



**Figura A.6.10.** Distribuciones de edades de tuberías

## ANEXO 7. MODELOS CONCEPTUAL Y LÓGICO

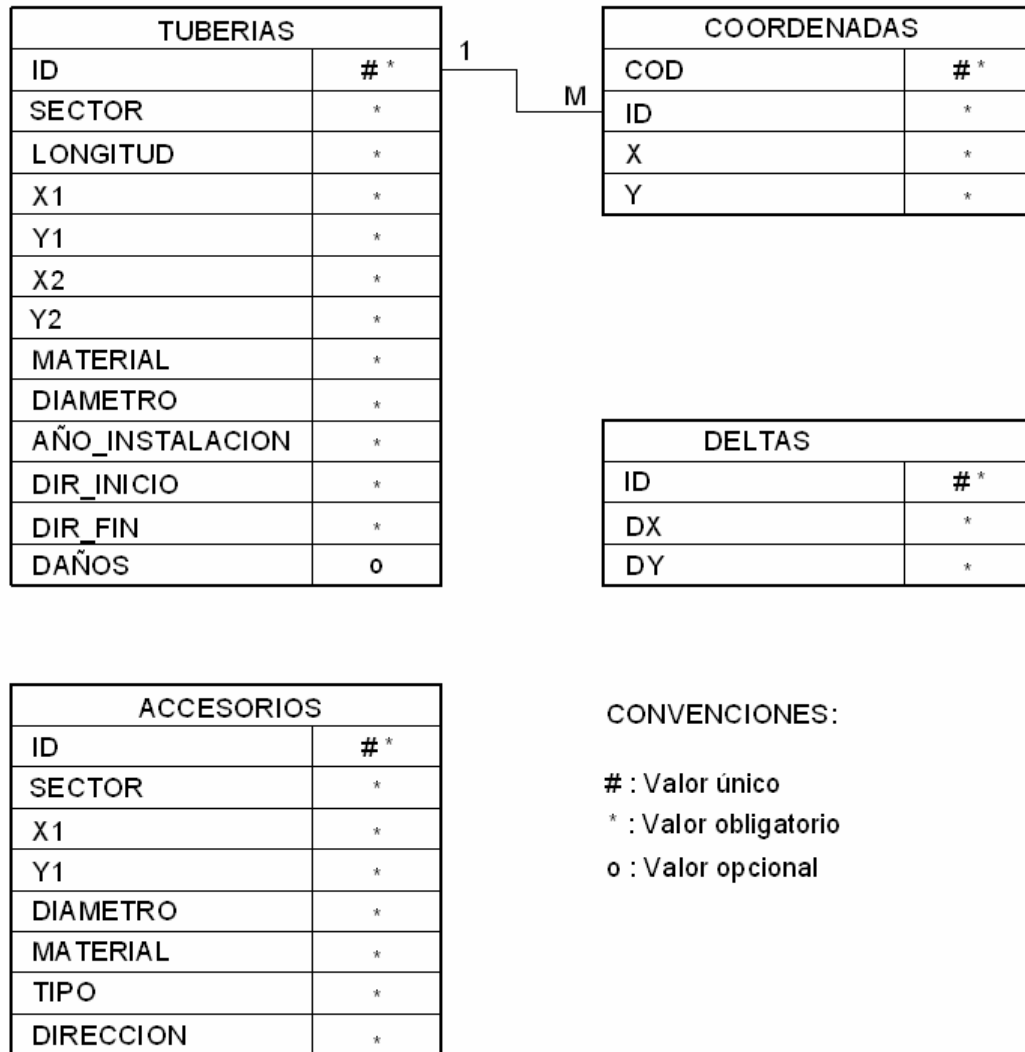


Figura A.7.1. Modelo conceptual

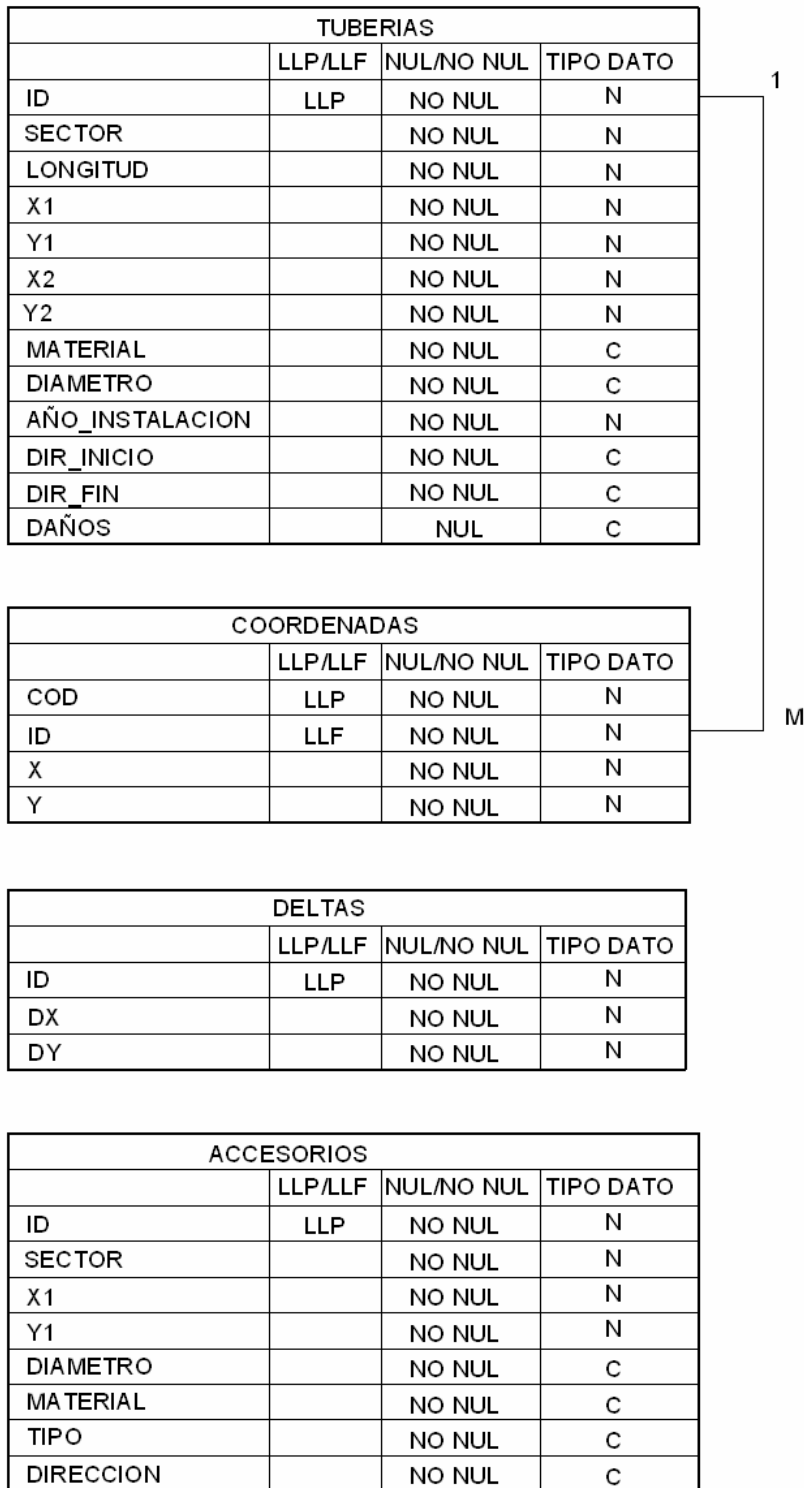


Figura A.7.2. Modelo lógico y diccionario de datos

## ANEXO 8. REGISTRO FOTOGRÁFICO



**Foto A.8.1.** Etapa de toma de datos, con la colaboración del personal de la Empresa de Servicios Públicos de Lebrija.



**Foto A.8.2.** Recolección de la información sobre localización de válvulas mediante mediciones con cinta, referenciándose a lugares de ubicación conocida.



**Foto A.8.3.** Detalle de medidor localizado en el tanque que se encuentra en la vía que conduce al Topón (ver aplicación SigViewer)



**Foto A.8.4.** Tanques elevados ubicados en la planta de tratamiento de agua potable. Al fondo se puede observar un tercer tanque en construcción



**Foto A.8.5.** Tanques bajos que reciben el agua de la planta de tratamiento, usados para proveer a los sectores 2 y 3 (ver aplicación SigViewer).



**Foto A.8.6.** Visita a planta para verificar ubicación y dimensiones de los tanques elevados y bajos.



**Foto A.8.7.** Detalle de accesorios.



**Foto A.8.8.** Reparación por rotura de tubería



**Foto A.8.9.** Vista general del Casco Urbano de Lebrija.



**Foto A.8.10.** Ubicación de la Empresa de Servicios Públicos de Lebrija (puerta blanca), junto a la alcaldía municipal.