

**MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN  
"OSCAR LUCERO MOYA"**

**FACULTAD DE INFORMÁTICA-MATEMÁTICA**



**Definición espacial de redes hidráulicas de abasto en la  
actividad de proyecto de la EIPH Holguín "Raudal":  
Módulo de un Sistema CAD distribuido**

**Trabajo de Diploma en opción al Título de Ingeniero Informático**

**Autora:** Yisel Arelis de la Cruz Menéndez

**Tutores:** Dr.C Ing. Jesús Rafael Hechavarría Hernández

Ing. Ángel A. Zaldívar Pino

Ing. Oscar Reyes Pupo

**Consultante:** Ing. Edwin Estévez Parra

Holguín

2010

## **Dedicatoria**

*A mi madre, por ser mi amiga, mi hermana, mi profesora, mi todo. Tu ternura, amor y perseverancia me han guiado hasta aquí.*

*A Marco, mi apoyo incondicional, mi alma gemela, mi amor, por estar siempre a mi lado, y darme fuerzas cuando más las necesitaba.*

*A mis abuelos por su infinito amor, comprensión y sabiduría.*

*A Hugo, por ser como un padre para mí.*

*A mis amigos de muchos años que tanta alegría han traído a mi vida, Irina, Reinerio y Chadé.*

*A mi padre, que aunque estés lejos, sé que te sientes orgulloso de mí.*

## **Agradecimientos**

*A mis tutores, por haber confiado en mí, cada uno de ustedes me ha transmitido no sólo sus conocimientos, sino sus cualidades humanas, Ángel, su paciencia, Oscar, su sabiduría, Jesús, su intransigencia, y Edwin, su perseverancia. Esta tesis es suya también.*

*A mi familia por todo su apoyo y comprensión.*

*A mis amigas, por los momentos buenos y malos compartidos, Carmen, Lisset, Miday y Marlen.*

*A mis compañeros de estos 5 años maravillosos, que juntos hemos transitado por este camino que llega a su fin.*

*A todos los profesores por sus enseñanzas y sabios consejos, Sergio, Reynold, María del Carmen, Richard y Jenny.*

*A todos aquellos que no alcanzaré nombrar y que de una forma u otra, con palabras de aliento, críticas oportunas, o sólo con saber que podía contar con ellos, han hecho posible esta tesis.*

## **Resumen**

La Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos de Holguín “Raudal”, lleva a cabo proyectos de diseño de redes hidráulicas, los cuales integran diversas etapas, entre ellas y una de las principales, se encuentra la definición espacial de redes hidráulicas.

La presente investigación pretende resolver las dificultades que actualmente existen en la definición espacial de redes hidráulicas en la actividad de proyecto, mediante el diseño e implementación de un producto informático (Módulo para la definición espacial de redes hidráulicas) que se caracterice por la disponibilidad de datos, la eficiencia y una interfaz amigable.

En este documento se presenta un resumen del estudio bibliográfico realizado, así como todo el proceso ingenieril, a través de la metodología de desarrollo ICONIX, que permitió obtener un producto sostenible y que satisface las necesidades que lo originaron.

## **Abstract**

The Company of Investigations and Hydraulic Projects from Holguín “Raudal”, carries out projects of design of hydraulic nets, which integrate diverse stages, among them and one of the main ones, it is the spatial definition of hydraulic nets.

The present research pretends to solve the difficulties that exist at the moment in the spatial definition of hydraulic nets in the project activity, by means of the design and implementation of a computer product (Module for the spatial definition of hydraulic nets) that is characterized by the readiness of data, the efficiency and a friendly interface.

A summary of the bibliographical study carried out is presented in this document, as well as the whole engineering process, through the development methodology ICONIX that allowed obtaining a sustainable product and that it satisfies the necessities that originated it.

# Índice

<b>Introducción</b> .....	1
<b>Capítulo 1. Fundamentación Teórica</b> .....	8
1.1 Objeto de estudio.....	8
1.1.1 Modelación matemática de redes hidráulicas. ....	9
1.1.2 Proceso de representación espacial de redes hidráulicas .....	10
1.1.3 Estudio de softwares de análisis de redes .....	11
1.2 Desarrollo del QFD en la concepción del Módulo para la definición espacial de redes hidráulicas. ....	15
1.3 Descripción de las tendencias y tecnologías para la construcción de la solución propuesta. ....	17
1.3.1 Arquitectura Cliente Servidor .....	17
1.3.1.1 Tecnología Web .....	20
1.3.2 Lenguaje de programación Java .....	20
1.3.3 Applets .....	23
1.3.4 Framework Spring.....	24
1.3.5 Aplicaciones gráficas en Java.....	25
1.3.5.1 OpenGL.....	28
1.3.5.2 Tecnologías disponibles para la representación 3D en la web	28
1.3.5.3 Framework JCAD .....	31
1.3.6 Sistema Gestor de Base de Datos (SGBD) .....	33
1.3.7 Fundamentación de la metodología de desarrollo utilizada .....	34

1.3.7.1	ICONIX .....	35
1.4	Conclusiones .....	38
<b>Capítulo 2. Descripción y Construcción de la solución propuesta .....</b>		<b>39</b>
2.1	Modelo del Dominio .....	39
2.2	Análisis y Diseño Preliminar .....	45
2.2.1	Modelo de casos de uso del sistema .....	45
2.2.2	Descripción textual de casos de uso .....	47
2.2.3	Análisis de Robustez.....	49
2.3	Arquitectura Técnica.....	51
2.3.1	Requerimientos No Funcionales .....	51
2.3.2	Modelo de despliegue .....	54
2.4	Diseño Detallado .....	55
2.4.1	Diagrama de Secuencia.....	55
2.4.2	Diagrama de clases .....	56
2.4.3	Modelo de datos.....	57
2.5	Implementación .....	57
2.5.1	Estándar de codificación .....	57
2.5.2	Prueba .....	59
2.6	Conclusiones .....	61
<b>Capítulo 3. Valoración de sostenibilidad y evaluación de la solución propuesta .....</b>		<b>62</b>
3.1	Valoración de sostenibilidad .....	62

3.1.1	Dimensión Administrativa.....	62
3.1.2	Dimensión Socio-Humanista.....	66
3.1.3	Dimensión Ambiental.....	67
3.1.4	Dimensión Tecnológica.....	68
3.2	Valoración de los resultados obtenidos en la encuesta a los posibles usuarios del módulo.....	68
3.3	Conclusiones.....	70
	<b>Conclusiones generales.....</b>	<b>71</b>
	<b>Recomendaciones.....</b>	<b>72</b>
	<b>Bibliografía y referencias bibliográficas.....</b>	<b>73</b>
	<b>Anexos.....</b>	<b>I</b>

## Índice de Tablas

Tabla 1.1 Comparación entre tecnologías que permiten a los navegadores mostrar contenido 3D.....	31
Tabla 2.1 Definición de conceptos del Modelo del Dominio.....	43
Tabla 2.2 Descripción de casos de uso. ....	49
Tabla 2.3 Normas para componentes visuales.....	59
Tabla 3.1 Puntos de función desajustados. ....	63
Tabla 3.2 Cantidad de Instrucciones Fuentes.....	64
Tabla 3.3 Factores de escala, multiplicadores de esfuerzo y valores calibrados.....	64
Tabla 3.4 Cálculo de esfuerzo .....	65
Tabla 3.5 Cálculo de tiempo de desarrollo.....	65
Tabla 3.6 Cálculo de la cantidad de hombres necesarios. ....	65
Tabla 3.7 Cálculo de costo de desarrollo.....	66

## Índice de Figuras

Figura 1.1 Ciclo de la actividad de proyecto de redes hidráulicas en la “EIPH Holguín Raudal” .....	8
Figura 1.2 Resultados de la Evaluación Competitiva.....	16
Figura. 1.3 Arquitectura Cliente/Servidor.....	18
Figura 2.1 Modelo del Dominio .....	44
Figura. 2.2 Diagrama de casos de uso del paquete Entidades Gráficas. ....	46
Figura. 2.3 Diagrama de casos de uso del paquete Cargar.....	47
Figura.2.5 Diagrama de despliegue .....	54
Figura.2.6 Diagrama de secuencia del caso de uso Insertar Tubería.....	56

## Introducción

Desde los inicios de la humanidad el hombre se ha visto en la constante necesidad de crear y aprovechar todos los recursos a su disposición para resolver problemáticas disímiles a las que ha tenido que enfrentarse , logrando de esta forma obtener todas las maravillas con las que cuenta el mundo actual.

Este es el caso del acueducto, sistema o conjunto de sistemas acoplados, que permite transportar agua en forma de flujo continuo desde un lugar en el que esta es accesible en la naturaleza, hasta un punto de consumo distante. (Pérez et al., 2005)

La idea de construir un acueducto surge ante la necesidad de proveer de agua a sitios o poblaciones que no disponen en abundancia de ella, o en caso de disponer, que su calidad sea deficiente.

El hecho de transportar un recurso tan vital para el desarrollo humano como el agua, donde juegan un papel fundamental una cantidad considerable de personas, importantes recursos de la ingeniería y económicos, hace que el diseño correcto de un trabajo de este tipo sea primordial, sobre todo teniendo en cuenta la trascendencia social de la obra en consideración.

Considerando estos aspectos se han construido en todo el mundo innumerables acueductos, desde los erigidos por los romanos (algunos de ellos todavía están en funcionamiento, y proporcionan agua a las fuentes de Roma) hasta los más modernos edificados bajo tierra, como extensas redes de conductos de hierro, acero o cemento.

En lo que se refiere a Cuba también hubo obras de este tipo desde la época colonial, sin embargo la situación de los acueductos y alcantarillados llegó a ser alarmante en un momento determinado de su historia.

En 1950 se estimaba que 136 de las 221 poblaciones de más de 1 000 habitantes existentes en el país, carecían de acueducto y 205 no contaban con alcantarillado ni drenaje. (CubAgua, 2003)

La situación encontrada en 1959 fue la siguiente: de los 300 asentamientos con más de 1 000 habitantes existentes en el país, sólo 114 contaban con suministro de agua por acueducto y 12 con alcantarillado.

Luego del triunfo revolucionario como hecho lógico del impulso y reorganización de la actividad hidráulica en Cuba y con el fin de perfeccionar, potenciar y jerarquizar la rectoría de los recursos hidráulicos, en 1989, a través del Decreto-Ley No. 114 del 6 de junio, se creó un nuevo Organismo de la Administración Central del Estado. Este organismo toma el mismo nombre que el fundado el 10 de agosto de 1962: Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), encargado de dirigir, ejecutar y controlar la aplicación de la política del Estado y el Gobierno, relativa a la actividad de los recursos hidráulicos.

En la provincia de Holguín radica desde el 1990 la Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos (EIPH) “Raudal” (en lo adelante, EIPH “Raudal”) la cual es una entidad cuyos antecedentes se remontan a principios de la década de los años 60 constituyendo una organización líder con tradición y prestigio en el desarrollo hidráulico del país, con participación activa en la ejecución del mismo en las cinco provincias orientales.

Está caracterizada por la ejecución de Investigaciones Aplicadas, Proyectos, Servicios Técnicos y Asesorías, destinadas a la construcción y explotación de las obras hidráulicas que se llevan a cabo en el territorio oriental para satisfacer el abastecimiento de agua, el drenaje y el tratamiento de residuales de la población, la industria, el turismo y la agricultura.

La realización de proyectos de redes hidráulicas en la EIPH Holguín “Raudal”, integra un conjunto de tareas como son la topografía, geología, planificación del abasto, definición espacial de la red, análisis hidráulico, generación de planos técnicos, entre otras. Una de las más importantes y que juega un papel fundamental, es la definición espacial de redes hidráulicas, pues constituye la base para el desarrollo de muchas de las tareas antes mencionadas.

Para llevar a cabo esta actividad, la empresa, se apoya en el uso de aplicaciones informáticas que automatizan algunas de las etapas de la actividad de diseño de redes hidráulicas.

Entre los softwares de análisis de redes más reconocidos internacionalmente se encuentran el PICCOLO, MikeNET, EpaNET 2.0, WaterGEMS y el WaterCAD. De estos los más utilizados en Cuba son el WaterCAD y el EpaNET.

Según estudios realizados sobre la actividad de proyectos de redes hidráulicas de abasto (Hechavarría, 2008 ; Portilla, 2009), de los programas computacionales utilizados y el análisis concurrente de la actividad de diseño que desarrollan los diferentes departamentos en la empresa, estos sistemas no están de acuerdo con los requerimientos establecidos y no cumplen con los estándares internacionales de software. Específicamente, no están personalizados para la actividad de proyecto, sólo para el análisis hidráulico del sistema.

Con el objetivo de resolver esta problemática, en el año 1998 fue desarrollado por el Centro de Estudios CAD/CAM de la Universidad de Holguín, el software DP-TRT, el cual es una aplicación CAD (Diseño Asistido por Computadora, por sus siglas en inglés) sobre AutoCAD<sup>1</sup> concebida para el trazado de redes de tuberías en la actividad de proyecto de redes hidráulicas de abasto y a partir del 2004 comenzó a generalizarse a nivel nacional en las empresas de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos del INRH.

Este sistema logró incrementar la calidad del trabajo y redujo considerablemente el tiempo utilizado en la actividad de proyecto. Sin embargo a pesar de su utilización, existen aún una serie de dificultades respecto a la actividad de proyecto de redes hidráulicas en la EIPH “Raudal” como son:

- La aplicación CAD que se encuentra en explotación actualmente está implementada sobre AutoCAD, y la empresa no cuenta con licencias de uso de esta plataforma gráfica, por lo que no sigue los lineamientos del país en cuanto al uso de software libre.
- Deficiente flujo de información entre las etapas del proyecto y los especialistas provocado por la ausencia de herramientas que tengan en cuenta el trabajo colaborativo.

---

<sup>1</sup> Software de diseño por computadora, con capacidad para 2d y 3d.

- La poca integración de las tareas y rutinas que conforman un proyecto de redes hidráulicas de abasto.
- La Aplicación CAD sólo permite la definición planimétrica de la red, sin brindar la representación espacial de esta. Por lo que no existe la información visual suficiente para definir con la calidad requerida los diferentes elementos que forman parte de la red.
- La interacción con el usuario no está especializada en edición espacial de redes hidráulicas.
- La representación tradicional de las válvulas y bombas en función de la modelación matemática que se realiza para obtener el equilibrio hidráulico, constituye un problema al representar estos objetos a una escala visible, pues afecta la información referente a los tramos de tubería.

Por tanto, se determina, para el desarrollo de esta investigación, como **problema científico**: ¿Cómo potenciar la definición espacial de redes hidráulicas de abasto en la actividad de proyecto de la EIPH Holguín “Raudal”?

Este problema se enmarca en el **objeto** de estudio: el proceso de diseño de redes hidráulicas de abasto. Siendo el **campo** de acción: la informatización de las rutinas necesarias para definir espacialmente una red hidráulica de abasto durante la actividad de proyecto de la EIPH Holguín “Raudal”.

Para resolver el problema se propone el siguiente **objetivo**: desarrollar un módulo para un Sistema CAD distribuido, que permita la definición espacial de las redes hidráulicas de abasto.

Para guiar la investigación se plantea la siguiente **hipótesis**: el desarrollo de un módulo para un Sistema CAD distribuido, que se caracterice por ser eficiente, de interfaz amigable y que permita la representación gráfica y técnica de todos los elementos de la red, potenciará la definición espacial de las redes hidráulicas de abasto en la actividad de proyecto de la EIPH Holguín “Raudal”.

Para el desarrollo de la investigación fue necesario dar cumplimiento a las siguientes **tareas**:

1. Estudiar la actividad de proyecto de redes hidráulicas de abasto.
2. Capturar los requerimientos del cliente.
3. Analizar los diferentes softwares que se utilizan para el diseño de redes hidráulicas de abasto en el mundo.
4. Estudiar las principales tendencias y tecnologías para el desarrollo del Módulo para la definición espacial de las redes hidráulicas de abasto.
5. Valorar la sostenibilidad del sistema informático, según las dimensiones administrativa, socio-humanista, ambiental y tecnológica.
6. Realizar el análisis, diseño e implementación del módulo para la definición espacial de las redes hidráulicas de abasto.
7. Valorar la efectividad y grado de aceptación del cliente con la propuesta de solución.

Para alcanzar el objetivo de la investigación, se utilizaron diferentes métodos investigativos:

**Métodos Teóricos:**

- Método histórico - lógico: para la comprensión de las leyes generales y esenciales del proceso de definición espacial de las redes hidráulicas de abasto y en el estudio de las tendencias que apoyan la hipótesis.
- Hipotético - Deductivo: para la elaboración de la hipótesis, la cual será examinada y demostrada por la investigación realizada. Además la hipótesis planteada permite deducir la solución del problema encontrado.
- Análisis y síntesis: para el análisis del objeto de estudio y así comprender las relaciones esenciales y características generales de los procesos y de esta forma elaborar los fundamentos teóricos, en la descomposición de cada uno de los requerimientos del sistema, a través de este método se realizó la valoración de sostenibilidad del sistema.
- Modelación: durante toda la etapa del diseño del sistema, se utiliza la metodología de ingeniería de software Iconix, la cual emplea UML como lenguaje de modelado,

lográndose con esto que el conjunto de modelos de la metodología, describa todas las perspectivas posibles del proceso de desarrollo en sentido general, y que el sistema se pueda modelar de una forma menos abstracta.

### **Métodos Empíricos**

- Entrevista: para la obtención de información, la búsqueda de opiniones y conocimientos de expertos, además de facilitar la recopilación de elementos para el análisis del sistema. Se tuvieron en cuenta las sugerencias, criterios y necesidades que pudieron influir en la correcta concepción del sistema.
- Revisión de documentos: para entender y recopilar los requerimientos funcionales del sistema.
- Encuestas: para evaluar la satisfacción de los usuarios con respecto al sistema y además para elegir los expertos y obtener valoraciones conclusivas de estos.

### **Métodos Estadísticos**

- Delphy: para el tratamiento estadístico de las encuestas realizadas a los usuarios del sistema con el objetivo de buscar el consenso en las opiniones de los encuestados.

Este trabajo está dividido en tres capítulos. Los aspectos más relevantes abordados en cada uno de ellos se exponen brevemente a continuación:

**Capítulo 1. Fundamentación del tema:** Se realiza un estudio bibliográfico actualizado que conlleva a una descripción del objeto de estudio de la investigación, incluyendo el análisis de diferentes softwares utilizados en algunas de las tareas de la actividad de diseño de redes hidráulicas. Además se valoran las principales tendencias y tecnologías para la construcción de la solución propuesta así como la metodología de desarrollo de software empleada.

**Capítulo 2. Descripción y construcción de la solución propuesta:** Siguiendo el proceso que plantea la metodología de desarrollo de software seleccionada para el módulo propuesto, se capturan los requerimientos funcionales del sistema, a partir de los cuales se

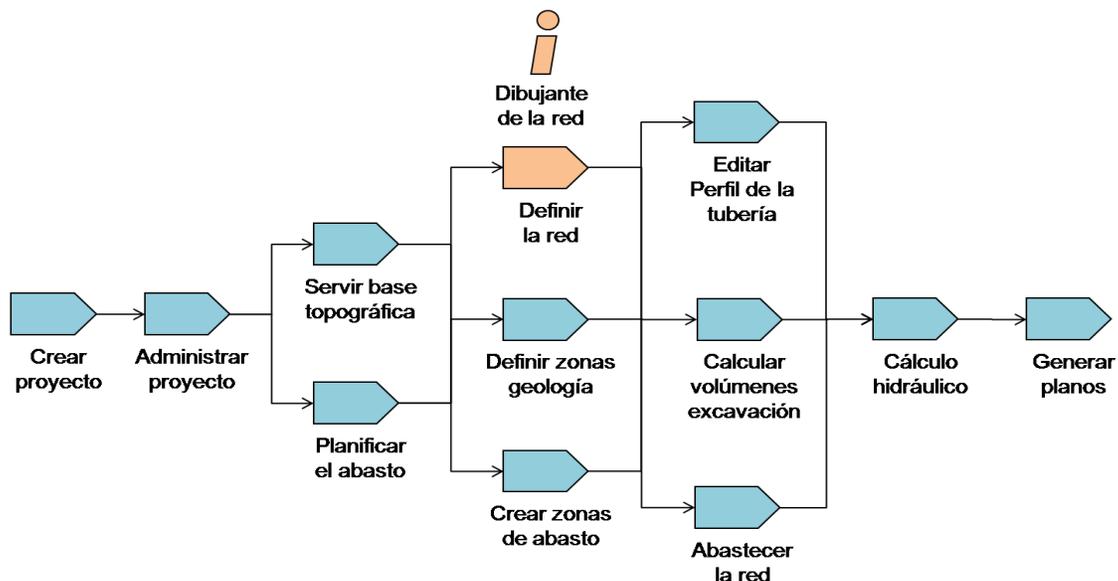
elabora el modelo del dominio y se modelan los casos de uso. A través de las fases de análisis y diseño se estructuran y refinan los requerimientos capturados, lo que da lugar finalmente a la implementación. Este capítulo incluye, además, el diagrama de despliegue, diseño de la base de datos, y estándar de codificación.

**Capítulo 3. Valoración de sostenibilidad y evaluación de la solución propuesta.** Se realiza un estudio de la sostenibilidad del sistema informático según las dimensiones administrativa, socio-humanista, ambiental y tecnológica y una valoración de los resultados obtenidos en la encuesta a los posibles usuarios.

## Capítulo 1. Fundamentación Teórica

La EIPH Holguín “Raudal” brinda servicios de investigaciones ingenieras aplicadas y de elaboración de las diferentes etapas de proyectos de sistemas hidráulicos, plantas, instalaciones y objetivos hidráulicos de todo tipo, incluyendo obras hidroenergéticas y obras de ingeniería asociadas a los sistemas hidráulicos.

La actividad de proyecto en este tipo de empresas, integra las tareas de topografía, geología, planificación del abasto, definición espacial de la red, análisis hidráulico, generación de planos técnicos y de manera novedosa la implantación de la Gerencia CAD a nivel administrativo, en función de las actividades de proyecto. En la Figura 1.1 se ilustra un esquema que resume las rutinas que implica un proyecto de redes hidráulicas de abasto.



**Figura 1.1** Ciclo de la actividad de proyecto de redes hidráulicas en la “EIPH Holguín Raudal”

Actualmente se está desarrollando un Sistema CAD distribuido que tiene en cuenta las tareas antes mencionadas de manera integrada. Está compuesto por un conjunto de módulos, donde cada uno de ellos representa una labor muy específica dentro de la actividad de proyectos.

### 1.1 Objeto de estudio

El Módulo para la definición espacial de redes hidráulicas de abasto, está dirigido precisamente a esta tarea, constituyendo la base para el desarrollo de algunos de los

módulos (Módulo de Análisis Hidráulico, Generación de Planos Técnicos) que componen el Sistema CAD distribuido. La función principal de este módulo es asistir al diseñador en la definición de todos los parámetros técnicos del sistema hidráulico, lo cual incluye la determinación tridimensional de sus componentes así como el cálculo automático de las longitudes de las tuberías, teniendo en cuenta las irregularidades del terreno.

### **1.1.1 Modelación matemática de redes hidráulicas.**

La creciente necesidad de mejorar la calidad del agua suministrada y de perfeccionar las operaciones implicadas en ello, ha ido incorporando la utilización de nuevas técnicas como la informática y la automática en la gestión y control de los sistemas hidráulicos. Como consecuencia de esta situación se ha generalizado la utilización de modelos matemáticos en el estudio y desarrollo de proyectos de diseño de redes hidráulicas.

*“Una red hidráulica es un conjunto de elementos encargados de transportar el fluido líquido desde los puntos de suministro hasta los puntos de consumo. Está constituida por tuberías y otros elementos como son: válvulas, elementos de unión, elementos de medición, etc., que deben ser dimensionados adecuadamente para suministrar los caudales demandados, para lo cual será necesario mantener en la red unas presiones adecuadas. El resto de los componentes del sistema de distribución (depósitos, estaciones de bombeo, forma de regulación, etc.) condicionarán su diseño y cálculo, por lo que en general no se puede tratar la red como un elemento aislado”.*(Hechavarría, 2008)

Justamente con el objetivo de reproducir con la mayor exactitud posible el comportamiento real del sistema físico que se representa, es que surge la modelación matemática, la cual es la base utilizada en el cálculo hidráulico para simular distintos estados que se producen en la red de distribución de agua sin tener que llegar a experimentarlos físicamente. Este proceso de elaborar un modelo matemático para una red de distribución de agua presupone recopilar toda la información posible acerca de su estructura y funcionamiento y tratarla posteriormente para que pueda ser asimilada por los programas de análisis correspondientes. (Alfonso, 2002 ; Hechavarría, 2008)

El modelo matemático posibilita calcular todas las variables que caracterizan el comportamiento de la red hidráulica, al considerar el conjunto de nodos, tuberías, depósitos, embalses, bombas y válvulas que la componen.

### 1.1.2 Proceso de representación espacial de redes hidráulicas

El propósito de la actividad de definición espacial de redes hidráulicas de abasto es la representación gráfica de los elementos que las conforman, así como la selección de los parámetros técnicos de cada uno de esos elementos, la determinación automática de las coordenadas en los nodos y las longitudes de las tuberías.

Para ello se trabaja con un sistema de coordenadas donde la z es producto de un dato de entrada (así lo hace el software de análisis de redes EPANET) o se calcula automáticamente a partir de una topografía dada (malla triangular), de igual forma se determinan las irregularidades del terreno al definir las tuberías.

El trazado de la red hidráulica se realiza a partir de la incorporación sobre el plano digitalizado de la localidad de los objetos que pueden formar parte de esta, tales como: Nodos, Tuberías, Depósitos, Embalses, Bombas y Válvulas. (Rossman, 2000)

- Nodos: Los nodos son los puntos de la red donde confluyen las tuberías, y a través de los cuales el agua entra o sale de ella (también pueden ser solo puntos de paso).
- Tuberías: Son líneas que transportan el agua de un nodo a otro. La dirección del flujo es del extremo de mayor altura piezométrica (energía de presión más energía potencial por unidad de peso) al extremo de menor altura.
- Embalses: Los embalses son nodos que representan una fuente externa de alimentación, de capacidad ilimitada, o bien un sumidero de caudal. Se utilizan para modelizar elementos como lagos, captaciones desde ríos, acuíferos subterráneos, o también puntos de entrada a otros subsistemas. Los embalses pueden utilizarse también como puntos de entrada de contaminantes.
- Depósitos: Los depósitos son nodos con cierta capacidad de almacenamiento, en los cuales, el volumen de agua almacenada puede variar con el tiempo durante la simulación. Los depósitos se diferencian de los embalses en que el nivel del agua varía a medida que el agua entra y sale de ellos, mientras que en los embalses el nivel permanece constante, no importa la magnitud del caudal.
- Bombas: Son líneas que comunican energía al fluido elevando su altura piezométrica, es decir, es un dispositivo para elevar la presión del agua. El caudal que atraviesa una

bomba tiene una dirección única y las bombas deben operar dentro de los límites de caudal y altura impuestos por sus curvas características.

- Válvulas: Son líneas que limitan la presión o el caudal en un punto determinado de la red.

Luego del proceso de trazado de la red hidráulica, quedan establecidas las bases fundamentales para el cálculo hidráulico, en el cual se calculan los valores de las pérdidas energéticas, caudales y velocidades en las tuberías así como los correspondientes a la presión en los nodos.

### **1.1.3 Estudio de softwares de análisis de redes**

Para la confección de los modelos matemáticos se requiere un programa de cómputo que realice el cálculo hidráulico y permita simular los resultados en los diferentes elementos de la red. La eficiencia de los algoritmos utilizados influye de manera significativa en la rapidez de cómputo y confiabilidad del sistema.

En la actualidad existen distintos softwares que cumplen estas características, entre ellos se encuentran el EpaNET de la USEPA (EUA), el WaterCAD y el WaterGEMS de Haestad Methods (EUA). Por su parte, en Cuba se han creado el DYSCAD, el RED y el EpaRED de la EIPHH, el ROKO del ISPJAE y el ADOSA del CEDICO. Además de los desarrollados en el Centro de Estudios CAD/CAM de la Universidad de Holguín, DP-TRT y PAINT-PIPE.

A continuación se muestran las principales características de algunos de estos sistemas.

#### **EPANET**

Es una aplicación que realiza simulaciones en período extendido (o cuasi estático) del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua en redes de tuberías a presión; permitiendo seguir la evolución del flujo del agua en las tuberías, la presión en los nodos de demanda, el nivel del agua en los depósitos y la concentración de sustancias contaminantes a través del sistema de distribución, durante un período prolongado de simulación. Además de las concentraciones, permite determinar el tiempo de permanencia del agua en la red y su procedencia desde los distintos puntos de alimentación. (Alfonso, 2002)

Ha sido desarrollado por la USEPA (Agencia de protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos de América, por sus siglas en inglés), está diseñado para Windows 95/98/NT/2000 y es software libre. Desde el punto de vista hidráulico tiene la capacidad de manejar gráficos de redes complejas, que pueden llegar a incorporar varios miles de nodos (con redes de hasta 40.000 nodos) (Rossman, 2000). Sin embargo, la representación gráfica y la selección de los elementos se tornan muy difíciles y engorrosas.

Entre los inconvenientes de este software está el poco amigable sistema de entrada de datos, que en una primera versión difundida en Cuba demanda la creación de un complicado fichero de texto con formato específico. En la versión 2 del 2000 esta deficiencia trata de ser mejorada sin que sea finalmente resuelta. Otro aspecto negativo de EPANET es que realiza análisis hidráulico pero no permite el diseño automático de tramos o sectores, lo que limita su utilización en el área de proyectos e investigaciones. (Hechavarría, 2008)

### **WaterCAD**

Los cómputos de WaterCAD están basados también en investigaciones conducidas por la USEPA, por lo que genera resultados que son consistentes con las versiones del EPANET (Hechavarría, 2008). WaterCAD es un software que permite el diseño y análisis de redes de agua potable, mediante simulaciones en condiciones estacionarias y períodos extendidos de tiempo, es quizás el producto como marca registrada, más popular del software Bentley de Modelación Hidráulica de Sistemas o Redes a Presión.

Haestad Methods ofrece dos plataformas diferentes para la aplicación, puede ser cargado desde AutoCAD y utilizar las bondades gráficas de este entorno CAD o ser adquirido como una aplicación independiente. (Kuhfeld, 2006)

### **WaterGEMS**

En términos de tareas básicas e intermedias de Modelación Hidráulica, WaterCAD y WaterGEMS son productos completamente similares (de hecho comparten el mismo motor de cálculo hidráulico). Por otra parte, WaterCAD como WaterGEMS comparten la estructura de modelo de datos, por tanto un modelo creado en WaterCAD puede ser leído en WaterGEMS y viceversa.

WaterGEMS es la única herramienta de modelación del mercado capaz de ofrecer soporte para 4 plataformas como AutoCAD, ArcGIS y MicroStation, adicional a una plataforma Stand Alone con toda la funcionalidad. (Kuhfeld, 2006 ; Gutierrez, 2009 )

En WaterGEMS si un usuario hace cambios en un modelo hidráulico bajo ArcGIS o AutoCAD, estos cambios se ven también actualizados bajo el modelo Stand Alone.

## **RED**

RED es un software aplicable en el diseño y simulación de redes de tuberías, sistemas de pozos y esquemas hidráulicos a presión en general. Está concebido para realizar trabajos en condiciones de flujo permanente o simular su comportamiento en períodos extendidos, puede ser usado en redes malladas, abiertas o mixtas, siendo capaz de procesar hasta 5000 nudos y tramos. (Alfonso, 2002)

El software RED es una versión mejorada del programa de diseño DISCAD, utilizado por más de 10 años en las empresas de proyectos hidráulicos del INRH, y que fue realizado en la Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos Habana (Alfonso, 1999) .

Entre sus principales ventajas está la posibilidad de establecer como fondo de pantalla una imagen cartográfica generada a partir de un fichero con formato DXF<sup>2</sup>, de esta forma se conservan las coordenadas importadas y se conforman los datos de entrada al sistema automáticamente. También es posible exportar ficheros en formato DXF (Drawing Interchange File, por sus siglas en inglés) con los planos de los esquemas hidráulicos de la red analizada.

## **EpaRed**

El programa EpaRed es un híbrido entre el Epanet y el RED que combina las potencialidades de ambos, aprovechando la experiencia adquirida en la programación de *DYSCAD* y *RED* por una parte, y del hecho de que *EPANET* es un programa de código abierto, o sea que proporciona las herramientas (toolkit) que permiten identificar las DLL (Dinamic Link Library,

---

<sup>2</sup> Es un formato de archivo informático para dibujos de CAD, creado fundamentalmente para posibilitar la interoperabilidad entre los archivos *.DWG*, usados por el programa AutoCAD, y el resto de programas del mercado.

por sus siglas en inglés) que vienen a ser los motores de cálculo del sistema. Ha sido desarrollado por la Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos Habana, EIPH Habana. (Alfonso, 2002)

### **DP-TRT**

La aplicación CAD DP-TRT fue desarrollada por el Centro de Estudios CAD/CAM de la Universidad de Holguín en 1998 a solicitud de la empresa colombiana EMPATIOS ESP, desde el año 2004 se comenzó a introducir en las EIPH del INRH con las cuales se han proyectado la mayoría de las redes de abastecimientos del país. Se destacan los acueductos de las ciudades: Holguín, Bayamo, Camagüey, Santa Clara, Cienfuegos, Cárdenas y varios municipios de La Habana incluyendo Ciudad Milagro en Tarará. (Hechavarría, 2008)

DP-TRT se considera una aplicación CAD por utilizar como plataforma gráfica el AutoCAD. Fue implementado en Visual LISP y sus potencialidades gráficas están en función de los requerimientos de las PC y las versiones del AutoCAD. Cuenta con una Base de Datos que incluye todos los materiales y ofertas de diámetros según presión nominal lo cual no ha sido ofrecido por ningún otro sistema utilizado en estas organizaciones. Su principal inconveniente radica en que requiere de opciones de validación para evaluar la definición tridimensional de la red.

### **PAINT-PIPE**

El software PAINT-PIPE es una herramienta computacional para la automatización del diseño de redes en plantas de almacenamiento de petróleo. Este producto fue desarrollado por el Centro de Estudios CAD/CAM de la Universidad de Holguín, y se utiliza actualmente en la EIPP de Ciudad de La Habana y las dependencias de esta empresa en la ciudad de Matanzas, principalmente en el área de ingeniería, aunque a menor escala en el área de diseño hidráulico.

Entre sus principales funcionalidades están la generación de planos, el reporte de consumo de materiales en esta línea, la selección de los diferentes elementos que componen una red de tuberías así como la personalización de estos por el diseñador en su base de datos. (Lastre y Lastre, 2006)

PAINT-PIPE posee grandes ventajas para los diseñadores, ya que cuenta con diálogos personalizados que facilitan la introducción de las restricciones o especificaciones de los componentes del proyecto. Además de garantizar la entrega del listado clasificado de los materiales que son empleados, lo cual se hace con exactitud y logra una uniformidad en el formato de entrega de este. Otra de las superioridades de este software es que posibilita la obtención de la red en modelo 3d a partir del dibujo simbólico 3D.

Sin embargo la Base de Datos de normas y accesorios definida en el paquete CAD no está orientada a la actividad de proyecto de redes de abastecimiento de agua debido a que no se utilizan los mismos materiales en la industria del petróleo que en el INRH. Por otra parte el sistema PAINT-PIPE está concebido para ayudar al diseñador en definir el trazado de instalaciones de tuberías con una distribución espacial muy exacta relacionada con la disponibilidad de espacios en la industria, donde el sistema solicita en todo momento la dirección, el sentido y la distancia, en planta o en altura en la cual el proyectista desea definir un trazado. Este proceso es inapropiado para ser utilizado en la actividad de diseño de redes de abastecimiento debido a que se tornaría muy engorroso por lo cual no es práctico.

## **1.2 Desarrollo del QFD en la concepción del Módulo para la definición espacial de redes hidráulicas.**

Un factor que garantiza el éxito de un producto es, indudablemente la calidad, es por ello que empresas de todo el mundo utilizan métodos que le permitan diseñar productos que tengan en cuenta las demandas y expectativas del cliente.

De ahí que, en la concepción del módulo propuesto en la presente investigación se haya desarrollado el Despliegue de la Función Calidad (QFD), el cual es una técnica que identifica los requerimientos del cliente y proporciona una disciplina para asegurar que estén presentes en el diseño del producto o servicio y en el proceso de planificación. (Mazur, 1996 ; Yacuzzi y Martín, 2003 ; Hechavarría, 2008 ; Portilla, 2009)

Es fundamental aclarar que el QFD no es una herramienta para medir la calidad sino un poderoso instrumento para la planificación y difiere de otros métodos tradicionales de calidad

que están enfocados en no tener defectos<sup>3</sup>, además del grandioso benchmarking<sup>4</sup> que lleva a cabo.(Bolt y Mazur, 1999)

Considerando lo antes mencionado se desarrolló la matriz de planificación por ser la más importante de las 4 matrices que conforman el ciclo completo del proceso del QFD (Portilla, 2009). El Despliegue de la Función Calidad al Módulo CAD para la definición espacial de la red permitió expresar en términos operativos los requerimientos del cliente, así como las características de control determinadas, a partir del estudio de las expectativas del cliente (Ver Anexo 1 ).

Este último aspecto es primordial en la realización del módulo para la definición espacial de redes hidráulicas pues como se explicó en el epígrafe anterior existen varios softwares reconocidos que cumplen algunos de los requerimientos del cliente, sin embargo, después de realizado el QFD para esta investigación se observó la superioridad que tendrá el módulo propuesto frente a esos softwares en cuanto a las necesidades de la EIPH Holguín “Raudal”. La Figura 1.2 muestra claramente estos resultados.

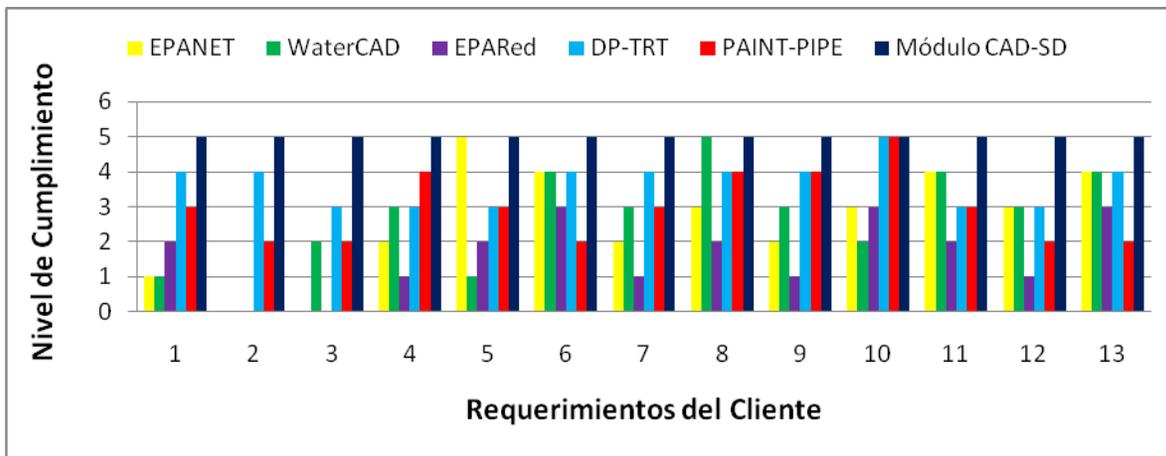


Figura 1.2 Resultados de la Evaluación Competitiva

<sup>3</sup> Como plantea Glenn Mazur “*nothing wrong does not mean anything is right*”, lo cual significa que nada incorrecto no quiere decir que algo esté bien.

<sup>4</sup> “*Benchmarking es un proceso sistemático y continuo para comparar nuestra propia eficiencia en términos de productividad, calidad y prácticas con aquellas compañías y organizaciones que representan la excelencia.* “ (Bengt Kallöf y Svante Östblom)

### **1.3 Descripción de las tendencias y tecnologías para la construcción de la solución propuesta.**

La migración a software libre se ha convertido en un objetivo de interés y prioritario para los gobiernos, dada la necesidad de independencia tecnológica y las limitaciones que representan para los países en vías de desarrollo las patentes y licencias que rigen actualmente al software de tipo privativo, o de código cerrado.

Cuba no es una excepción en esta regla, y desde hace varios años en la isla se han ido adoptando una serie de estrategias cuyo objetivo final es la adopción del software libre a nivel nacional en el menor plazo posible.

Indudables son las ventajas que trae consigo el software libre al poder ser usado, copiado, estudiado, modificado y redistribuido libremente una vez obtenido, evidenciado en el hecho de la existencia de software propietario y las desventajas que este acarrea a nivel mundial, no sólo desde el punto de vista antes mencionado, sino también por las limitaciones de acceso legal por cuestiones políticas.

Por lo antes expresado y a petición del cliente se optó por escoger tecnologías de software libre, para el desarrollo de la solución propuesta.

#### **1.3.1 Arquitectura Cliente Servidor**

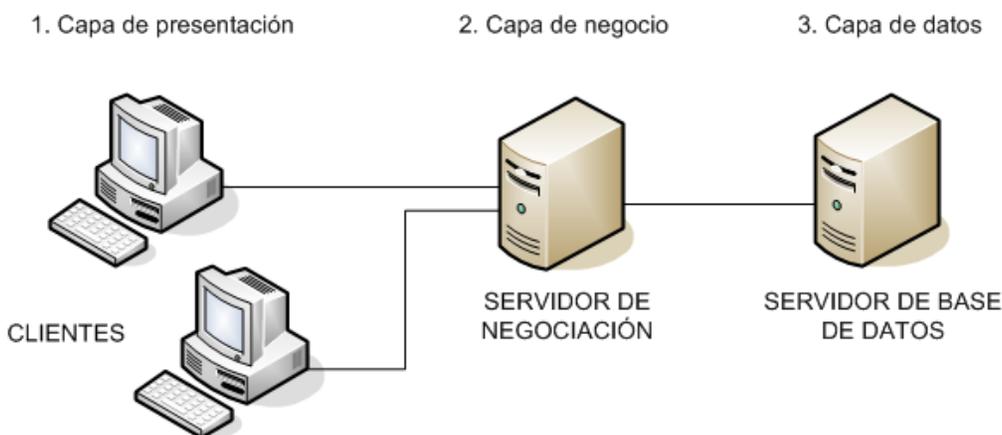
En la actualidad se hace cada vez mayor la tendencia hacia la integración de los sistemas, con el objetivo de aumentar la productividad, disminuir los costos de desarrollo, mantenimiento y facilitar el uso de las aplicaciones por parte de los usuarios. Por lo que muchos de los sistemas destinados a la gestión empresarial utilizan el modelo Cliente/Servidor.

Justamente este es el caso de la EIPH Holguín “Raudal”, donde el desarrollo de proyectos de redes hidráulicas de abasto debe verse de una forma integradora según un enfoque sistémico, en la cual las labores que conforman el diseño ocurran en un ambiente colaborativo, concurrente y distribuido logrando así un mejor aprovechamiento y control de la información. Por esta razón se hace primordial tener en cuenta las características que posee el modelo Cliente/Servidor, siendo utilizado en la concepción del Sistema CAD distribuido al que tributa el módulo para la definición espacial de redes hidráulicas.

IBM define al modelo Cliente/Servidor como " *la tecnología que proporciona al usuario final el acceso transparente a las aplicaciones, datos, servicios de cómputo o cualquier otro recurso del grupo de trabajo y/o, a través de la organización, en múltiples plataformas*". (Valle, 2005)

Es decir desde el punto de vista funcional, se puede afirmar que es una arquitectura distribuida que permite a los usuarios obtener acceso a la información en forma transparente aun en entornos multiplataforma, donde cada máquina puede cumplir el rol de servidor para algunas tareas y el rol de cliente para otras.

A través del cliente (también conocido por el término front-end) el usuario formula los requerimientos y los envía al servidor, y a su vez el servidor (se le conoce con el término back-end), es el encargado de atender a múltiples clientes que hacen peticiones de algún recurso administrado por él, por lo general maneja todas las funciones relacionadas con la mayoría de las reglas del negocio y los recursos de datos.(Burbano, 2006)



**Figura. 1.3** Arquitectura Cliente/Servidor.

La arquitectura Cliente/Servidor es la más utilizada en la actualidad, debido a que es la más avanzada y la que mejor ha evolucionado en estos últimos años, además de las numerosas ventajas que acarrea su utilización, como son (Márquez y Zulaica, 2004 ; Rodríguez y Torres, 2008):

- La centralización de los recursos, debido a que el servidor es el centro de la red se administran los recursos comunes a todos los usuarios y evita tener información duplicada o no sincronizada en todos los clientes.

- La escalabilidad, que permite eliminar o agregar clientes sin afectar el funcionamiento de la red y sin necesidad de realizar grandes modificaciones.
- Posibilita la utilización tanto de hardware como de software de diversos fabricantes, contribuyendo así a la reducción de costos y favoreciendo la flexibilidad en la implantación y actualización de soluciones.
- Favorece la construcción de interfaces gráficas interactivas y consistentes, que tienen una interacción más intuitiva con el usuario, por lo que contribuye a la disminución de los costos de entrenamiento de personal.
- El mantenimiento y el desarrollo de aplicaciones es más rápido, pues se pueden emplear las herramientas existentes (los servidores de SQL o las herramientas de más bajo nivel como los sockets o el RPC<sup>5</sup>).
- La centralización del control, es decir, que los accesos, recursos y la integridad de los datos son controlados por el servidor de forma tal que un programa cliente defectuoso o no autorizado no pueda dañar el sistema.

Sin embargo este modelo cliente servidor también tiene algunos inconvenientes que se deben tener presentes (López, 2009):

- El mantenimiento de los sistemas resulta difícil pues implica la interacción de diferentes partes de hardware y de software, distribuidas por distintos proveedores, lo cual dificulta el diagnóstico de fallas.
- Existe una alta complejidad tecnológica al tener que integrar una gran variedad de productos.
- Requiere un fuerte rediseño de todos los elementos involucrados en los sistemas de información (modelos de datos, procesos, interfaces, comunicaciones, almacenamiento de datos, etc.) Se reconoce que en la actualidad existen pocas herramientas que ayuden a determinar la mejor forma de dividir las aplicaciones entre la parte cliente y la parte servidor.

---

<sup>5</sup> El RPC (Remote Procedure Call, por sus siglas en inglés) es un protocolo que permite a un programa de ordenador ejecutar código en otra máquina remota.

- Tiene como punto débil al servidor siendo este el único eslabón frágil en la red, ya que toda la red está construida en torno a él.
- La seguridad de un modelo Cliente/Servidor es otra preocupación importante. Por ejemplo, se deben hacer verificaciones en el cliente y en el servidor.

### **1.3.1.1 Tecnología Web**

El desarrollo de las comunicaciones y con ello la utilización de diversas herramientas que posibilitan un mayor nivel organizativo en las empresas ha tenido un auge significativo en los últimos años, por lo que es difícil encontrar alguna entidad que no comience a utilizar tecnologías web, que traigan aparejadas ventajas como el aumento de la eficiencia y el flujo de información en dichas entidades, elementos que apoyan la toma de decisiones.

*“La tecnología Web permite que una vez que la información esté disponible, se pueda acceder a ella desde cualquier computadora, desde cualquier país, por cualquier persona autorizada, usando un simple navegador.”(Rodríguez, 2004)*

Las aplicaciones Web básicamente se desarrollan en un ambiente Cliente/Servidor donde la mayor parte del procesamiento se realiza en el servidor, y disponen de una interfaz gráfica muy bien lograda en cuanto a su diseño y una mayor y mejor interacción con el usuario. A través de un sistema de seguridad garantizan que la información se mantenga íntegra y que se eliminen los accesos indeseables y no permitidos.(Reyes, 2008)

Precisamente el Módulo para la definición espacial de redes hidráulicas de abasto propuesto como solución tributa a un Sistema CAD distribuido, de ahí la importancia de considerar las características que las tecnologías web proveen.

### **1.3.2 Lenguaje de programación Java**

Java es un lenguaje de desarrollo de propósito general y como tal es válido para realizar todo tipo de aplicaciones profesionales. Fue creado por la compañía Sun Microsystems Inc, con el propósito de crear un lenguaje que pudiera funcionar en redes computacionales heterogéneas y que fuera independiente de la plataforma en la que se fuera a ejecutar

(Knudsen y Niemeyer, 2005). De esta forma un programador en Java "escribe su programa una vez, y lo ejecuta donde sea".<sup>6</sup>

Es un lenguaje orientado a objetos por lo que los objetos agrupan en estructuras encapsuladas tanto sus datos como los métodos (o funciones) que manipulan esos datos.

Las características más relevantes de Java son (Álvarez, 1999 ; Jiménez et al., 2004):

- Simple. Elimina la complejidad de los lenguajes como "C" y da paso al contexto de los lenguajes modernos orientados a objetos.(Flanagan, 1997 ; Grand, 1997)
- Robusto. Java verifica su código al mismo tiempo que lo escribe, y una vez más antes de ejecutarse, de manera que se consigue un alto margen de codificación sin errores.
- Seguro. El sistema de Java tiene ciertas políticas que evitan se puedan codificar virus con este lenguaje. La máquina virtual, al ejecutar el código java, realiza comprobaciones de seguridad, además el propio lenguaje carece de características inseguras, como por ejemplo, los punteros.(Gong, 1999 ; Horstmann y Cornell, 2004 ; Knudsen y Niemeyer, 2005)
- Portable. La indiferencia a la arquitectura representa sólo una parte de su portabilidad. Java especifica los tamaños de sus tipos de datos básicos y el comportamiento de sus operadores aritméticos, de manera que los programas son iguales en todas las plataformas.
- Independiente a la arquitectura. Al compilar un programa en Java, el código resultante un tipo de código binario conocido como byte code. Este código es interpretado por diferentes computadoras de igual manera, solamente hay que implementar un intérprete para cada plataforma.
- Multithreaded. Java soporta sincronización de múltiples hilos de ejecución (*multithreading*) a nivel de lenguaje, especialmente útiles en la creación de aplicaciones de red distribuidas. (Grand, 1997 ; Horstmann y Cornell, 2004)
- Dinámico. Java no requiere que se compilen todas las clases de un programa para que este funcione.

---

<sup>6</sup> Eslogan que emplea Sun: "write once, run anywhere".

Posibilita incorporar la ejecución de applets (Ver Epígrafe 1.3.3), permite el desarrollo tanto de arquitecturas cliente-servidor como de aplicaciones distribuidas, aunque también otros lenguajes de programación crean aplicaciones de este tipo, Java incorpora en su propio API (Application Programming Interface, por sus siglas en inglés) estas funcionalidades. Otra de las ventajas de este lenguaje es que la mayor parte de las tecnologías Java fue liberada hace unos años bajo la licencia GNU GPL (General Public License, por sus siglas en inglés)<sup>7</sup>, lo cual implica que prácticamente todo el Java de Sun es ahora software libre.

Teniendo en cuenta estos aspectos, así como las características explicadas en este epígrafe se eligió este lenguaje para la realización del módulo.

### **IDE NetBeans**

Para poder programar con el lenguaje Java, es necesario emplear un entorno de desarrollo integrado IDE (Integrated Development Environment, por sus siglas en inglés).

Cuando de Java se trata, son varias las opciones de IDEs, para utilizar como son:

- BlueJ: desarrollado como un proyecto de investigación universitaria, es libre.
- Eclipse: desarrollado por la Fundación Eclipse, es libre y de código abierto.
- IntelliJ IDEA: desarrollado por JetBrains, es comercial.
- JBuilder: desarrollado por Borland, es comercial, pero existe la versión gratuita.
- JCreator: desarrollado por Xinox, es comercial, pero existe la versión gratuita.
- JDeveloper: desarrollado por Oracle Corporation, es gratuito.
- NetBeans – gratuito y de código abierto.
- Sun Java Studio Enterprise: desarrollado por Sun, es comercial.

En el desarrollo del Módulo para la definición espacial de las redes hidráulicas de abasto se utilizó el IDE NetBeans, el cual es un producto libre y gratuito sin restricciones de uso.

---

<sup>7</sup> La GNU General Public License (Licencia Pública General) es una licencia creada por la Free Software Foundation y orientada principalmente a los términos de distribución, modificación y uso de software. Su propósito es declarar que el software cubierto por esta licencia es software Libre. Más información en: <http://www.es.gnu.org/licencias/gpl.html>.

Entre sus principales características se encuentran que está escrito completamente en Java usando la plataforma NetBeans y soporta el desarrollo de todos los tipos de aplicación Java (J2SE, web, EJB y aplicaciones móviles).

### **1.3.3 Applets**

Java aporta a la Web una interactividad que se había buscado durante mucho tiempo entre usuario y aplicación, evidenciado en el hecho de que el primer lugar y el más frecuente, donde se puede encontrar al lenguaje Java, es en los exploradores o navegadores de Internet.

Precisamente esta presencia de Java en la Web está condicionada por una de sus características más relevante: la de desarrollar programas que aparecen embebidos en otras aplicaciones, normalmente una página Web que se muestra en un navegador, estos son los llamados applets. (Knudsen y Niemeyer, 2005)

Un applet es un programa que se adhiere a una serie de convenciones que le permiten ejecutarse dentro de navegadores compatibles con Java.(Deitel y Deitel, 2004)

Presentan un comportamiento inteligente, pudiendo reaccionar a la entrada de un usuario y cambiar de forma dinámica. Sin embargo, la verdadera novedad es el gran potencial que Java proporciona en este aspecto, haciendo posible que los programadores ejerzan un control sobre los programas ejecutables de Java que no es posible encontrar en otros lenguajes.(Knudsen y Niemeyer, 2005)

Algunas de las principales características de las applets son (García et al., 2000):

1. Los ficheros de Java compilados (\*.class) se descargan a través de la red desde un servidor de Web o servidor HTTP hasta el browser en cuya Java Virtual Machine se ejecutan. Pueden incluir también ficheros de imágenes y sonido.
2. Los applets no tienen ventana propia: se ejecutan en la ventana del browser (en un “panel”).
3. Por la propia naturaleza “abierta” de Internet, los applets tienen importantes restricciones de seguridad, que se comprueban al llegar al browser: sólo pueden leer y escribir ficheros en el servidor del que han venido, sólo pueden acceder a una limitada información sobre el

ordenador en el que se están ejecutando, etc. Con ciertas condiciones, los applets “de confianza” (trusted applets) pueden pasar por encima de estas restricciones. (Flanagan, 1997)

Debido a que actualmente la Tecnología Web no cuenta con métodos nativos que incorporen el ambiente requerido, es decir 3D para la representación espacial de la red hidráulica de abasto, además de las múltiples ventajas con que cuenta este tipo de tecnología se decidió que el módulo propuesto sea un applet.

### 1.3.4 Framework Spring

**Spring** es un framework<sup>8</sup> de código abierto de desarrollo de aplicaciones para la plataforma Java.

A pesar de que Spring no obliga a usar un modelo de programación en particular, se ha popularizado en la comunidad de programadores en Java al considerársele una alternativa y sustituto del modelo de Enterprise JavaBean<sup>9</sup>. Por su diseño este framework ofrece mucha libertad a los desarrolladores en Java y soluciones muy bien documentadas y fáciles de usar para las prácticas comunes en la industria.(Johnson et al., 2005 )

Algunas características que hacen interesante el framework Spring para el desarrollo del módulo propuesto en esta investigación ,son (Lago, 2008):

- Promueve buenas prácticas de diseño y programación que facilitan el desarrollo de aplicaciones J2EE, para ello Spring maneja patrones de diseño<sup>10</sup> como Factory, Abstract Factory, Builder, Decorator, Service Locator, etc; que son ampliamente reconocidos dentro de la industria del desarrollo de software.(Johnson et al., 2004 ; Harrop y Machacek, 2005)

---

<sup>8</sup> Un **framework** es un conjunto de clases y otros elementos relacionados que facilitan el desarrollo de aplicaciones, incorporando funcionalidades prefabricadas y permitiendo su reutilización y extensión.

<sup>9</sup> Los **Enterprise JavaBeans** (también conocidos por sus siglas **EJB**) son una de las API que forman parte del estándar de construcción de aplicaciones empresariales J2EE de Sun Microsystems.

<sup>10</sup> Los **patrones de diseño** (*design patterns*) son la base para la búsqueda de soluciones a problemas comunes en el desarrollo de software y otros ámbitos referentes al diseño de interacción o interfaces.

- Es ligero tanto en términos de tamaño como en costos operativos, el framework completo puede ser distribuido en un único archivo JAR de aproximadamente 1 MB (Walls y Breidenbach, 2005). Esta ventaja es sumamente importante en el desarrollo del módulo para la definición espacial de la red, pues el mismo es un applet que necesita ser lo más ligero posible, por lo que al utilizar algunas de las bondades de Spring requiere que estas no hagan el proceso pesado.
  
- Otra peculiaridad de Spring es su modularidad, consta de siete módulos bien definidos pudiendo usar algunos de ellos sin comprometerse con la utilización del resto (Winterfeldt, 2009), para el diseño de la lógica del negocio del módulo propuesto en esta investigación se utilizan:
  - El Core Container o Contenedor de Inversión de Control (Inversion of Control, IoC, por sus siglas en inglés): es el núcleo del sistema, responsable de la creación y configuración de los objetos.(Harrop y Machacek, 2005)
  
  - Data Access Framework: favorece el trabajo de usar un API con JDBC, Hibernate, etc.(Velde et al., 2007 ; Winterfeldt, 2009)
  
  - Remote Access Framework: Facilita la existencia de objetos en el servidor que son exportados para ser usados como servicios remotos(Hayes, 2005). En este caso se decidió utilizar para acceder remotamente a los datos, los servicios http de Spring por ofrecer una solución java-java, y no los servicios Web de Spring, pues como el applet está escrito en un mismo lenguaje (Java), es innecesario el uso de servicios web que son más universales en el sentido de que las aplicaciones que acceden a estos pueden estar escritas en cualquier lenguaje de programación.

### **1.3.5 Aplicaciones gráficas en Java**

Los gráficos tridimensionales en la web surgieron en los inicios de los años 90. En ese entonces, no eran tan populares porque la tecnología demandaba considerable ancho de banda y poder gráfico del usuario, lo que los hacía poco accesibles. No obstante, han madurado a la par que avanzaba la tecnología.

A medida que han ido popularizándose el hardware de aceleración y los microprocesadores rápidos para PC, la obtención eficaz de gráficos 3D a través de las redes se ha convertido en poco tiempo en una meta primordial para una gran mayoría de las aplicaciones mercantiles y de consumo, así como para las destinadas al diseño, la manufactura y educación, todo ello condicionado por la creciente presión competitiva a la que están sometidas las empresas, lo cual se traduce en la necesidad de transitar sus modelos tradicionales de negocios a entornos mucho más modernos desde los electrónicos, distribuidos, colaborativos, hasta los virtuales.

Es necesario asegurar que el acceso a datos centralizados sea suministrado por interfaces unificadas que tengan conocimiento del entorno, o sea, que tengan en cuenta el ancho de banda de las redes que llega a los diferentes usuarios y las plataformas con que cuentan, algunos acceden desde computadoras con altas prestaciones del hardware gráfico y con conexiones de alta velocidad mientras que otros lo hacen desde dispositivos con rendimiento limitado del soporte gráfico o conexiones lentas como pueden ser dispositivos inalámbricos y móviles. Debido a ello, estas interfaces deben ser capaces de ajustar los mecanismos de acceso con el objetivo de proveer a los clientes servicios de acceso óptimo.

Las infraestructuras de red que han ido surgiendo incluyen una creciente diversidad de clientes y servidores interconectados. Esta heterogeneidad dificulta al servidor brindar los servicios adecuados para cada cliente que requiere acceso a contenido multimedia. Por lo que los iniciales esfuerzos estuvieron centrados en la optimización de las tecnologías tanto de transmisión como de renderizado (compresión, simplificación del modelo, multiresolución, streaming, técnicas basadas en imágenes).

Existen aplicaciones informáticas que contienen en su interfaz de usuario un área dedicada a la representación de gráficos (se le conoce como dispositivo gráfico) en la cual el usuario interactúa con ellos de forma tal que puede gestionar o modificar su presentación, por lo que constituyen sistemas gráficos interactivos. Precisamente los sistemas CAD <sup>11</sup> en la actualidad

---

<sup>11</sup> Son aplicaciones informáticas que asisten la labor del diseñador en cualquiera de las múltiples fases del diseño ingenieril.

devienen por extensión en sistemas gráficos interactivos, dada la potencialidad que le proporciona a las rutinas de diseño, el manejo avanzado de los gráficos implícitos en dicho dominio de trabajo.

El módulo para la definición espacial de redes hidráulicas está basado en este tipo de sistema, pues se requiere un alto grado de interacción entre la aplicación y el usuario.

Para ello se ha tenido en cuenta uno de los aspectos fundamentales en cuanto a la estructura de datos interna de los sistemas CAD: el modelo geométrico que se representa en el dispositivo gráfico, este debe ser lo suficientemente versátil y estar en función de la finalidad que se desea con el modelo.

La interacción con la visualización del modelo geométrico que se representa dados los requerimientos del usuario, debe estar garantizada por la interfaz gráfica en conjunto con el dispositivo gráfico del sistema CAD, algunas de las funcionalidades de interacción más significativas son la de gestionar la vista del modelo, si es un modelo tridimensional hacer zoom, panear, orbitar, así como insertar, seleccionar, modificar y eliminar entidades gráficas, y cuando se modifique el modelo, las distintas vistas se deben actualizar como lo hace el patrón de diseño MVC (Modelo-Vista-Controlador)<sup>12</sup>.

En el caso del módulo propuesto en la presente investigación la estructura de datos del modelo geométrico no sólo contiene la información geométrica o topológica del objeto que cada entidad puede contener, sino también una gran cantidad de propiedades y relaciones con otras entidades.

Para facilitar el trazado y manejo de estas entidades se emplean APIs que interactúan con dispositivos gráficos y proveen un camino al programador para acceder al hardware de manera abstracta, entre las más reconocidas se encuentran OpenGL y DirectX.

Para la realización del módulo propuesto en la presente investigación se seleccionó OpenGL luego de un análisis de sus principales características.

---

<sup>12</sup> Es un patrón de arquitectura de software que separa los datos de una aplicación, la interfaz de usuario y la lógica de control en tres componentes distintos.

### 1.3.5.1 OpenGL

OpenGL es una librería gráfica escrita originalmente en C por Silicon Graphics Inc (SGI, por sus siglas en inglés) que permite la manipulación de gráficos 3D a todos los niveles (García, 2003).

Posee todas las características necesarias para la representación mediante computadoras de escenas 3D modeladas con polígonos, desde el pintado más básico de triángulos, hasta el mapeado de texturas, iluminación o NURBS<sup>13</sup>. Este aspecto es esencial en el desarrollo del módulo para la definición espacial de redes hidráulicas pues se dibujan un conjunto de entidades a partir de figuras geométricas.

Esta librería puede utilizarse bajo todo tipo de sistemas operativos e incluso usando una gran variedad de lenguajes de programación. Se pueden encontrar variantes de OpenGL para Windows 95/NT, Unix, Linux, Iris, Solaris, Delphi, Java e incluso Visual Basic (García y Guevara, 2004). Aún así, su uso más extenso suele ser el lenguaje C o C++ (Naidier et al., 1994).

En la actualidad es una de las tecnologías más empleadas en el diseño de aplicaciones 3D que tiene una amplia trayectoria como gestor gráfico en un sin número de proyectos de envergadura, y una entusiasta comunidad de desarrolladores, lo cual es una ventaja que garantiza una amplia documentación.

La entrega eficiente de modelos 3D depende de las estructuras de datos empleadas para representar los datos, pero también de la tecnología de transmisión y representación elegida.

### 1.3.5.2 Tecnologías disponibles para la representación 3D en la web

Actualmente existe un conjunto de tecnologías que permite a los navegadores mostrar contenido gráfico tridimensional mediante visores 3D (*plugins*) que lo renderizan dentro de su propia ventana.

Los esfuerzos en el campo están encaminados a que los mismos navegadores sean los que se encarguen, directamente, de la gestión de los elementos 3D.

---

<sup>13</sup> Acrónimo inglés de la expresión Non Uniform Rational B-Splines. Es un modelo matemático muy utilizado en los gráficos por computadora para generar curvas y superficies.

Uno de los más populares en este área es el VRML (Virtual Reality Modeling Language, por sus siglas en inglés), el mismo es un formato (ASCII), que llegó a ser la primera tecnología reconocida oficialmente por la ISO (International Organization for Standardization, por sus siglas en inglés) como estándar para la creación, distribución y representación de elementos 3D a través de Internet (Jiménez, Pérez, 2004). Su licencia no es propietaria, sin embargo, algunos de los plugins que se necesitan para su representación en los navegadores sí lo son.

Entre sus ventajas se destaca la gran popularidad que posee dado al gran número de aplicaciones que lo utilizan como formato de intercambio, y que puede ser generado dinámicamente por tecnologías de programación cliente servidor basado en la web como PHP, ASP, Java Servlet y JSP.

Presenta como deficiencias que la transmisión de modelos de gran dimensión puede ser considerablemente costosa porque es un formato plano. Otro de sus inconvenientes y que en particular fue significativo a la hora de determinar si utilizar esta tecnología o no para el desarrollo de este módulo, es que el nivel de interactividad con los gráficos se limita a los que ofrece el plugin que contiene al documento VRML, lo que no resulta viable en el caso del presente módulo que requiere avanzada interactividad con el modelo geométrico así como insertar, seleccionar y editar entidades durante el tiempo de vida de la carga.

Las tecnologías de Java y sus bondades han hecho que la cantidad de aplicaciones de este tipo realizadas en este lenguaje de programación haya crecido de modo espectacular, ofreciéndoles a los programadores potentes bibliotecas gráficas como son: Java 3D y el JOGL.

El Java 3D es un API de alto nivel para programación gráfica en 3D, basado en Java y orientado a aplicaciones gráficas de propósito general (Brackeen et al., 2003). La principal ventaja que presenta este API 3D frente a otros entornos de programación 3D es que posibilita la creación de aplicaciones gráficas 3D independientes del tipo de sistema, y provee funcionalidad de simulación 3D en tiempo real.(Jiménez, Pérez, 2004)

Proporciona una interface de programación de alto nivel basado en el paradigma orientado a objetos, lo cual en ocasiones limita su utilización al no permitir bajo nivel de manipulación en

los procesos gráficos. Soporta un gran número de formatos como VRML, CAD, etc., y permite programar applets gráficos.(Davison, 2005)

Por su parte el JOGL (Java OpenGL) es una biblioteca que posibilita acceder a OpenGL mediante programación en Java, siendo el más reciente de los Java bindings<sup>14</sup> para OpenGL, se utiliza para programar aplicaciones y *applets* con gráficos en 3D y proporciona acceso completo a la especificación del API de OpenGL 2.0, integrado con el API para manejos de interfaces visuales AWT y Swing. (Davison, 2005)

JOGL facilita a los programadores la creación y manipulación de geometrías 3D, así como la construcción de las estructuras manejadas en el renderizado de dichas geometrías debido a los constructores de alto nivel que proporciona.

Esta librería utiliza el JNI <sup>15</sup> (Java Native Interface, por sus siglas en inglés) para enlazar las clases Java con las interfaces de OpenGL nativas de la plataforma. Una de las principales ventajas que posee JOGL es que con ligeras modificaciones el desarrollador accede a la totalidad de la funcionalidad estándar de la biblioteca OpenGL, la cual goza de gran prestigio y tradición histórica entre los programadores. (Belmonte, 2006)

Por otra parte cabe destacar como una gran superioridad de JOGL frente a otras librerías de este tipo es que el hecho de ser acelerada por hardware estableciendo que el rendimiento en el renderizado sea el mismo que el de un programa similar en C++. (Davis, 2004)

Al contrario de VRML que presenta dificultades en cuanto a la interactividad con el modelo geométrico, JOGL posee un alto nivel de interactividad y control de la tubería gráfica, así como con las estructuras de datos condicionado por el bajo nivel de abstracción de la misma convirtiéndolo en una opción perfecta para el desarrollo de este módulo que es un sistema gráfico altamente interactivo.

En la Tabla 1.1 se muestra una comparación entre las tecnologías explicadas anteriormente.

---

<sup>14</sup> Es una adaptación de una biblioteca para ser usada en un lenguaje de programación distinto de aquél en el que ha sido escrita. Ejemplos de Java bindings para OpenGL son GL4Java y LWJGL.

<sup>15</sup> Es un framework de programación que permite que un programa escrito en Java ejecutado en la máquina virtual pueda interactuar con programas escritos en otros lenguajes como C, C++ y ensamblador.

Cualidad	VRML	JOGL	Java 3D
<b>Licencia</b>	El estándar es libre no así los plugins y visores	libre	libre
<b>Multiplataforma</b>	Depende del plugins	totalmente	totalmente
<b>Tiempo real</b>	En vrml 2.0	si	si
<b>Instalación previa</b>	Instalar el plugin en el navegador	JDK instalado y los paquetes de enlace correspondientes	JDK instalado y los paquetes de Java 3D
<b>Interactividad</b>	Limitada por el plugins	Avanzada	Avanzada
<b>Programación de applets</b>		si	si

Tabla 1.1 Comparación entre tecnologías que permiten a los navegadores mostrar contenido 3D.

### 1.3.5.3 Framework JCAD

Una de las grandes dificultades tecnológicas que surgió en la concepción del módulo fue cómo lograr incrustar una aplicación gráfica en la web y que la misma fuera funcional según la arquitectura concebida. Además esta debía ser común para todos los módulos del proyecto.

En este aspecto se tuvieron en cuenta los frameworks orientados a objetos, que posibilitan incrementar la productividad y la calidad en el desarrollo de aplicaciones pertenecientes a un dominio predeterminado. Este tipo de frameworks está formado por un núcleo donde se encuentra la lógica no modificable.

Los puntos calientes son la parte modificable del framework, y representan las clases o métodos abstractos que debe implementar o poner en ejecución la aplicación.

Una de las principales características de los framework es que no pierden nunca el control de la aplicación que ha extendido sus propiedades.

Generalmente los sistemas CAD poseen una serie de cualidades comunes que hacen que buena parte de ellos pueda ser reutilizado. Por lo que se diseñó un framework que persigue facilitarle a los desarrolladores de aplicaciones CAD un marco que le posibilite abstraerse de tareas corrientes y pesadas en el desarrollo de aplicaciones gráficas como son la gestión de vistas y la manipulación del modelo ubicados en el núcleo del framework, concentrándose en especificar las entidades gráficas que intervienen y la lógica de la funcionalidad gráfica instanciando los puntos calientes en una arquitectura eficiente a tono con las más modernas prácticas del diseño de software.

Las principales características de este framework son:

- Renderizado acelerado por hardware vía OpenGL (JOGL).
- Arquitectura muy sencilla con poco costo de aprendizaje.
- Renderizado en una hebra de ejecución independiente de la interfaz y de otros procesos.
- Multiplataforma.
- Computacionalmente ligero, adecuado para aplicaciones distribuidas y de fácil distribución.
- Arquitectura versátil para ser insertada en aplicaciones web dinámicas e intercambiar parámetros con ella o con una base de datos remota.
- Arquitectura basada en patrones.
- Modelo de entidades geométricas de fácil extensión.
- Gestión avanzada de la vista.

- Modelo avanzado de selección e interacción apoyado en el hardware gráfico.

### 1.3.6 Sistema Gestor de Base de Datos (SGBD)

La necesidad de la representación y la manipulación computacional de grandes volúmenes de información, así como su presentación y tratamiento para el apoyo a la toma de decisiones, dio paso al surgimiento de las bases de datos (BD) siendo definida como “*una serie de datos organizados y relacionados entre sí, y un conjunto de programas que permitan a los usuarios acceder y modificar esos datos.*” (Burbano, 2006)

Los Sistemas de Gestión de Base de Datos (SGBD) surgen como un tipo de software muy específico, dedicado a servir de interfaz entre la base de datos, el usuario y las aplicaciones que la utilizan.

En el desarrollo del módulo para la definición espacial de redes hidráulicas se utilizan las bondades que brindan estos sistemas, como son la definición y el control centralizado de los datos, los mecanismos de seguridad e integridad, y el control de la concurrencia (García, 2003), y se aprovecha la forma eficiente que tienen para realizar copias de respaldo de la información y así restaurar estas ante una pérdida.

Entre los SGBD más utilizados mundialmente, con *licencia libre* se encuentran: PostgreSQL, MySQL y Apache Derby, entre los que poseen *licencia comercial* están: Interbase, Microsoft Access, Microsoft SQL Server y Oracle.

Para seleccionar el SGBD más adecuado para el desarrollo de la solución propuesta se realizó un estudio de aquellos que cumplieran la condición de ser de licencia libre dado el pedido del cliente y finalmente se decidió el empleo del gestor PostgreSQL por las características y ventajas que posee, las cuales se muestran a continuación.

#### PostgreSQL

PostgreSQL es un Sistema de Gestión de Bases de Datos Objeto-Relacionales (ORDBMS), publicado bajo la licencia BSD <sup>16</sup> (Berkeley Software Distribution, por sus siglas en inglés). A sus espaldas, este proyecto lleva más de una década de desarrollo, siendo hoy en día

---

<sup>16</sup> Esta licencia tiene menos restricciones en comparación con otras como la GPL estando muy cercana al dominio público. La licencia BSD al contrario que la GPL permite el uso del código fuente en software no libre.

considerado como el sistema de bases de datos de código abierto más avanzado del mundo. (PostgreSQLGlobalDevelopmentGroup, 2005)

PostgreSQL posee una serie de características que hacen de él uno de los SDBD más populares (Matthew y Stones, 2005) y justifican ampliamente su elección para el módulo de definición espacial de redes hidráulicas, entre ellas se destacan las siguientes(Lockhart, 1996):

1. Incorpora la llamada MVCC (Multi-Version Concurrency Control, por sus siglas en inglés) se usa para evitar bloqueos innecesarios, es decir que mientras un proceso escribe en una tabla, otros accedan a la misma tabla sin necesidad de bloqueos.
2. Es altamente extensible, soporta operadores, funciones, métodos de acceso y tipos de datos definidos por el usuario.
3. Soporta integridad referencial, la cual es utilizada para garantizar la validez de los datos de la base de datos.
4. Tiene soporte para lenguajes procedurales internos, incluyendo un lenguaje nativo denominado PL/pgSQL, para la creación de los procedimientos almacenados y disparadores (triggers). (Andrade, 2002)
5. Utiliza una arquitectura proceso-por-usuario cliente/servidor. Hay un proceso maestro que se ramifica para proporcionar conexiones adicionales para cada cliente que intente conectar a PostgreSQL.
6. La característica de PostgreSQL conocida como Write Ahead Logging (WAL, por sus siglas en inglés) garantiza que en el hipotético caso de que la base de datos se caiga, existirá un registro de las transacciones a partir del cual podremos restaurar la base de datos.

### **1.3.7 Fundamentación de la metodología de desarrollo utilizada**

La correcta elección de una metodología de desarrollo de software determina en gran parte, el éxito del mismo. Por lo que se ha convertido en todo un reto el seleccionar una

metodología que responda a las necesidades de la organización y las características específicas del proyecto a desarrollar.

Existen varias propuestas metodológicas que inciden en distintas dimensiones del proceso de desarrollo, por una parte están aquellas más tradicionales que se centran en el control del proceso, la documentación exhaustiva y la planificación, y por otra parte están las que tienen en cuenta la capacidad de respuesta a los cambios, la confianza en las habilidades del equipo de desarrollo y el mantener una buena relación con el cliente, conocidas como metodologías ágiles. (Solís et al., 2001 ; Orjuela y Rojas, 2008)

En el desarrollo del módulo para la definición espacial de redes hidráulicas se analizaron ambas variantes, realizando un estudio de las diferentes metodologías que pudieran guiar el proceso, sin embargo considerando las características principales de este módulo, se seleccionó la segunda opción, es decir, las metodologías ágiles, debido a que los requisitos del cliente tienden a ser cambiantes, se necesita que el software se desarrolle rápidamente pero con una buena calidad y se cuenta con un equipo de desarrollo de cierta experiencia.

Entre las metodologías estudiadas en la presente investigación se encuentran las ya tan conocidas RUP (Rational Unified Process, por sus siglas en inglés), XP (eXtreme Programming, por sus siglas en inglés), y ICONIX, siendo esta última la seleccionada para desarrollar el módulo propuesto.

### 1.3.7.1 ICONIX

Se plantea que ICONIX está entre la complejidad de RUP y la simplicidad y pragmatismo de XP (Brito, 2009), pero no descarta las fases del análisis y el diseño como lo hace XP y maneja casos de uso, al igual que RUP. Utiliza UML en sus etapas, de modo que se pueden seguir los requerimientos y adaptarse a nuevos cambios. ICONIX mantiene una atención sostenida en la rastreabilidad de los requerimientos. Sus principales características son (Rosenberg et al., 2005):

- ❖ **Iterativo e incremental:** varias iteraciones ocurren entre el desarrollo del modelo del dominio y la identificación de los casos de uso. El modelo estático es incrementalmente refinado por los modelos dinámicos.

- ❖ **Trazabilidad:** cada paso está referenciado por algún requisito. Se define trazabilidad como la capacidad de seguir una relación entre los diferentes “artefactos de software” producidos.
  
- ❖ **Dinámica de UML:** La metodología ofrece un uso “dinámico” del UML porque utiliza algunos diagramas del UML, sin exigir la utilización de todos, como en el caso de RUP.

Las fases que establece ICONIX para el desarrollo de un software son (Rosenberg y Stephens, 2007):

#### 1. Requerimientos

- Requerimientos funcionales.
- Modelado del dominio.
- Requerimientos de comportamiento.
- Revisión de requerimientos.

#### 2. Análisis y diseño preliminar

- Análisis de robustez.
- Actualización del modelo del dominio mientras se escriben los casos de uso y se dibuja el diagrama de robustez.
- Nombrar todas las funciones lógicas de software (controladores) necesarias para que los casos de uso funcionen.
- Reescribir el borrador de los casos de uso.

#### 3. Revisión del Diseño Preliminar (PDR)

#### 4. Diseño detallado.

- Diagrama de secuencia.
- Actualización del modelo del dominio mientras se dibuja el diagrama de secuencia.
- Limpiar el Modelo estático.

#### 5. Revisión crítica del diseño (CDR)

## 6. Implementación

- Código y unidad de prueba.
- Integración y escenario de prueba.
- Realizar una revisión de código y actualización del modelo para prepararse para la próxima ronda (iteración) de trabajo de desarrollo.

En el desarrollo de la modelación del módulo para la definición espacial de redes hidráulicas se empleó la herramienta **Enterprise Architect** v7.1 de la compañía *Sparx Systems*. EA es una herramienta propietaria de modelación basada en UML 2.1 que cubre todos los aspectos del ciclo de desarrollo de software, desde la captura de requerimientos, pasando por el análisis, diseño, hasta la implementación.

## 1.4 Conclusiones

- En la concepción del Módulo para la definición espacial de redes hidráulicas se requiere la inclusión de un grupo de funcionalidades novedosas con respecto al proceso tradicional de representación gráfica de los elementos que conforman una red hidráulica.
- Los softwares de análisis de redes utilizados actualmente resuelven innumerables problemas, pero no con la adecuación a los requerimientos de la EIPH Raudal, que tienen especificaciones más concretas para la actividad de definición espacial de redes hidráulicas.
- La concepción del módulo propuesto como un Applet Java y la utilización del framework Spring, en el contexto de una arquitectura Cliente/Servidor proporcionan un esquema de despliegue ideal para cubrir los requerimientos que demanda el proyecto que se acomete, considerando que el mismo tributa a un Sistema CAD distribuido, y de esta forma se logra un mayor rendimiento, integridad y fiabilidad de los datos.
- La utilización de OpenGL para el trazado y manejo avanzado de entidades gráficas, así como el JOGL facilitan la realización de aplicaciones gráficas con características de alto grado de interacción como las que posee este módulo.
- El empleo de un SGBD como el PostgreSQL garantiza el control centralizado de los datos, los mecanismos de seguridad e integridad, y el control de la concurrencia que requiere el módulo propuesto.
- La elección de ICONIX como metodología de desarrollo de software resulta ideal en un proyecto con requisitos cambiantes, con tiempo limitado de realización y con una alta calidad, como es el caso de este módulo.

## Capítulo 2. Descripción y Construcción de la solución propuesta

En este capítulo a través de los artefactos que propone la metodología ICONIX se modela y construye la aplicación propuesta. Tomando como guía las fases y pasos que plantea ICONIX, se determinan los requerimientos funcionales, y a partir de ellos se elabora el modelo del dominio, se modelan los casos de uso y sus correspondientes diagramas de robustez. Se establece además, la arquitectura que tendrá la aplicación y se construyen los diagramas de secuencia que dan paso finalmente a la implementación y prueba del módulo propuesto.

### 2.1 Modelo del Dominio

El modelo del dominio captura los tipos de objetos y conceptos fundamentales relacionados con el problema que el sistema pretende resolver, estos objetos representan cosas o eventos que ocurren en el entorno en el que trabaja el sistema. Muchos de estos objetos del dominio o clases se obtienen a partir de la especificación de los requerimientos. (Jacobson et al., 2000)

En el proceso de ICONIX, el modelo del dominio constituye una parte esencial, pues es refinado y actualizado durante todo el proyecto, de esta forma siempre refleja la comprensión actual del ámbito del problema (Rosenberg y Stephens, 2007).

El modelo del dominio es esencialmente un glosario o diccionario de términos empleados en el proyecto, incluso más, pues muestra gráficamente cómo se relacionan estos términos entre sí. Para elaborar este modelo, ICONIX propone una serie de actividades, como son (Rosenberg, Stephens, 2005 ; Rosenberg y Stephens, 2007):

#### I. Listar los requerimientos funcionales:

La determinación de las necesidades del cliente constituye una compleja labor para los desarrolladores, por lo que la captura de los requisitos funcionales es una parte fundamental de todo proceso de desarrollo de software. Los requerimientos funcionales definen las funciones que el sistema será capaz de realizar, sin tomar en consideración ningún tipo de restricción física.(Jacobson, Booch, 2000 ; Rosenberg y Stephens, 2007)

Para el desarrollo del módulo propuesto en la presente investigación, se aprovechó una de las principales ventajas de ICONIX, o sea, su flexibilidad y adaptabilidad ante requisitos cambiantes. A continuación se muestran los requerimientos funcionales de este módulo:

### Requerimientos funcionales

1. El módulo estará basado inicialmente en una aplicación en forma de Applet, pero su arquitectura será lo suficientemente flexible como para que se le puedan incorporar componentes.
2. Los nodos, depósitos, embalses, bombas y válvulas estarán representados por un punto, el cual tendrá las siguientes propiedades: coordenadas x, coordenadas y, descripción, etiqueta y un código o id.
3. El módulo será capaz de gestionar la información relacionada con los nodos.
  - a) Para crear un nodo el dibujante de la red tendrá que definir las propiedades específicas de este como son: cota de terreno, recubrimiento, coeficiente del emisor y otras características que ya aparecerán preestablecidas como son: cota corona, cota eje, cota piezométrica, calidad y presión. Además de las otras propiedades generales que posee el nodo al ser un punto.
  - b) El dibujante tendrá a su disposición una lista de nodos ya existentes, de los cuales podrá modificar sus propiedades así como eliminarlos.
4. El módulo permitirá la gestión de la información referida a los embalses.
  - a) Para definir un embalse el dibujante deberá especificar las propiedades específicas correspondientes al mismo como son: código, descripción, coordenadas x, y, etiqueta, altura total, curva de modulación, calidad inicial e intensidad de la fuente, así como las otras propiedades generales que posee el embalse al ser un punto.
  - b) El dibujante tendrá a su disposición una lista de embalses ya existentes, de los cuales podrá modificar sus propiedades y eliminarlos.
5. El módulo será capaz de brindar la posibilidad de gestionar la información referente a los depósitos.

- a) Para crear un depósito el dibujante tendrá que especificar las propiedades correspondientes al mismo como son: cota de fondo, cota solera, diámetro, nivel del agua inicial, mínimo y máximo, calidad inicial del agua, altura piezométrica. Se le añaden las otras propiedades generales que posee el depósito al ser un punto.
  - b) El dibujante visualizará una lista de depósitos ya existentes, de los cuales podrá modificar sus propiedades así como eliminarlos.
6. El módulo será capaz de gestionar la información relacionada con las tuberías, las cuales van de un nodo inicial a un nodo final.
- a) Para insertar una tubería el dibujante tendrá que especificar las propiedades correspondientes a la misma como son: tipo de material, diámetro interior, exterior y nominal, coeficiente, estado, caudal, pérdidas, velocidad, coeficiente de pérdidas menores, coeficiente de reacción al medio y coeficiente de reacción en la pared.
  - b) El módulo brindará una lista de las tuberías ya existentes, a partir de las cuales el dibujante podrá modificar sus propiedades y eliminar tuberías.
7. Los tramos de tuberías estarán compuestos por distintos puntos que serán llamados inflexiones.
8. El módulo permitirá la gestión de la información referente a las válvulas.
- a) Para insertar una válvula, el dibujante tendrá que especificar sobre una tubería un punto (en caso de modificar la trayectoria de la tubería, debe la válvula adaptarse al cambio) las propiedades correspondientes como son: consigna, tipo de válvula, estado, coeficiente, etc. También el resto de propiedades generales que posee la válvula al ser un punto.
  - b) A partir de una lista de válvulas ya existentes, el dibujante podrá modificar sus propiedades así como eliminar válvulas.
9. El módulo permitirá la gestión de la información referente a las bombas.

- c) Para insertar una bomba el dibujante tendrá que especificar sobre una tubería un punto (en caso de modificar la trayectoria de la tubería, debe la bomba adaptarse al cambio) las propiedades correspondientes como son: potencia nominal, velocidad relativa, caudal y altura nominal, etc. Además de las otras propiedades generales que posee la bomba al ser un punto.
  - d) El módulo permitirá la visualización de una lista de bombas ya existentes a partir de las cuales el dibujante podrá modificar sus propiedades así como eliminar bombas.
- 10.El módulo brindará la opción al usuario de cargar un plano DXF, una topográfica (malla triangular) o la imagen satelital correspondiente al proyecto que ha sido asignado, teniendo alguna de estas opciones como fondo para realizar el trazado de los elementos de la red.
- 11.El módulo posibilitará al Dibujante cargar y guardar una red asociada al proyecto en el que esté trabajando.
- 12.El módulo permitirá que se calcule automáticamente la coordenada z de los odos, embalses y depósitos en función de la malla triangular.
13. El módulo posibilitará que se determine automáticamente la longitud de las tuberías a partir de la malla triangular.
- 14.El módulo permitirá importar ficheros inp.
- II. Definición de los conceptos principales del modelo del dominio del problema:

Dibujante: Es el encargado de dibujar la red hidráulica así como de definir las propiedades de cada uno de los elementos que componen esa red.

Proyecto: Es el producto final de las EIPH, el cual describe a través de Memoria descriptiva y documentación gráfica cómo construir una obra hidráulica.

Malla triangular: Las mallas triangulares consisten en un conjunto de puntos con coordenadas 3D, que representan una superficie, y una estructura que describe cómo estos puntos son conectados en triángulos.(Sánchez et al., 2004)

Base Topográfica: es una información de ayuda visual al diseñador que permite la ubicación de los elementos que componen la red. Debe estar georeferenciada y a una escala acorde con los requerimientos del módulo informático para que exista una equivalencia en las unidades de medida. Esta información puede ser dada como vectorial (ficheros.dxf) o Raster (Imagen Satelital).

Inflexiones: Pueden ser de dos tipos: en el plano o en el perfil. Describen un cambio de ángulo según la trayectoria.

Nodos, Embalses, Depósitos, Red, Tuberías, Válvulas y Bombas: Fueron definidos en el capítulo anterior en el Epígrafe 1.2

**Tabla 2.1** Definición de conceptos del Modelo del Dominio

### III. Elaborar Modelo del Dominio:

A partir de la lista de requerimientos elaborada en forma de párrafos, se tomaron todos los términos (sustantivos y frases sustantivas) subrayados y se elaboró una lista ordenada alfabéticamente, eliminando los elementos repetidos, para de esta manera determinar los principales objetos que componen el modelo del dominio (Ver Figura 2.1).

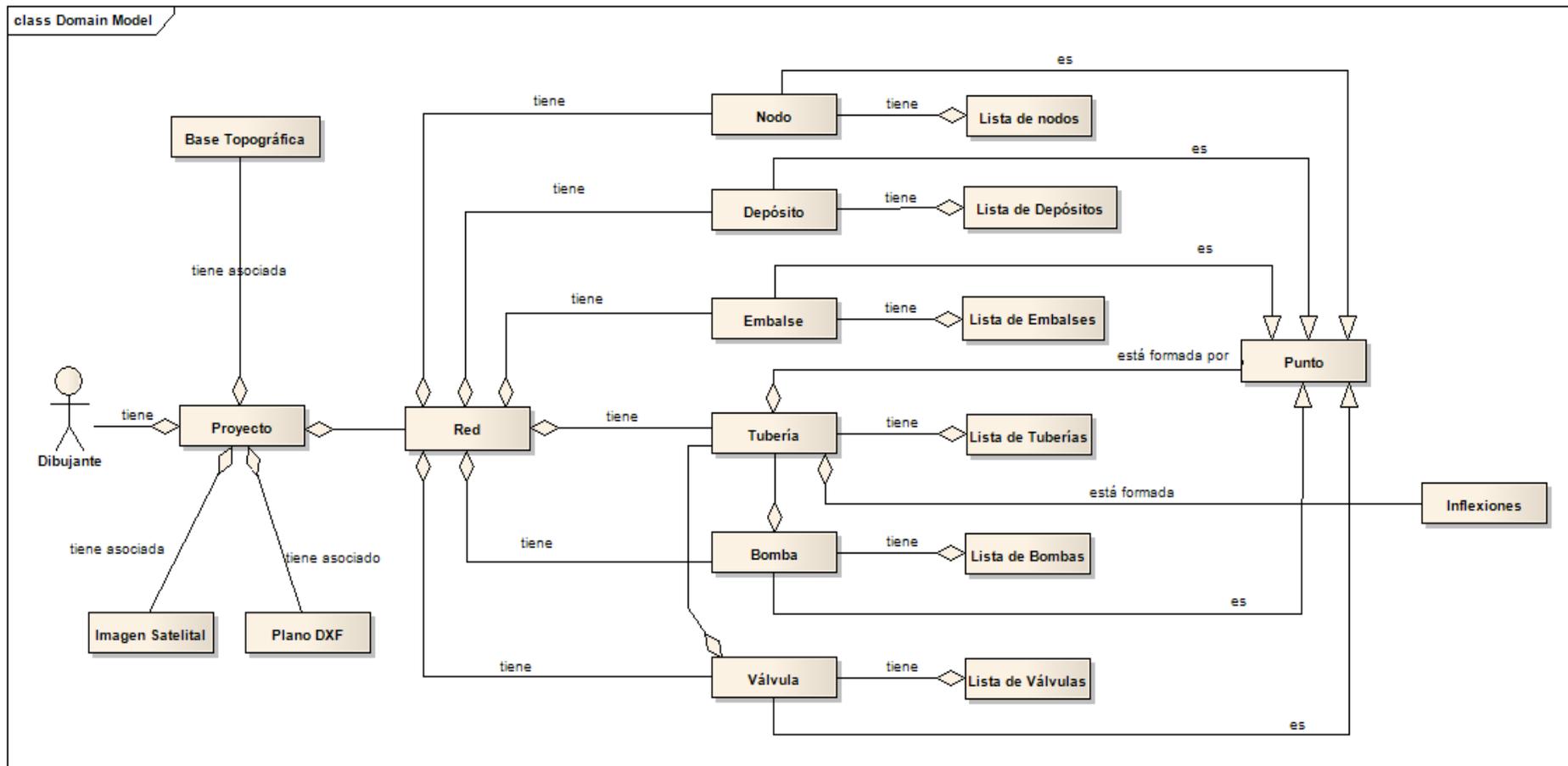


Figura 2.1 Modelo del Dominio

## **2.2 Análisis y Diseño Preliminar**

El objetivo de la fase de análisis es la construcción de un sistema correcto, mientras que la del diseño tiene como fin la construcción correcta de un sistema. El diseño preliminar constituye el paso intermedio entre el análisis y el diseño, y es precisamente el que posibilita que se puedan entender por completo los requerimientos, refinando y eliminando la ambigüedad de los mismos, a través del vínculo existente entre los casos de uso y los objetos del modelo del dominio (Rosenberg y Stephens, 2007).

### **2.2.1 Modelo de casos de uso del sistema**

A partir de los requisitos funcionales capturados, se desarrolla la modelación de los casos de uso, la cual comprende la identificación de los actores y los casos de uso del sistema. El conjunto de funcionalidades de este módulo se determina examinando las necesidades funcionales de cada actor.

Dentro del proceso de ICONIX, uno de los primeros pasos, involucra la construcción del modelo de casos de uso. La representación de cada caso de uso facilita especificar la secuencia de acciones que el sistema puede llevar a cabo interactuando con sus actores, incluyendo alternativas dentro de la secuencia.(Rodríguez y Torres, 2008)

Un importante aspecto de ICONIX es que un requisito se distingue explícitamente de un caso de uso, en este sentido, un caso de uso describe un comportamiento mientras que un requisito describe una regla para el comportamiento. Esta metodología asume que el modelo del dominio inicial es incorrecto y provee un mejoramiento incremental del mismo a medida que se analizan los casos de uso. (Rosenberg y Stephens, 2007)

Teniendo en cuenta que UML provee el mecanismo de agrupar los casos de uso en grupos, se organizaron en un diagrama de paquetes (Ver Documentación digital adjunta), dado su tamaño y por la relación existente entre ellos.

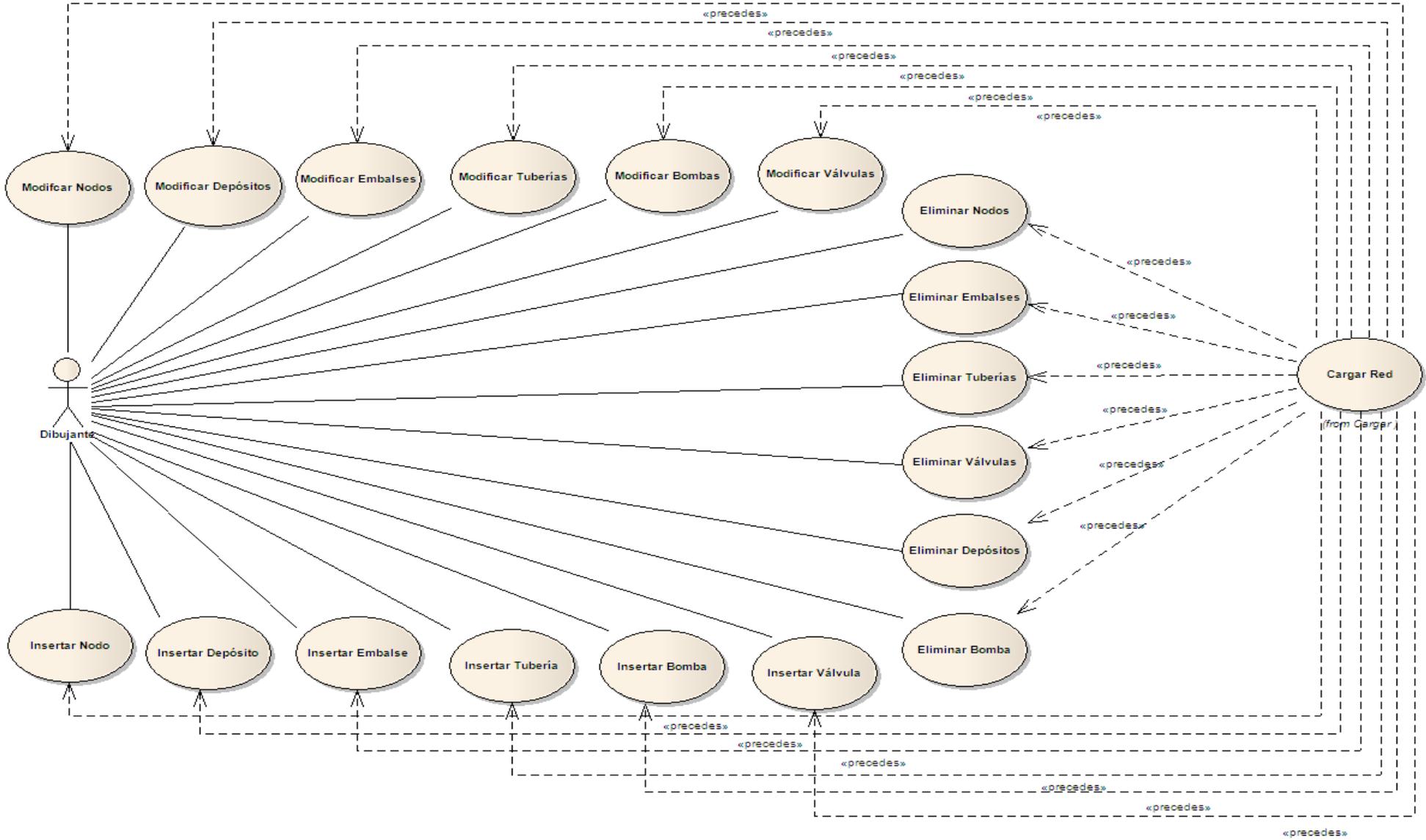


Figura. 2.2 Diagrama de casos de uso del paquete Entidades Gráficas.

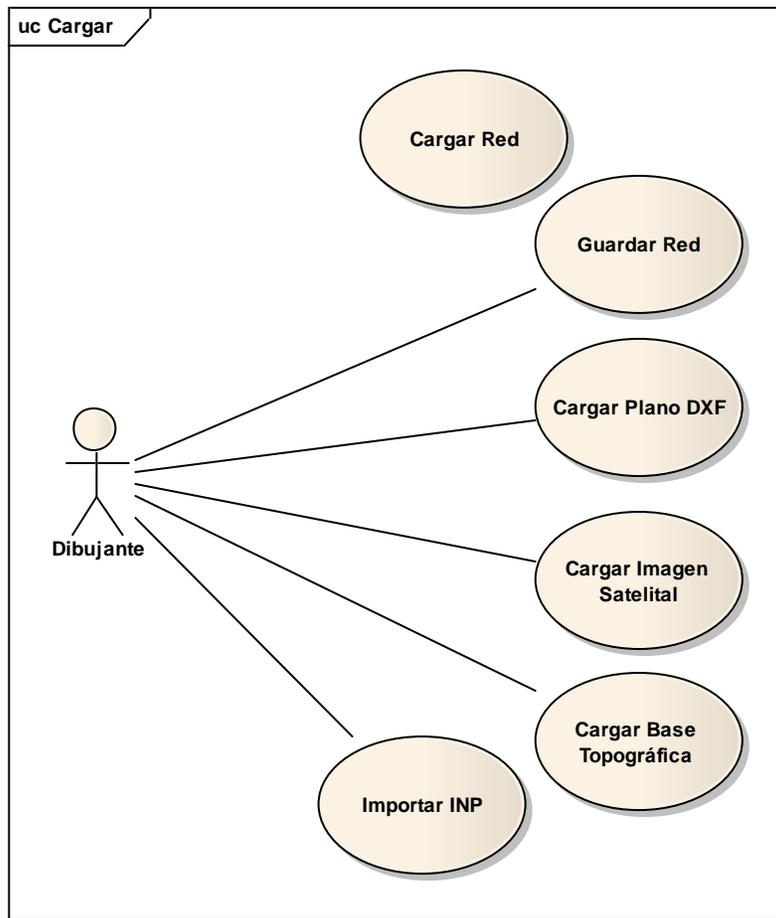


Figura. 2.3 Diagrama de casos de uso del paquete Cargar.

### 2.2.2 Descripción textual de casos de uso

Con el fin de detallar las relaciones entre los casos de usos y los actores se realizaron las descripciones textuales de los casos de uso como un flujo principal de acciones, pudiendo contener flujos básicos y alternativos. Para el desarrollo de estas descripciones se tuvo en cuenta la principal sugerencia que hace ICONIX en relación a esta actividad, que se utilice un estilo consistente y adecuado al contexto del proyecto, es decir que los casos de uso estén escritos siguiendo la regla de los dos párrafos, en voz activa, usando un flujo respuesta/evento entre el usuario y el sistema, y empleando una estructura de oración sustantivo-verbo-sustantivo.

A continuación se muestra la descripción textual de dos casos de uso, el resto aparece en el **Anexo 2** y en la **Documentación Digital Adjunta**.

Nombre del Caso de Uso	Descripción
<p style="text-align: center;"><b>Insertar Tubería</b></p>	<p><b>Curso Básico:</b> El <i>Dibujante</i> da click en el menú <i>Insertar</i> y selecciona la opción <i>Tubería</i> o acciona el botón <i>Insertar Tubería</i> de la barra de herramientas <i>Insertar Entidades</i>, el <i>Dibujante</i> posiciona el puntero del ratón sobre una entidad visualizada en el <i>Espacio de Modelado</i>, el sistema verifica si el <i>Dibujante</i> está sobre alguna entidad de tipo <i>Nodo</i>, <i>Depósito</i> o <i>Embalse</i>, si es así, el sistema activa el modo de espera de inserción de una <i>Tubería</i>, el <i>Dibujante</i> da click sobre una entidad inicial y consecutivamente da click en diferentes posiciones (<i>inflexiones</i>) del <i>Espacio de Modelado</i> hasta dar click sobre una segunda entidad, y el sistema dibuja la <i>Tubería</i> entre las dos entidades teniendo en cuenta las coordenadas de las diferentes posiciones (<i>inflexiones</i>) del <i>Espacio de Modelado</i>.</p> <p><b>Curso Alternativo:</b> Verificación de entidad <i>Nodo</i>, <i>Depósito</i> o <i>Embalse</i> incorrecta: El <i>Dibujante</i> da click sobre una entidad que no es de tipo <i>Nodo</i>, <i>Depósito</i> o <i>Embalse</i> o en una región del <i>Espacio de Modelado</i> que no contenga una entidad gráfica y el sistema no dibuja la <i>Tubería</i>.</p> <p>Cancelar: El <i>Dibujante</i> da click sobre una entidad inicial y si posteriormente pulsa la tecla <i>Escape</i>, el sistema elimina del <i>Espacio de Modelado</i> la tubería que había dibujado hasta el momento.</p>
	<p><b>Curso Básico:</b> Para eliminar una <i>Bomba</i> el</p>

<p style="text-align: center;"><b>Eliminar Bomba</b></p>	<p><i>Dibujante</i> da click en el botón <i>Ver Propiedades</i> de la barra de herramientas <i>Gestión de la Vista</i> o escoge la opción <i>Ver Propiedades</i> del menú <i>Editar</i>, el sistema activa el modo de selección de una entidad, el <i>Dibujante</i> da click en la <i>Bomba</i> que desea remover y el sistema muestra sus propiedades, el <i>Dibujante</i> presiona el botón <i>Eliminar</i> o escoge la opción <i>Eliminar</i> del menú <i>Editar</i>, el sistema comprueba que se ha seleccionado una entidad y muestra un mensaje de verificación para comprobar si realmente el <i>Dibujante</i> desea eliminar la <i>Bomba</i> seleccionada, en caso afirmativo el sistema elimina del <i>Espacio de Modelado</i> la <i>Bomba</i>.</p> <p><b>Curso Alternativo:</b> Verificación de eliminación de <i>Bomba</i> rechazada: El <i>Dibujante</i> presiona el botón <i>No</i> de la ventana <i>Eliminar Entidad</i>, el sistema oculta la ventana <i>Eliminar Entidad</i> y no elimina la <i>Bomba</i> seleccionada.</p> <p>Verificación de selección incorrecta: El sistema verifica que no ha sido seleccionada ninguna entidad y cancela la operación.</p>
--	--

**Tabla 2.2** Descripción de casos de uso.

### 2.2.3 Análisis de Robustez

Tomando en cuenta el procedimiento de la metodología ICONIX, el siguiente paso luego de que se han modelado y descrito los casos de uso, es el análisis de robustez, que permite identificar los objetos que participarán en cada caso de uso.

Esto es un elemento crucial ya que generalmente se olvidan algunos objetos durante el modelado del dominio; y de esta forma se pueden identificar antes de que cause

problemas serios, además sirve para identificar más y mejores clases, antes del desarrollo del diagrama de secuencia.

Las interacciones entre los objetos participantes de un caso de uso se ilustran gráficamente a través del diagrama de robustez, que permite analizar el texto narrativo de cada caso de uso e identificar un conjunto inicial de objetos involucrados en cada uno de ellos. (Rosenberg y Stephens, 2007)

A cada caso de uso le corresponde un diagrama de robustez (**Ver Anexo 3 y Documentación Digital Adjunta**). A continuación se muestra un diagrama de robustez del módulo para la definición espacial de redes hidráulicas. (Ver Figura 2.4)

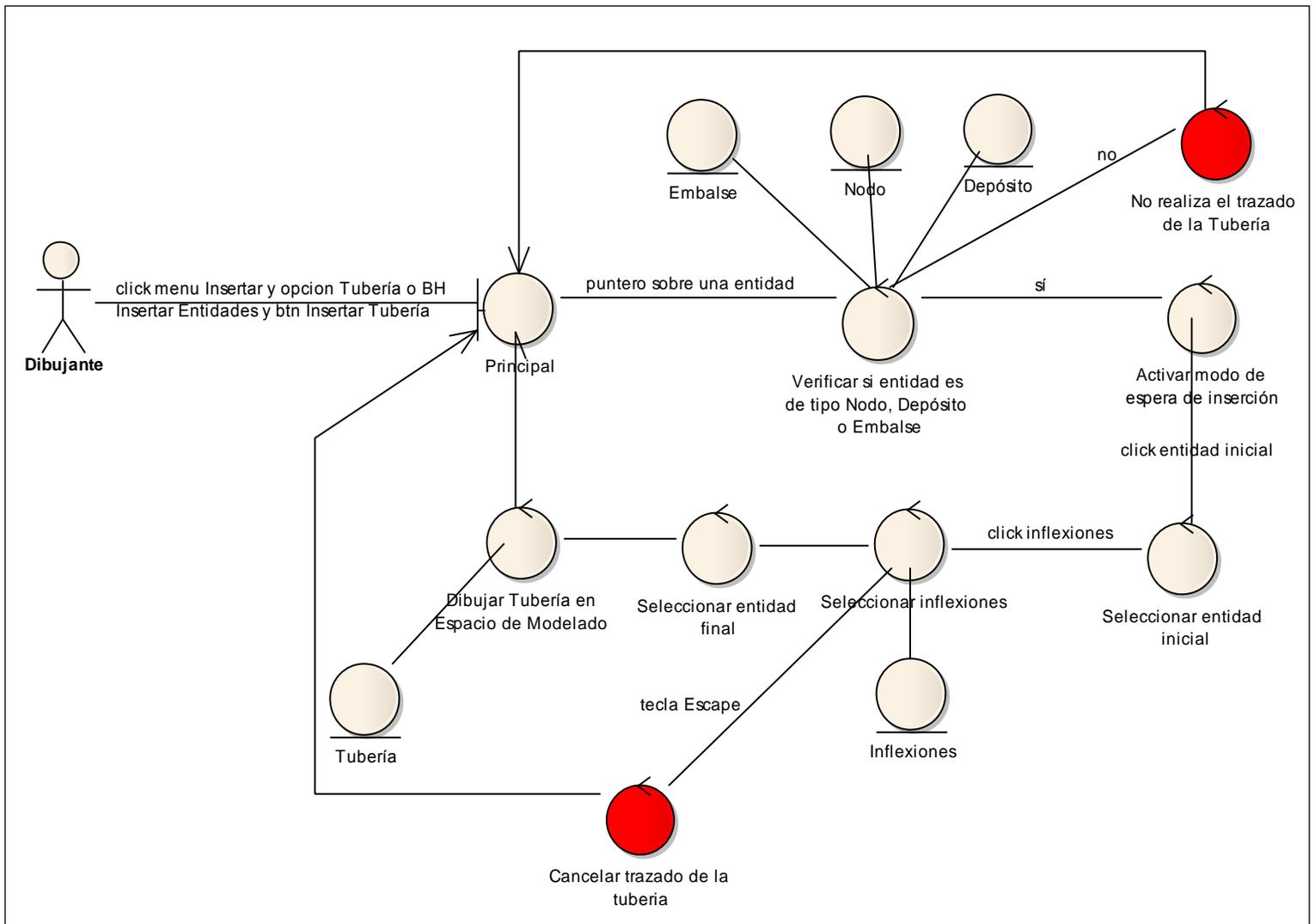


Figura. 2.4 Diagrama de Robustez del caso de uso Insertar Tubería

## **2.3 Arquitectura Técnica**

La arquitectura técnica (Technical Architecture, por sus siglas en inglés) define un conjunto de decisiones básicas que se necesitan tomar, en cuanto a las tecnologías utilizadas en el desarrollo del módulo para la definición espacial de redes hidráulicas (Rosenberg y Scott, 2001).

Se conoce también como arquitectura del sistema y arquitectura del software, y se realiza con el objetivo de satisfacer los requerimientos del negocio, incluye aspectos como la topología del sistema que se está desarrollando, o sea, localización física en la red, la elección del servidor de aplicación, etc. (Rosenberg y Stephens, 2007)

### **2.3.1 Requerimientos No Funcionales**

Los Requerimientos No Funcionales juegan un papel fundamental en esta fase del proceso ICONIX pues se deben ajustar a la arquitectura técnica que adopta el módulo.

Los requerimientos no funcionales son propiedades o cualidades que el producto debe poseer, pues describen atributos del sistema o del ambiente, y explican las características que de una u otra forma puedan limitar el sistema. Se precisan teniendo en cuenta la aceptación de los usuarios finales, así como el buen funcionamiento, la flexibilidad y escalabilidad que proporciona este. (Jacobson, 2000 ; Rodríguez y Torres, 2008)

Los requerimientos no funcionales definidos para el módulo propuesto en la presente investigación son:

❖ *Apariencia o Interfaz externa.*

- El módulo debe ser fácil de manipular, respetando la filosofía acostumbrada por los usuarios en la utilización de sistemas computacionales destinados a esta actividad, a pesar de ello el módulo está concebido para desarrollar un mejor desempeño en el análisis de redes hidráulicas.
- Ambiente gráfico basado en el diseño profesional, encaminado a simular el entorno de trabajo del cliente, con el fin de que se sienta cómodo e identificado

con la aplicación a través de simbología acorde con la actividad además de la personalización de las acciones a desempeñar por los proyectistas.

❖ *Usabilidad*

- Por ser un Applet el cual forma parte de una aplicación Web, el proyectista podrá desempeñar su rol en el proyecto a través de cualquier computador conectado a la red de la EIPH Holguín “Raudal”.
- El módulo debe ser lo más ligero posible para acelerar el tiempo de conexión al mismo.

❖ *Rendimiento*

- El módulo debe tener una alta velocidad de procesamiento y cálculo de los resultados ingenieriles, así como mostrar información gráfica de manera inmediata y debe garantizar la precisión requerida para los cálculos.

❖ *Portabilidad*

- Las herramientas utilizadas para el desarrollo del módulo son multiplataforma, lo cual implica que el módulo también posea esta característica.

❖ *Seguridad*

- Alta confidencialidad: Dado que se manejan datos sumamente importantes en cuanto a los recursos hidráulicos del país, el módulo estará protegido contra la divulgación o acceso público.
- Integridad aceptable: Los datos estarán protegidos contra la corrupción y redundancia.
- Identificar el usuario antes de ejecutar cualquier acción y verificar que tiene permiso para llevarla a cabo.

❖ *Integridad de los datos*

- El módulo debe facilitar la validación de la información. Esto se puede lograr a través de información gráfica y de texto.

❖ *Facilidad de Mantenimiento*

- Debe dar facilidad de mantenimiento una vez implantado para viabilizar un perfeccionamiento continuo del sistema.

❖ *Ayuda y documentación en línea*

- Debe contar con un Manual de Usuario y un sistema de ayuda que le ofrezca al usuario la suficiente orientación sobre cómo interactuar con el módulo.

❖ *Software*

Se debe contar por parte de las computadoras clientes con:

- Navegador Internet Explorer v7 o superior, Mozilla FireFox v3.0 u Opera.
- Máquina Virtual de Java (JRE v1.6 o superior).
- JOGL

Por parte de los servidores se debe contar con:

- Máquina Virtual de Java (JRE v1.6 o superior).
- Aplicación Web: Sistema CAD distribuido para el diseño de redes hidráulicas de abasto.
- Servicios http implementados con el Framework Spring.
- SGBD PostgreSQL 8.4

❖ *Hardware*

Para ejecutar el software en las máquinas clientes se necesita que estas tengan:

- Microprocesador Intel Pentium III a 1 GHz de velocidad de procesamiento, con 256 MB de memoria RAM, memoria de video on board de 128 MB y un adaptador de red.

Para ejecutar el software en los servidores se necesita que cuenten con:

- 2 GB de RAM o superior, con un microprocesador de 2.4 GHz de velocidad, y capacidad de almacenamiento de 100 GB.

### 2.3.2 Modelo de despliegue

En el modelo de despliegue (Ver Figura 2.5) se especifica la distribución desde el punto de vista de hardware y software que se espera tenga la implantación del sistema. Este diagrama se utilizó para describir la topología del módulo propuesto, mostrando la configuración de los computadores y dispositivos que participan en la ejecución y de los componentes que residen en ellos.

El módulo propuesto se desarrolló en forma de applet Java y está embebido en las páginas web que forman parte del Sistema CAD distribuido al cual este módulo tributa. El applet Java contiene un visor 3D en el cual el usuario dibuja la red. Una vez que el applet Java se descarga y ejecuta en el navegador web, el acceso a los datos que se encuentran en la BD del sistema se realizan mediante servicios que publica el Sistema CAD distribuido haciendo uso del framework Spring.

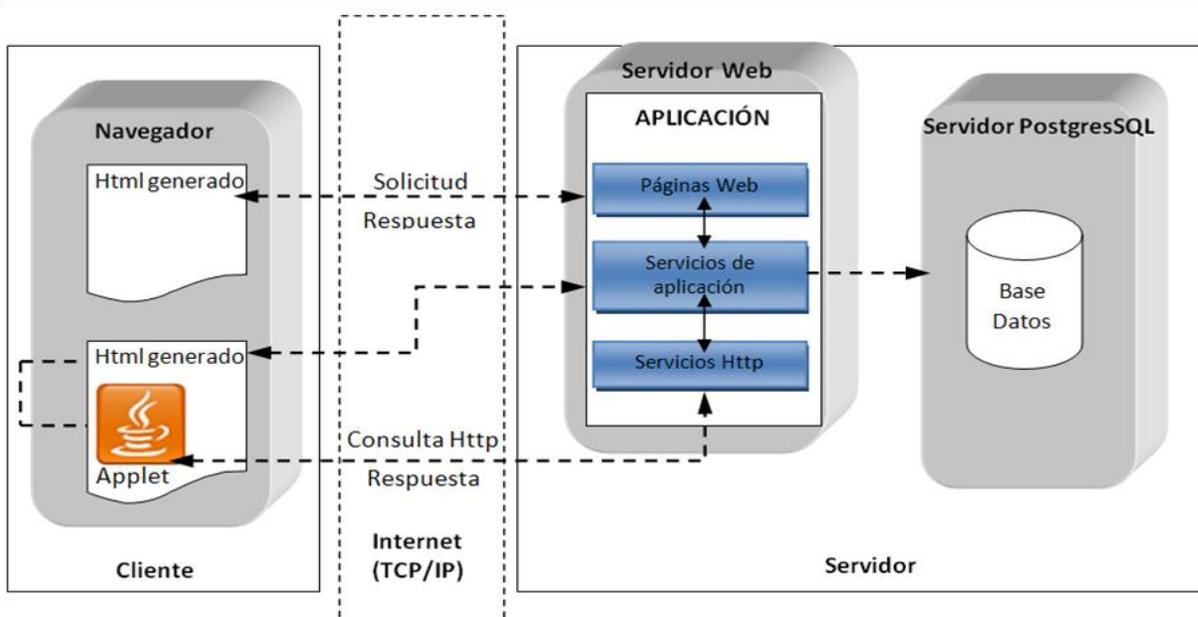


Figura.2.5 Diagrama de despliegue

## **2.4 Diseño Detallado**

Como se explicaba en epígrafes anteriores, el diseño enmarca la construcción adecuada de un sistema, o sea que le da forma mientras intenta preservar la estructura definida por la fase de análisis (Jacobson, 2000).

Al contrario del diseño preliminar que estaba dirigido a descubrir clases y objetos, el diseño detallado tiene como objetivo asignar funciones a esas clases que fueron detectadas. Con el diseño preliminar se hacían suposiciones sobre como interactuarían las clases entre ellas, ahora en el diseño detallado se precisan estas afirmaciones teniendo en cuenta la arquitectura técnica definida. (Rosenberg y Stephens, 2007)

### **2.4.1 Diagrama de Secuencia**

A pesar de que a partir de los diagramas de casos de uso y de los diagramas de robustez se definen gran parte de los atributos de las clases identificados, no es hasta el diagrama de secuencia donde se empiezan a ver que métodos llevarán las clases del sistema que se desarrolla, así como las interacciones entre objetos durante el tiempo de vida del caso de uso.

A cada diagrama de robustez le corresponde uno de secuencia (**Ver Anexo 4 y Documentación Digital Adjunta**), a continuación se muestra un diagrama de secuencia del módulo para la definición espacial de redes hidráulicas. (Ver Figura 2.6)

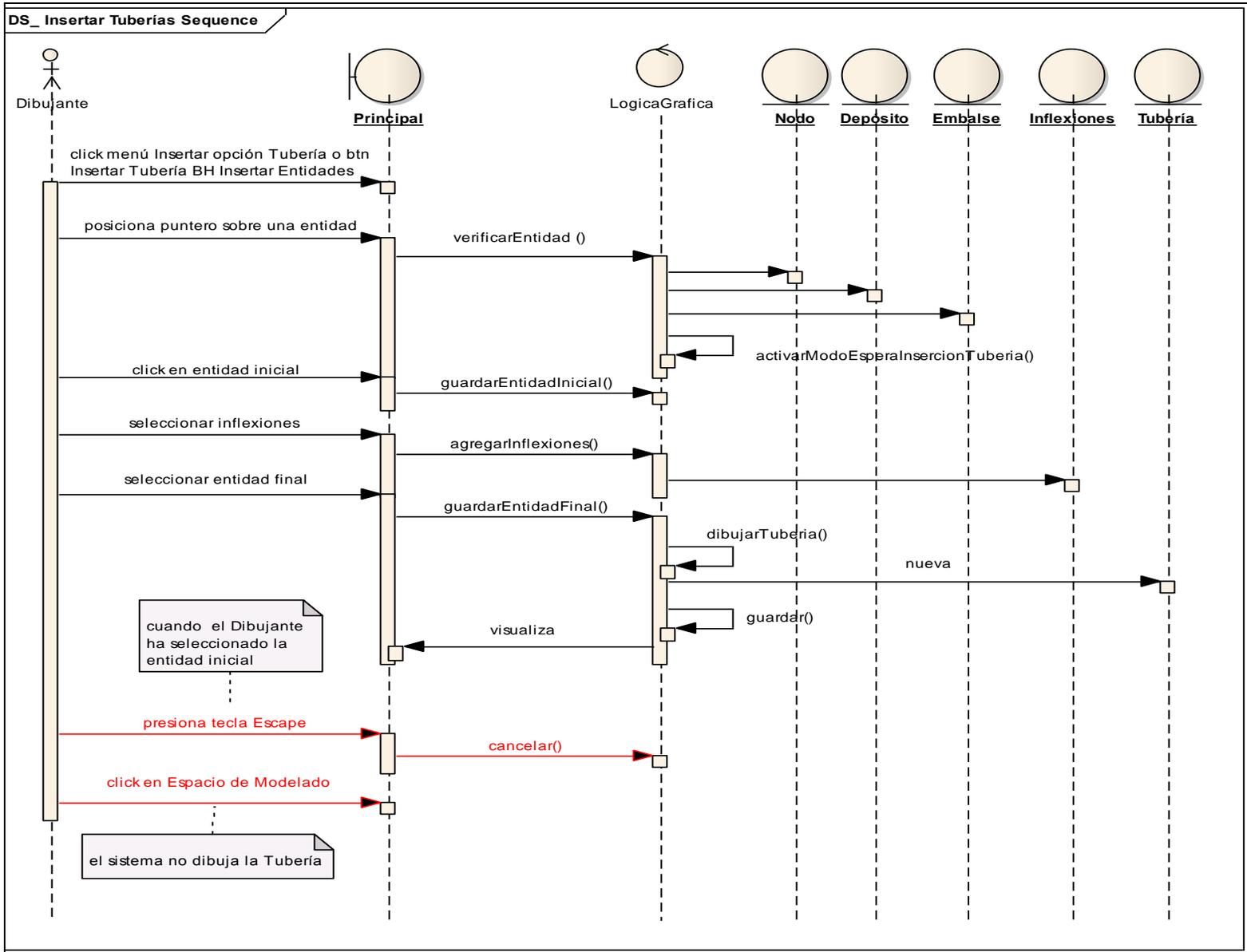


Figura.2.6 Diagrama de secuencia del caso de uso Insertar Tubería

### 2.4.2 Diagrama de clases

A partir de la evolución que ha ido sufriendo el modelo de dominio a lo largo de las fases anteriores se construye el diagrama de clases, el cual “es una colección estática de los elementos declaratorios del modelo, como clases, tipos y sus relaciones, conectados unos a otros y a sus contenidos” (Rumbaugh et al., 1997)

Este artefacto permite encontrar errores en los diagramas de secuencia, métodos en clases equivocadas u otro tipo de anomalías.

En el **Anexo 5** se muestra el diagrama de clases desarrollado para el módulo propuesto en la presente investigación.

### 2.4.3 Modelo de datos

El modelo de datos define las estructuras de datos que se utilizan en el sistema y describe la estructura lógica de la información que queda almacenada en la base de datos.(Pressman, 1997)

Para determinar el modelo lógico de datos se hace necesario primero analizar cuales son las clases persistentes del módulo a desarrollar, por lo se realiza el diagrama de clases persistentes (**Anexo 6**), que modela la información que trasciende en el tiempo, incluso después de cerrada la aplicación. Las clases candidatas a convertirse en persistentes son las clases entidad determinadas en el diagrama de clases del epígrafe anterior.

Una vez precisadas las clases persistentes, se empleó el modelo de datos (Ver **Anexo 7 Anexo 7**) para definir la transformación de las clases persistentes en las estructuras de datos utilizadas en la aplicación.

## 2.5 Implementación

Una vez concluido el diseño detallado del módulo propuesto, a través de los diagramas de secuencia de cada caso de uso, se está en condiciones de traducir todo este diseño a código fuente. Esta fase posibilita definir la organización y estructura del código, e implementar las clases que se identificaron durante el diseño.

### 2.5.1 Estándar de codificación

En la implementación del módulo se tuvo en cuenta uno de los factores fundamentales que le proporciona calidad a un software, la facilidad de mantenimiento, el cual puede resultar realmente complejo y costoso. La comprensión del código constituye un aspecto esencial para el correcto mantenimiento del sistema, pues si dicho código está poco documentado y se desarrolló sin seguir un estándar entonces esto implica un aumento de la complejidad y tiempo del mantenimiento.(Solórzano, 2007)

Teniendo en cuenta lo antes explicado se establecieron estándares de codificación que aseguran la legibilidad del código, tanto para los programadores como los futuros responsables del mantenimiento del módulo propuesto.(Reyes, 2009)

### *Ficheros*

- Cada fichero fuente debe contener sólo una clase o interfaz.
- Todos los ficheros fuentes deben comenzar con un comentario que recoja el nombre de la clase, la versión, el día de modificación, y quién lo programó. Seguido se debe poner el paquete al que pertenece y los import necesarios.
- El nombre de los ficheros debe expresar un significado, evitar nombrar ficheros como a.zul.
- Para nombrar los ficheros se pondrá la primer letra en Mayúscula y se pondrá en mayúscula el comienzo de las palabras internas.

### *Indentación*

- Evitar líneas que tengan más de 80 caracteres.
- Cuando una expresión no termina con una letra:
  - Romper después de la coma
  - Romper antes de un operador
- Las líneas que contengan una estructura de control if deberá generalmente usar 8 espacios de indentación.
- Se debe tratar de seguir una norma en las estructuras de control if.

### *Comentarios*

Cada clase debe estar bien documentada, tanto las funcionalidades como los atributos. Antes de declarar la clase se debe poner un comentario describiéndola.

### *Clases y Variables*

- Se debe declarar una sola variable por línea.
- Tratar de inicializar las variables siempre que sea posible al comienzo de los bloques.
- Se deben nombrar las variables, objetos y clases siempre con nombres lógicos (relacionado con lo que se esté programando).

- Los nombres de las clases o interfaces se deben nombrar empezando con mayúscula y poniéndola al comienzo de palabras internas.
- Los nombres de los objetos y variables de tipos de datos primitivos deben empezar con minúscula y el comienzo de cada palabra interna con mayúscula.
- Las constantes se deben declarar en mayúscula todas sus letras separando siempre las palabras por `_`.
- Los nombres de los componentes visuales deberán cumplir la siguiente norma:

Componente	Prefijo	Ejemplo
<b>Button</b>	btn	Button btnEliminar;
<b>Panel</b>	panel	JPanel panelDer;
<b>Menu</b>	menu	JMenu menuEditar;
<b>Tree</b>	tree	Tree treeEntidades;
<b>BorderLayout</b>	bl	BorderLayout blMain;

**Tabla 2.3** Normas para componentes visuales

### *Paquetes*

Los paquetes siempre se nombrarán en minúscula.

### *Métodos*

Los nombres de métodos siempre empezarán por un verbo en minúscula y lo que le sigue irá en mayúscula sólo la primera letra de las palabras internas.

## **2.5.2 Prueba**

La metodología ICONIX plantea que el proceso de prueba se debería comenzar mucho antes que el de codificación, incluso recomienda que se tenga en cuenta en la etapa de análisis identificando los casos de prueba a partir de los diagramas de robustez, de esta forma es posible eliminar una gran cantidad de errores (inclusive antes de que existan) . Es por ello que probar un sistema debe verse como una parte importante dentro del ciclo iterativo e incremental de desarrollo, que verifica que el producto cumple con el propósito específico para el que fue creado.(Rosenberg y Stephens, 2007)

Teniendo en cuenta lo antes expresado se desarrollaron comprobaciones que permitieron probar de manera sistémica que el comportamiento del módulo descrito en cada caso de uso estaba implementado correctamente, básicamente las funciones identificadas durante el análisis de robustez. Estas pruebas se realizaron considerando en todo momento que los requerimientos estuvieran íntimamente relacionados con las mismas, se trató que al menos hubiera dos casos prueba para verificar cada requerimiento.

Los problemas detectados como resultado de las pruebas realizadas se tomaron en cuenta y a la vez fueron corregidos en iteraciones posteriores.

## 2.6 Conclusiones

- La utilización de la metodología Iconix para modelar y construir el módulo propuesto, permitió resolver una gran parte de su desarrollo, minimizando el uso de UML, sin descartar ninguna de las etapas que lo componen, dado el conjunto mínimo de modelos que define y su proceso dinámico de desarrollo.
- La característica que posee Iconix de rastrear los requerimientos, así como su flexibilidad ante los cambios, permitió verificar y refinar los artefactos de software producidos a lo largo de todo el proceso de desarrollo.
- La participación y el compromiso de los usuarios finales del módulo propuesto fue esencial a la hora de verificar la completitud y el cumplimiento de los requisitos, así como su colaboración en la descripción de casos de uso y en las pruebas del sistema.
- La estructura detallada que propone ICONIX para la descripción de los casos, resultó fundamental para las siguientes fases de desarrollo, y constituye la base para la elaboración del manual de usuario del módulo.
- Considerando que el módulo se basa en la arquitectura cliente servidor, el diagrama de despliegue elaborado se ajusta a sus necesidades específicas.
- Los errores detectados como consecuencia de las pruebas realizadas al módulo fueron solucionados.

## **Capítulo 3. Valoración de sostenibilidad y evaluación de la solución propuesta**

En el presente capítulo se hace un estudio sobre el impacto que tendrá el módulo propuesto en las dimensiones administrativa, ambiental, socio humanista y tecnológica, con el objetivo de determinar hasta qué punto es sostenible. Se realiza también una evaluación de la aplicación a partir del procesamiento de encuestas a expertos.

### **3.1 Valoración de sostenibilidad**

El desarrollo de todo producto informático implica repercusiones tanto positivas como negativas para los diferentes usuarios que interactuarán con él, por lo que se hace imprescindible realizar un estudio sobre el impacto en las dimensiones ambiental, socio humanista, administrativa y tecnológica que tendrá el mismo, garantizando que satisfaga la necesidad que lo origina y las expectativas del cliente.

Este proceso a su vez involucra el respeto a la diversidad étnica y cultural regional, nacional y local, así como el fortalecimiento y la plena participación ciudadana en convivencia pacífica con la naturaleza, sin comprometer y garantizar la calidad de vida de las generaciones futuras.(Concepción, 2006)

#### **3.1.1 Dimensión Administrativa.**

En la dimensión administrativa se tienen en cuenta el costo de elaboración del producto informático, si ahorra recursos, la generación de ingresos directos o indirectos a la entidad, así como la calidad de la producción y los servicios.

Para la determinación de los costos se utilizó el Modelo Constructivo de Costos (COCOMO II, por sus siglas en inglés), el cual permitió estimar el costo asociado al desarrollo del software. Mediante él se pudo obtener también el tiempo y la cantidad de personas que se requieren para el desarrollo del módulo propuesto.

Para realizar la estimación de los costos, tiempo y esfuerzo asociados a la construcción del módulo propuesto mediante el COCOMO II, se siguieron los siguientes pasos:

Paso 1. *Obtener los puntos de función.*

Los elementos que se tienen en cuenta para calcular el total de puntos de función desajustados se encuentra en la Tabla 3.1.

Para ello a partir de los requerimientos funcionales, se identificaron las características (entradas externas, salidas externas, etc.), se clasificaron y se realizó la ponderación aplicando pesos para de esta forma obtener los puntos de función desajustados. Las tablas que contiene esta información pueden ser consultadas en el **Anexo 8**.

Elementos	Bajo		Medio		Alto		Subtotal
	No	x Peso	No	x Peso	No	x Peso	
<i>Entrada Externa (EI)</i>	15	*3=45	3	*4=12	0	*6=0	<b>57</b>
<i>Salida Externa (EO)</i>	1	*4=4	0	*5=0	0	*7=0	<b>4</b>
<i>Consulta Externa (EQ)</i>	4	*3=12	0	*4=0	0	*6=0	<b>12</b>
<i>Archivo Lógico Interno (ILF)</i>	10	*7=70	0	*10=0	0	*15=0	<b>70</b>
<i>Archivo Interfaz Externa (ELF)</i>	0	*5=0	0	*7=0	0	*10=0	<b>0</b>
<b>Total de puntos de función desajustados (UFP)</b>							<b>143</b>

**Tabla 3.1** Puntos de función desajustados.

**Paso 2.** *Estimar la cantidad de instrucciones fuente. (SLOC).*

El cálculo de las instrucciones fuentes, según COCOMO II, se basa en la cantidad de instrucciones fuentes por punto de función que genera el lenguaje de programación empleado. El lenguaje utilizado para desarrollar el módulo propuesto fue Java y los valores de las instrucciones fuentes por punto de función y la cantidad total de instrucciones fuentes se muestran en la Tabla 3.2.

Características	Valor
Puntos de función desajustados.	143
Lenguaje (Java).	55
Instrucciones fuentes	7865
Reducción de un 40 % (Reutilización de código)	3146

Instrucciones fuentes en miles de líneas ( <b>SLOC</b> )	3.146
--	-------

**Tabla 3.2** Cantidad de Instrucciones Fuentes

Paso 3. *Aplicar las fórmulas de Bohem para obtener esfuerzo, tiempo y costo.*

En el cálculo de esfuerzo, tiempo de desarrollo, cantidad de hombres y costo (Ver las Tablas 3.4 hasta la 3.7), se utilizaron los multiplicadores de esfuerzo, los factores de escala, así como los valores constantes A, B, C, D. (Ver Tabla 3.3)

Factores	Valor	Multiplicadores	Valor	Constante	Valor
PREC	3.72	RELY	4	A	2.94
FLEX	4.05	DATA	3	B	0.91
RESL	4,24	CPLX	5	C	3.67
TEAM	0	DOCU	5	D	0.28
PMAT	4,68	RUSE	4		
<b>Total SF</b>	<b>16.69</b>	TIME	4		
		STOR	4		
		PVOL	3		
		ACAP	4		
		PCAP	4		
		PCON	5		
		APEX	4		
		PLEX	5		
		LTEX	4		
		ITool	4		
		SITE	5		
		SCED	4		

**Tabla 3.3** Factores de escala, multiplicadores de esfuerzo y valores calibrados.

### Cálculo del esfuerzo de desarrollo

Cálculo de:	Justificación
Esfuerzo de desarrollo (PM).	<p>El esfuerzo se representa mediante la fórmula siguiente y se expresa en hombres mes:</p> $PM = A * (Size)^E \prod_{i=1}^n EM_i \quad \text{donde } E = B + 0.01 * \sum_{j=1}^5 SF_j = 1.0769$

	PM = 14,98 ≈ 15 Hombres/ Mes
--	------------------------------

**Tabla 3.4** Cálculo de esfuerzo

**Cálculo de tiempo de desarrollo**

Cálculo de:	Justificación
Tiempo de desarrollo (TDEV)	<p>El tiempo de desarrollo en meses viene dado por la fórmula:</p> $TDEV = C * PM^F \quad \text{donde } F = D + 0.2 * (E - B)$ $F = 0.31338$ $TDEV = 8.57 \approx 9$ <p>El tiempo de desarrollo (TDEV): tiempo de duración del proyecto desde sus inicios hasta su fin es de 9 meses.</p>

**Tabla 3.5** Cálculo de tiempo de desarrollo.

**Cálculo de la cantidad de hombres necesarios**

Cálculo de:	Justificación
Cantidad de hombres (CH)	<p>La cantidad de hombres es el resultado de la división del esfuerzo entre el Tiempo de Desarrollo.</p> $CH = \frac{PM}{TDEV} \qquad CH = \frac{PM}{TDEV} = 1.75 \approx 2 \text{ Hombres}$ <p>Los valores obtenidos indican que el proyecto necesitaría 2 hombres para su realización en aproximadamente 9 meses.</p>

**Tabla 3.6** Cálculo de la cantidad de hombres necesarios.

**Cálculo de costo de desarrollo**

Cálculo de:	Justificación
Costo (C)	<p>El salario promedio es de \$225 y se denomina SP. El costo por hombres mes (CHM) según la cantidad de hombres (CH=2) obtenida anteriormente es de \$450. El costo total resultaría:</p> $\text{Costo } C = CHM * TDEV = 3370 \text{ pesos.}$

	El costo de desarrollo de la aplicación asciende a \$ 3370 MN.
--	--

**Tabla 3.7** Cálculo de costo de desarrollo.

Debido a que la confección del módulo se realiza en función del equipamiento técnico con el que se cuenta no se incurren en gastos de aplicación (evita gastos por concepto de renovación o mejoramiento del equipamiento existente), además no se requiere de la contratación de un personal especializado, ya que los usuarios de la aplicación tienen experiencia previa en el trabajo con sistemas similares al que se realiza.

Uno de los resultados que se espera con el desarrollo de este módulo es la disminución del gasto de energía eléctrica, acorde con el ahorro de energía que lleva a cabo el país, debido a la considerable disminución del tiempo invertido en la actividad de diseño.

Los beneficios que generará a la organización en cuanto a ingresos serán indirectos pues este sistema permitirá aumentar la calidad y la productividad de los proyectos que se llevan a cabo en dicha empresa, podrá dar respuesta a la elevada demanda de proyectos de redes hidráulicas en un menor tiempo.

Este módulo no se realiza con fines de comercialización y las herramientas a utilizar para el desarrollo de este en su totalidad son libres, de modo que no es necesario pagar licencia por su uso.

A partir de lo antes analizado y los beneficios que proporciona el sistema, se arribó a la conclusión que este es sostenible desde la dimensión administrativa.

### **3.1.2 Dimensión Socio-Humanista.**

La satisfacción de los trabajadores es un factor esencial para lograr la calidad de sus servicios, por lo que actualmente las entidades hacen énfasis en lograr su bienestar.

Se puede valorar que el producto no afecta al personal de la entidad, pues ello no implica reducción de la plantilla ya que aunque se logre un nivel de informatización superior y se mejoren los tiempos de respuesta, siguen siendo necesarios los especialistas para el diseño de redes de distribución.

El sistema podrá ser generalizado, pues la necesidad que hace que surja no es sólo de la EIPH Holguín “Raudal”, sino en cualquier institución análoga del país. Por tales razones, dentro de las concepciones iniciales del sistema se pensó en su flexibilidad y versatilidad, para capturar las generalidades, pero también las posibles particularidades que pueden tener las organizaciones de este ámbito o dominio.

La naturaleza modular y extensible de la tecnología con que se desarrolla el sistema hace que no constituya un problema la extensión y evolución del mismo, pues permite incorporarle la informatización e integración de otros procesos empresariales.

A partir de lo analizado y plasmado anteriormente, se arribó a la conclusión de que el sistema es sostenible desde la dimensión socio-humanista.

### **3.1.3 Dimensión Ambiental.**

La creación de una cultura y una conciencia ambiental se hace cada día una tarea más ardua, aumentan considerablemente los productos que no tienen en cuenta su impacto negativo en la naturaleza, por lo que la presente investigación plantea una solución que no va en detrimento del Medio Ambiente.

Es importante tener en cuenta que deben existir algunas condiciones de trabajo para la correcta explotación del sistema, como son: una buena iluminación, protectores de pantalla, ubicación correcta de la PC, asientos cómodos y con medidas adecuadas para evitar daños a la salud que serían mayoritariamente daños en la vista y en la postura de los implicados, efectos provocados por el tiempo en que deben estar intercambiando información.

En este aspecto también se tiene en cuenta el uso de colores e imágenes que resulten agradables y eviten el estrés; las correctas alineaciones de textos y otros elementos en las interfaces como: iluminación, tamaño de letra, espaciamiento entre caracteres, tipografía, logran una mayor y adecuada comunicación entre el producto y el cliente. Debido a las características que presenta, no genera contaminación por ruido, ni tiene un impacto directo desfavorable en el medio ambiente.

A partir de lo analizado y plasmado anteriormente se arribó a la conclusión de que el sistema es sostenible desde la dimensión ambiental.

#### **3.1.4 Dimensión Tecnológica.**

Para el empleo del sistema los usuarios se encuentran capacitados y no necesitan de preparación informática, debido a que hacen uso de computadoras para su labor diaria; además el sistema poseerá un Manual de Usuario y una Ayuda que facilitará la manipulación del sistema.

En cuanto a la infraestructura electrónica, la Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos de la provincia de Holguín cuenta con los recursos precisos para la implantación y aplicación del sistema.

Las características que poseen las computadoras utilizadas por los trabajadores cumplen con los requerimientos necesarios para hacer uso del sistema.

Por otra parte, el sistema perdurará en el tiempo, debido a que es lo suficientemente configurable y flexible como para adaptarse a nuevos cambios de forma tal que le permitan evolucionar en el futuro (explicado anteriormente en la dimensión socio-humanista). También, permitirá cambios ya sea de mejoras de hardware, red e incluso de plataforma.

A partir de lo analizado y plasmado anteriormente se arribó a la conclusión de que el sistema es sostenible desde la dimensión tecnológica.

#### **3.2 Valoración de los resultados obtenidos en la encuesta a los posibles usuarios del módulo .**

Una vez concluida la implementación del módulo propuesto así como las pruebas correspondientes, se aplicaron encuestas con el objetivo de evaluar la satisfacción de los usuarios respecto al sistema, mediante el método Delphy.

Para la aplicación de este método se realizó una primera encuesta (**Ver Anexo 9** ), que tuvo como finalidad seleccionar los expertos, y obtener a partir de su procesamiento, el coeficiente de competencia.

Teniendo en cuenta una serie de aspectos<sup>17</sup> propuestos por el método para la selección de los expertos (Rodríguez y Concepción), se escogieron 14 de los 18 expertos por ser los que tenían un coeficiente de competencia alto o medio.

Una vez seleccionados los expertos, se sometió el módulo a evaluación a través de una encuesta (**Anexo 10**), la pregunta número dos de dicha encuesta se procesó por el método Delphy (**Ver Anexo 11**) con el objetivo de buscar el consenso de los encuestados en los aspectos:

1. *¿Cómo evalúa la calidad de la representación gráfica de los elementos que componen la red?*
2. *¿Cómo evalúa el cálculo automático de las cotas en los nodos?*
3. *¿Cómo evalúa el tiempo de respuesta del módulo?*
4. *¿Cómo valora la forma de representar las bombas y válvulas?*
5. *¿Cómo evalúa la gestión de la información referente a los elementos que conforman la red?*
6. *¿Cómo evalúa el cálculo automático de las longitudes en las tuberías?*
7. *¿Cómo evalúa el módulo en cuanto a facilidad y comodidad?*
8. *¿Cómo valora la adecuación del módulo a las normas exigentes en la empresa?*
9. *¿Qué nivel de satisfacción tiene con la utilidad que le proporcionará el módulo?*

A partir del procesamiento estadístico de los aspectos anteriormente mencionados y tratados en la encuesta, se determinó, como resultado final de la evaluación, que los encuestados coinciden en que todos los aspectos son “Muy Adecuados”, lo cual influye positivamente en la calidad del sistema.

---

<sup>17</sup> Se refiere a: Conformismo, Disposición a participar en la encuesta, Creatividad, Capacidad de análisis y de pensamiento, Espíritu colectivista, Espíritu autocrítico y Competencia.

### **3.3 Conclusiones**

- El análisis de sostenibilidad del producto según las dimensiones administrativa, socio – humanista, ambiental y la tecnológica arrojó que la herramienta propuesta cumple con todos los requerimientos antes señalados, respondiendo a la necesidad social que la generó, en consonancia con los recursos empleados, por lo que se podrá decir que constituirá un producto informático sostenible y perdurable en el tiempo.
  
- Los resultados del procesamiento son un argumento más a favor de la calidad del producto informático propuesto por este trabajo.

## Conclusiones generales

Con el desarrollo del Módulo para la definición espacial de redes hidráulicas de abasto, se da cumplimiento al objetivo de la investigación, obteniéndose un producto informático de alta calidad que proporciona eficiencia, una interfaz amigable al usuario y disponibilidad de los datos, quedando de esta forma demostrada la hipótesis enunciada en esta investigación. A continuación se relacionan las principales conclusiones a las que se arribaron:

- El proceso tradicional de representación gráfica de los elementos que conforman una red hidráulica requiere la inclusión de un grupo de funcionalidades novedosas.
- Los requerimientos de la EIPH Holguín “Raudal” están presentes en el diseño del módulo propuesto y en el proceso de planificación, con una evidente superioridad frente a otros softwares que se utilizan para la definición de redes hidráulicas actualmente.
- El uso de las tecnologías y arquitectura de despliegue empleadas resulta una propuesta eficaz para el problema que se aborda.
- Valorado el impacto social, económico, tecnológico y ambiental del proceso de desarrollo e implantación de la solución, se puede afirmar que este producto es sostenible.
- El módulo desarrollado goza de un nivel muy adecuado de aceptación por los usuarios, lo cual garantizará un elevado grado de impacto con su implantación en la EIPH Holguín “Raudal”.

## **Recomendaciones**

Una vez concluida esta investigación se proponen las siguientes recomendaciones:

- Continuar el desarrollo del módulo incorporando nuevas funcionalidades como pudieran ser: creación de perfiles, sectores, edición de vértices de tuberías y la obtención de la red en modelo 3d.
- Generalizar el uso de la aplicación al resto de las Empresas de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos del país.
- Lograr el intercambio de ficheros con otras aplicaciones encargadas del diseño de redes.

## Referencias bibliográficas

- [1]. Alfonso, J. "Creación de las bases para el estudio con Modelos Matemáticos de la red de distribución de agua potable. Experiencia cubana ". Rev Voluntad Hidráulica, 1999.
- [2]. Alfonso, M. E. "Epared. Programa para el diseño y simulación de redes hidráulicas". 2002.
- [3]. Alfonso, M. E. "Modelación Matemática de redes de distribución de agua potable ". Aguas de La Habana; 2002.
- [4]. Álvarez, G. Características del lenguaje Java. Disponible en: <http://www.iec.csic.es/CRIPTONOMICON/java/quesjava.html#top> [19 Marzo 2010].
- [5]. Andrade, R. "Programación de funciones en PL/pgSQL para PostgreSQL". 2002.
- [6]. Belmonte, Ó. "Programación de Aplicaciones Gráficas con OpenGL y Java". Revista Novática, Nº 184 noviembre-diciembre, 2006. España.
- [7]. Bolt, A., Mazur, G. H. "Jurassic QFD Integrating Service and Product Quality Function Deployment". 1999.
- [8]. Brackeen, D., Barker, B., Vanhelsuwé, L. Developing Games in Java. New Riders Publishing; 2003.
- [9]. Brito, K. "Selección de metodologías de desarrollo para aplicaciones web en la Facultad de Informática de la Universidad de Cienfuegos".Universidad "Carlos Rafael Rodríguez", Cienfuegos, Cuba. 2009. 148 h.
- [10]. Burbano, D. J. "Análisis comparativo de bases de datos de código abierto vs. código cerrado (determinación de índices de comparación)". 2006.
- [11]. Concepción, R. "Gestión de Proyectos Informáticos Sostenibles". 2006.
- [12]. CubAgua. Historia de la Hidráulica en Cuba. Disponible en: <http://www.hidro.cu> [22/09/2009].
- [13]. Davis, G. "Learning Java Bindings for OpenGL (JOGL)". Authorhouse; 2004.
- [14]. Davison, A. "Killer Game Programming in Java ". O'Reilly; 2005.
- [15]. Deitel, H. M., Deitel, P. J. "Java™ How to Program, Sixth Edition". Prentice Hall; 2004.
- [16]. Ereño, M., Cortazar, R. "Utilización de QFD en la toma de decisiones para la estructuración de una familia de productos". 2005.
- [17]. Flanagan, D. "Java in a Nutshell". 2da ed.: O'Reilly; 1997.
- [18]. García, J. "Curso de introducción a OpenGL (v1.0)". 2003.

- [19]. García, J., Rodríguez, J. I., Mingo, I., Imaz, A., Brazález, A., Larzabal, A., et al. "Aprenda Java como si estuviera en primero". Universidad de Navarra; 2000.
- [20]. García, M. "Elementos de bases de datos". 2003.
- [21]. García, O., Guevara, A. "Introducción a la programación gráfica con OpenGL". 2004.
- [22]. Gong, L. "Inside Java 2 Platform Security". Addison-Wesley; 1999.
- [23]. Grand, M. "Java Language Reference". 2da ed.: O'Reilly; 1997.
- [24]. Gutierrez, J. Síntesis de diferencias entre Bentley WaterCAD/GEMS V8i y EPANET  
Disponible en:  
[http://communities.bentley.com/blogs/juan\\_gutierrez\\_blog/archive/2009/08/13/sintesis-de-diferencias-entre-bentley-watercad-gems-v8i-y-epanet.aspx](http://communities.bentley.com/blogs/juan_gutierrez_blog/archive/2009/08/13/sintesis-de-diferencias-entre-bentley-watercad-gems-v8i-y-epanet.aspx) [20 Marzo 2010].
- [25]. Harrop, R., Machacek, J. "Pro Spring". Apress; 2005.
- [26]. Hayes, D. "The Spring Framework for J2EE". Chariot Solutions; 2005.
- [27]. Hechavarría, J. R. "Optimización del diseño de redes hidráulicas bajo criterios técnico-económicos". Universidad de Oriente, Santiago de Cuba. 2008. h.[Tesis Doctoral]
- [28]. Horstmann, C. S., Cornell, G. "Core Java™ 2 Volume II - Advanced Features". 7ma ed.: Prentice Hall PTR; 2004.
- [29]. Jacobson, I. "El Proceso Unificado de Desarrollo de Software" 2000. h.
- [30]. Jacobson, I., Booch, G., Rumbaugh, J. "El Proceso Unificado de Desarrollo del Software". Addison-Wesley; 2000.
- [31]. Jiménez, E., Pérez, M., Sanz, F., Santamaría, J., Martínez, E. "Web3d. Análisis comparativo de VRML, Java3d y X3d". 2004.
- [32]. Johnson, R., Hoeller, J., Arendsen, A., Risberg, T., Sampaleanu, C. "Professional Java Development with the Spring Framework". Indianapolis, Indiana: Wiley Publishing, Inc.; 2005
- [33]. Johnson, R., Hoeller, J., Arendsen, A., Sampaleanu, C., Harrop, R., Risberg, T., et al. "The Spring Framework ". 2004.
- [34]. Knudsen, J., Niemeyer, P. "Learning Java". 3ra ed.: O'Reilly; 2005.
- [35]. Kuhfeld, R. Bentley's WaterGEMS V8 XM Edition Wins People's Choice Award at AWWA ACE06. Disponible en: <http://www.bentley.com/es-MX/Corporate/News/News+Archive/2006/Quarter+2/Peoples+Choice.htm> [10 Marzo 2010].
- [36]. Lago, R. Introducción a Spring Disponible en: <http://www.proactiva-calidad.com/java/spring/introduccionSpring.html> [10 Marzo 2010 ].

- [37]. Lastre, M. M., Lastre, A. M. "Sistema automatizado para el diseño de redes y plantas de almacenamiento en la rama petrolera". 2006.
- [38]. Lockhart, T. "Tutorial de PostgreSQL". 1996.
- [39]. López, J. Ventajas y desventajas de la arquitectura cliente/servidor. Disponible en: [http://www.gratisblog.com/tecnologia\\_de\\_internet\\_lopez/i125057-ventajas\\_y\\_desventajas\\_de\\_la\\_arquitectura\\_clienteservidor.htm](http://www.gratisblog.com/tecnologia_de_internet_lopez/i125057-ventajas_y_desventajas_de_la_arquitectura_clienteservidor.htm) [7 abril 2010].
- [40]. Márquez, B. M., Zulaica, J. M. "Implementación de un reconocedor de voz gratuito al sistema de ayuda a invidentes Dos-Vox en español ".Universidad de las Américas Puebla Departamento de Ingeniería en Sistemas Computacionales México. 2004. h.[Tesis de Diploma]
- [41]. Matthew, N., Stones, R. "Beginning Databases with PostgreSQL. From Novice to Professional". 2da ed.: Apress; 2005.
- [42]. Mazur, G. "Voice of customer analysis: A modern system of front-end QFD tools, with case studies". 1996.
- [43]. Naidier, J., Davis, T., Woo, M. "OpenGL Programming Guide or The Red Book". Addison-Wesley; 1994.
- [44]. Orjuela, A., Rojas, M. "Las Metodologías de Desarrollo Ágil como una Oportunidad para la Ingeniería de Software Educativo". 2008.
- [45]. Pérez, L. E., Guitelman, A., Pérez, S. M. "Acueductos a presión. Nociones Básicas de Diseño". Universidad de Buenos Aires; 2005.
- [46]. Portilla, Y. "Desarrollo del QFD en la concepción de un Sistema CAD para el diseño de redes hidráulicas de abasto".Universidad "Oscar Lucero Moya" Facultad de Ingeniería Industrial,Holguín. 2009. 91 h.[Tesis de Diploma]
- [47]. PostgreSQLGlobalDevelopmentGroup. "PostgreSQL 8.0.0 Documentation". 2005.
- [48]. Pressman, R. "Ingeniería de Software. Un enfoque práctico". 5ta ed.: McGraw-Hill; 1997.
- [49]. Reyes, O. "Mantenimiento del sistema Informático TI".Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya" 2008. 127 h.[Tesis de Diploma]
- [50]. Reyes, O. G. "Tecnologías, herramientas y estándares a utilizar en el proyecto EIPH". 2009.

- [51]. Rodríguez, F., Concepción, R. "El método Delphy para el procesamiento de los resultados de encuestas a expertos o usuarios en estudios de mercado y en la investigación educacional."
- [52]. Rodríguez, M. d. C., Torres, M. "Sistema de gestión de información editorial. Semanario ¡ahora!".Universidad "Oscar Lucero Moya",Holguín. 2008. 197 h.[Trabajo de Diploma]
- [53]. Rodríguez, R. Y. "Sistema integrado para la gestión bibliotecaria Sigebi (módulo de administración)".Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría",Ciudad de la Habana 2004. 101 h.[Tesis de diploma]
- [54]. Rosenberg, D., Scott, K. "Applying Use Case Driven Object Modeling with UML: An Annotated e-Commerce Example". Addison Wesley 2001.
- [55]. Rosenberg, D., Stephens, M. "Use Case Driven Object Modeling with UML. Theory and Practice". USA; 2007.
- [56]. Rosenberg, D., Stephens, M. "Use Case Driven Object Modeling with UML. Theory and Practice". Apress; 2007.
- [57]. Rosenberg, D., Stephens, M., Cope, M. C. "Agile Development with ICONIX Process—People, Process, and Pragmatism". 2005.
- [58]. Rossman, L. A. "EPANET 2. Manual de Usuario". United State Environmental Protection Agency; 2000.
- [59]. Rumbaugh, J., Booch, G., Jacobson, I. "Guía de la Notación del UML Versión 1.0". 1997.
- [60]. Sánchez, G., Mateus, S. P., Branch, J. W. "Construcción de Mallas Triangulares no Estructuradas Aplicado al Ajuste de Superficies de Objetos Tridimensionales". Universidad Nacional de Colombia. 2004.
- [61]. Solís, C., Figueroa, R., Cabrera, A. "Metodologías Tradicionales vs. Metodologías Ágiles". 2001.
- [62]. Solórzano, R. "Metodología para medir la calidad de software".Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya" Facultad de Informática-Matemática 2007. 119 h.[Trabajo de diploma ]
- [63]. Valle, J. G. Definición arquitectura cliente servidor. Disponible en: <http://www.monografias.com/Computacion/Redes/arquitectura-cliente-servidor.shtml.htm> [7 abril 2010].

- [64]. Velde, T. V. d., Snyder, B., Dupuis, C., Li, S., Horton, A., Balani, N. "Beginning Spring Framework 2". Wiley Publishing, Inc.; 2007.
- [65]. Walls, C., Breidenbach, R. "Spring in Action". Manning Publications Co.; 2005.
- [66]. Winterfeldt, D. "Spring by Example". 2009.
- [67]. Yacuzzi, E., Martín, F. "QFD: Conceptos, aplicaciones y nuevos desarrollos". Universidad del CEMA; 2003.

## **Bibliografía**

- [68]. Aguirre, A. "Ingeniería Hidráulica aplicada a los sistemas de distribución de agua". Aguas de Valencia S.A; 1996.
- [69]. Alfonso, M. E., Alfonso, J. "EPARED. Software para el diseño y simulación de redes hidráulicas a presión". Departamento de Pitometría y Modelos. Aguas de La Habana; 2001.
- [70]. Boehm. "SW Cost Estimation with COCOMO II". Prentice Hall; 2000.
- [71]. CECADCAM. "Postgrado de CAD/CAM. Teoría del diseño como base del CAD". Universidad de Holguín: Centro de Estudios CAD/CAM; 1999.
- [72]. Concepción, R. "Procedimiento para la valoración de sostenibilidad de un Producto Informático". 2006.
- [73]. Davis, G. "The eBook Learning Java Bindings for OpenGL (JOGL) ".
- [74]. Figueroa, R., Solís, C. J. "Metodologías Tradicionales Vs. Metodologías Ágiles". 2001.
- [75]. Flórez, A. J., Rodríguez, E., Alvarez, R. "Sistema De Apoyo Al Desarrollo De La Percepción Espacial Basado En VRML".
- [76]. Ford, N. "Art of Java Web Development". Manning Publications Co; 2004.
- [77]. Fowler, M. "La Nueva Metodología". Chief Scientist, ThoughtWorks. 2003.
- [78]. Gacitúa, R. A. ""Métodos de desarrollo de software: El desafío pendiente de la estandarización". 2003.
- [79]. González, J. "Trabajos en la rehabilitación de redes y conductoras ". Revista Aguas de La Habana, 2007. Cuba.
- [80]. Hechavarría, J. R., Lastres, A. M. "Manual de Usuario DP- TRT 1.0 Sistema automatizado para el trazado de redes de tuberías en la actividad de proyecto de redes hidráulicas de abasto".
- [81]. Hernán, S. M. "Diseño de una Metodología Ágil de Desarrollo de Software.". Universidad de Buenos Aires. Ingeniería Informática 2004. h.

- [82]. Martínez, J. B. "Economía de los recursos hidráulicos". Segunda Edición ed. La Habana, Cuba.: Editorial CIH – ISPJAE , Centro de Investigaciones Hidráulicas, Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”; 2000.
- [83]. Mazur, G. "QFD 2000: Integrating QFD and Other Quality Methods to Improve the New Product Development Process". 2000.
- [84]. Mendoza, M. A. "Metodologías De Desarrollo De Software". 2004.
- [85]. Meyer, J., Downing, T. "Java Virtual Machine". O'Reilly; 1997.
- [86]. Raible, M. "Spring Live". SourceBeat, LLC, Highlands Ranch, Colorado; 2004.
- [87]. Redondo, M. A. "Interfaces de Usuario Prácticas".
- [88]. Ronney, E., Olfe, P., Mazur, G. "Gemba research in the Japanese Cellular phone market". 2000.
- [89]. Silva, G., Silva, G., Guimaraes, G., Medeiros, R., Rossini, T. "Utilizando ICONIX en el desarrollo de aplicaciones Delphi". 2007.

## **Anexos**

### **Anexo 1 Despliegue de la función calidad (QFD)**

La **matriz de planificación** es la primera de las cuatro fases que comprenden QFD y que básicamente analiza los Requerimientos del Cliente, es decir, traslada la Voz del Cliente en características de control de las partes.(Mazur, 1996 ; Portilla, 2009)

Esta matriz se utiliza para comparar los requerimientos del cliente con las características técnicas del producto. El resto de las matrices se originan de esta primera matriz. (Yacuzzi y Martín, 2003) Para construirla, se lleva a cabo una serie de pasos, que se explican a continuación:

#### **Paso 1: Requerimientos en término del cliente (QUE).**

Para realizar el diseño de un producto en función del cliente, es esencial conocer las expectativas de éste, o sea “la voz del consumidor”. Precisamente este es el primer paso para la elaboración de la matriz de planificación, que es a su vez uno de los más difíciles en el despliegue de la función calidad, pues requiere OBTENER Y EXPRESAR lo que el cliente desea y no lo que el desarrollador del módulo para la definición espacial de redes hidráulicas piensa que el cliente espera.(Ereño y Cortazar, 2005)

En el caso de la presente investigación se mantuvo un contacto directo con el cliente mediante conversaciones, y se aplicaron encuestas y entrevistas, con el objetivo de determinar las demandas explícitas y latentes sobre el producto en cuestión.

Los requerimientos del cliente (QUE) se colocan en el eje vertical de la parte superior de la matriz de planificación.

#### **Requerimientos del Cliente con respecto al Módulo para la definición espacial de redes hidráulicas.**

1. Tener en cuenta la metodología cubana actual.
2. Tener en cuenta los nuevos instructivos emitidos por el GEIPI.
3. Tener en cuenta la Gerencia CAD.
4. Incrementar calidad de la representación gráfica.

5. No hacer uso de software propietario.
6. Que sea funcional
7. Que sea fácil de usar.
8. Que sea fiable.
9. Que sea flexible.
10. Que sea reusable.
11. Que sea eficiente.
12. Tenga en cuenta la integridad.
13. Tenga en cuenta interoperabilidad.

## **Paso 2: Características de control del producto o servicio final (COMO).**

El resultado del primer paso es una identificación completa de los requisitos deseados del módulo para la definición espacial de redes hidráulicas. Sin embargo debemos tener en cuenta que existen características o necesidades de un producto que afectan a muchas otras.

Por lo que una vez definido los **que (s)**, se determinan las **características de control del producto**, los **como(s)**. Para el desarrollo de este segundo paso se plantean las incógnitas siguientes:

1. ¿Cómo tener en cuenta la metodología cubana actual?
2. ¿Cómo tener en cuenta los nuevos instructivos emitidos por el GEIPI?
3. ¿Cómo tener en cuenta la Gerencia CAD?
4. ¿Cómo incrementar la calidad de la representación gráfica?
5. ¿Cómo evitar el uso de software propietario?
6. ¿Cómo lograr que sea funcional?
7. ¿Cómo lograr que sea fácil de usar?
8. ¿Cómo lograr que sea fiable?
9. ¿Cómo lograr que sea flexible?
10. ¿Cómo lograr que sea reusable?
11. ¿Cómo lograr que sea eficiente?
12. ¿Cómo tener en cuenta la integridad?
13. ¿Cómo lograr que sea interoperable?

Conocidas las incógnitas, se le dan respuestas a cada una de ellas, este análisis arrojó las **características de control** siguientes:

1. Representación de la red hidráulica de abasto en 2D
2. Gestionar la información técnica de la red hidráulica de abasto.
3. Visualizar la información técnica de los elementos.
4. Relacionar los elementos de la red hidráulica de abasto.
5. Definición espacial de los nodos.
6. Definición espacial de los depósitos.
7. Definición espacial de los embalses.
8. Definición espacial de las tuberías.
9. Definición espacial de las válvulas.
10. Definición espacial de las bombas.
11. Gestionar la simbología de los nodos.
12. Gestionar la simbología de los depósitos.
13. Gestionar la simbología de los embalses.
14. Gestionar la simbología de las tuberías.
15. Gestionar la simbología de las válvulas.
16. Gestionar la simbología de las bombas.
17. Gestionar la información técnica de los nodos.
18. Gestionar la información técnica de los depósitos.
19. Gestionar la información técnica de los embalses.
20. Gestionar la información técnica de las tuberías.
21. Gestionar la información técnica de las válvulas.
22. Gestionar la información técnica de las bombas.
23. Representación tridimensional de la red.
24. Utilización de Software libre.
25. Descentralización (Módulos).
26. Diseño simple del módulo CAD.
27. Documentación (Ayuda y Manual de usuario).
28. Aplicación Distribuida.
29. Sostenible.

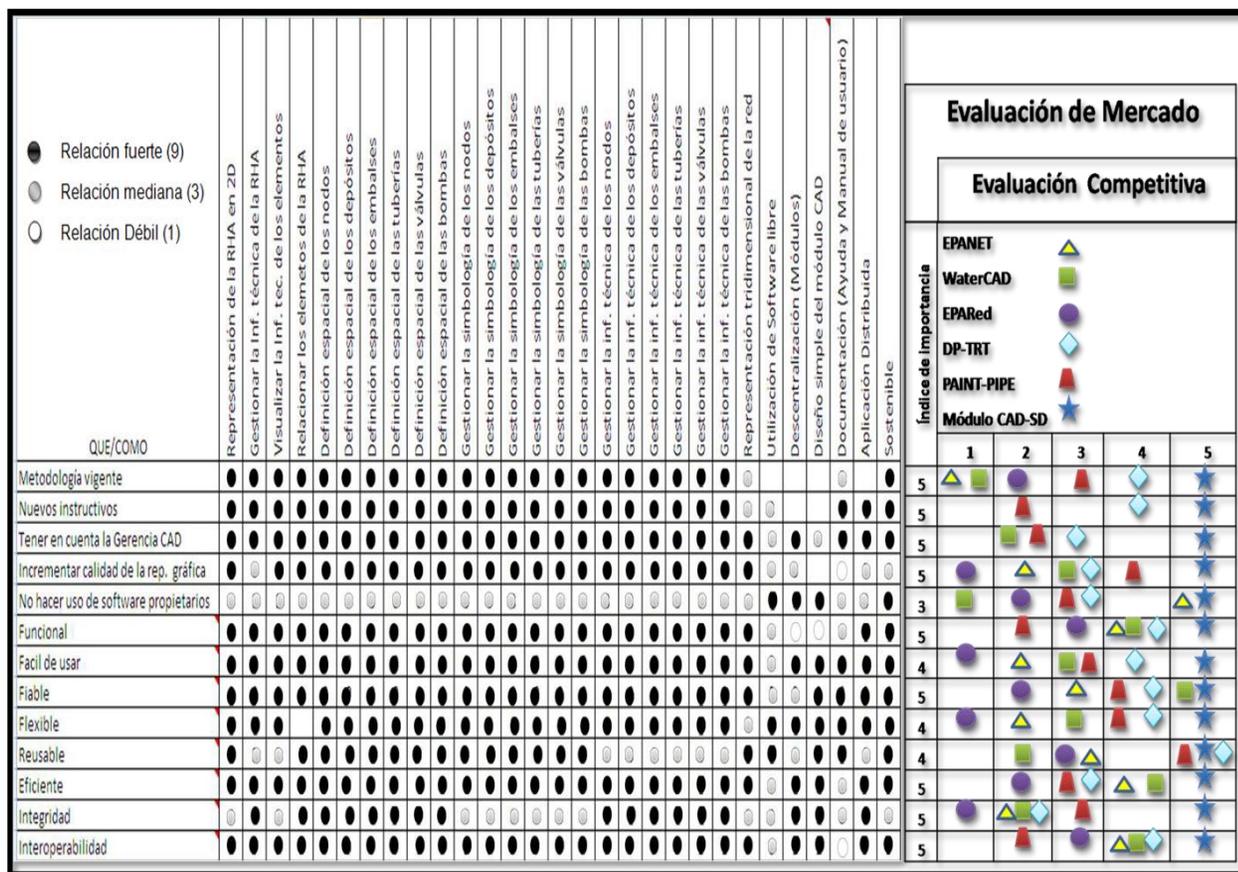
### Paso 3: Desarrollo de la matriz de relación entre los requerimientos del consumidor (QUE) y las características de control del producto final.

Luego de haber definido los QUE(S) y los COMO(S), se desarrolla la matriz de relaciones entre los requerimientos del consumidor y las características de control del producto, la cual gráficamente indica si las características de control del producto final cubren adecuadamente los requisitos y expectativas del cliente

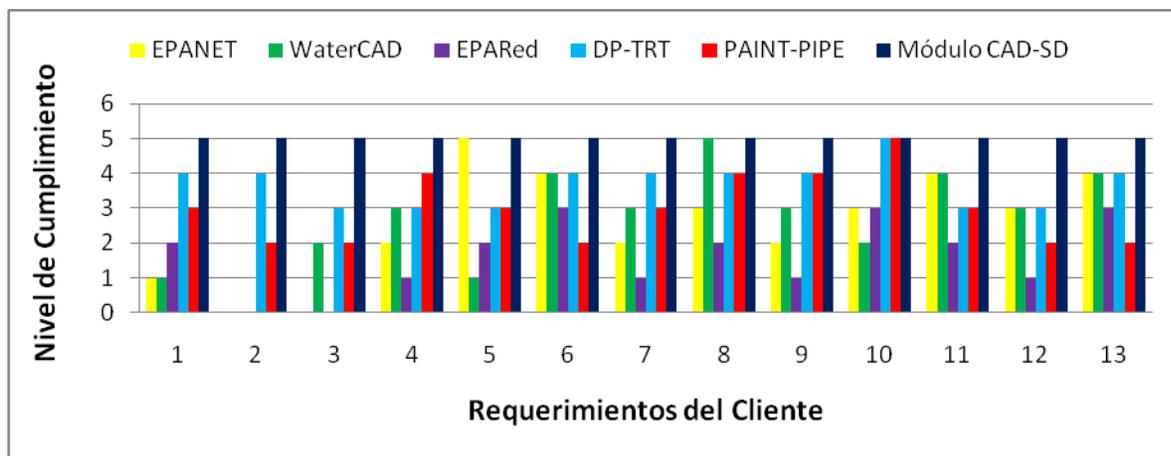
QUE/COMO	Representación de la RHA en 2D	Gestionar la Inf. técnica de la RHA	Visualizar la Inf. tec. de los elementos	Relacionar los elementos de la RHA	Definición espacial de los nodos	Definición espacial de los depósitos	Definición espacial de los embalses	Definición espacial de las tuberías	Definición espacial de las válvulas	Definición espacial de las bombas	Gestionar la simbología de los nodos	Gestionar la simbología de los depósitos	Gestionar la simbología de los embalses	Gestionar la simbología de las tuberías	Gestionar la simbología de las válvulas	Gestionar la simbología de las bombas	Gestionar la inf. técnica de los nodos	Gestionar la inf. técnica de los depósitos	Gestionar la inf. técnica de los embalses	Gestionar la inf. técnica de las tuberías	Gestionar la inf. técnica de las válvulas	Gestionar la inf. técnica de las bombas	Representación tridimensional de la red	Utilización de Software libre	Descentralización (Módulos)	Diseño simple del módulo CAD	Documentación (Ayuda y Manual de usuario)	Aplicación Distribuida	Sostenible
Metodología vigente	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Nuevos instructivos	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Tener en cuenta la Gerencia CAD	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Incrementar calidad de la rep. gráfica	●	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
No hacer uso de software propietarios	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Funcional	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Facil de usar	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Fiable	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Flexible	●	●	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Reusable	●	○	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Eficiente	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Integridad	○	●	○	●	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Interoperabilidad	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○

### Paso 4: Evaluación competitiva.

Consiste en poner las evaluaciones del mercado, las cuales muestran las ponderaciones de importancia para los requerimientos listados y los datos de evaluación competitiva para productos existentes. En esta parte es muy importante el considerar todos los productos de la competencia. Las ponderaciones que representan las áreas de mayor interés y más alta expectativa / satisfacción expresadas por el cliente a través de los requerimientos (QUE), permiten priorizar las áreas del producto que requieren mejoras.



Luego se determinó qué nivel de importancia, en una escala ascendente de 1 a 5, tienen cada uno de los requerimientos y en qué medida los productos del mercado son capaces de satisfacerlos.



La posición que ocupa el Módulo CAD fue valorada por lo que será capaz de hacer este producto, gracias a experiencias previas en el desarrollo de sistemas similares por parte de los especialistas del Centro de estudios CAD/CAM y que son conocidas por el cliente a través de la capacitación y asesorías técnicas efectuadas.

Estos resultados demuestran la diferencia entre software específicos y software generales, como son el caso de EPANET y WaterCAD. Es cierto que estos productos pueden dar solución a un sin número de problemas, pero no con la adecuación a los requerimientos de las empresas cubanas, que tienen especificaciones más concretas para la actividad de proyecto. Por otra parte, los sistemas profesionales como el WaterCAD, son comercializados a un alto precio en el mercado internacional, inversión que el cliente no está dispuesto asumir.

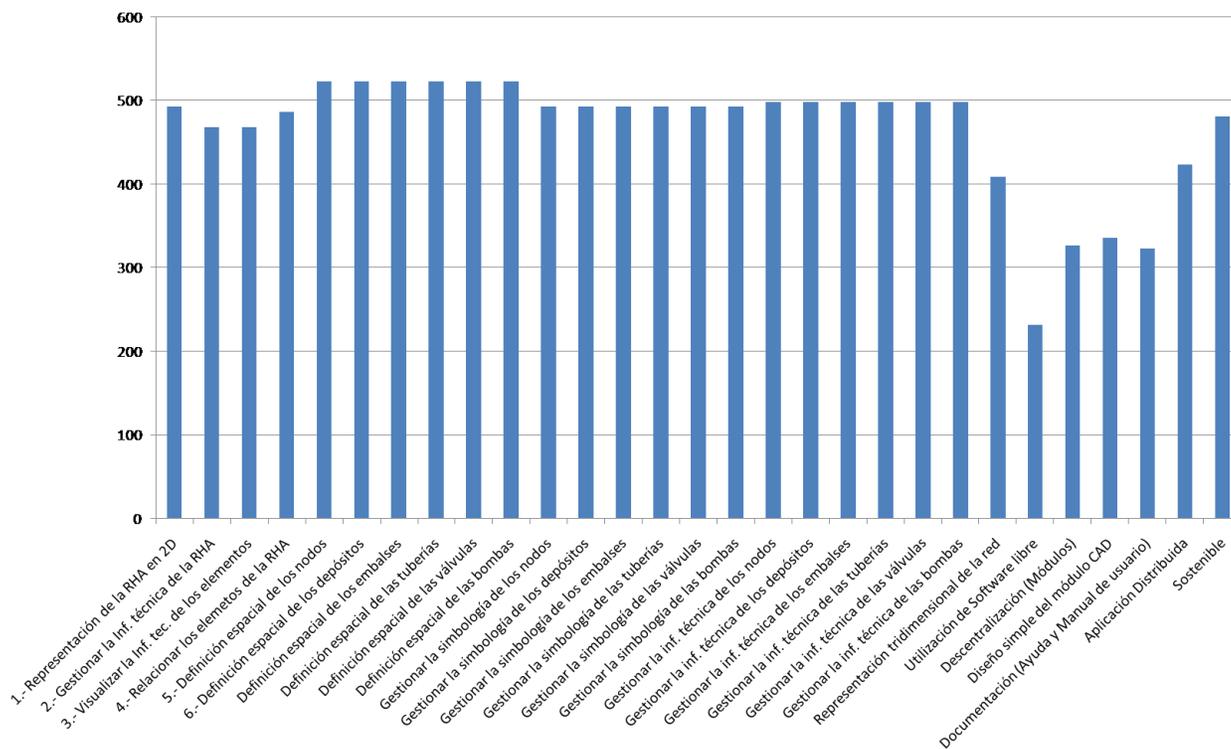
**Paso 5: Evaluación de las características de control del producto final.**

Los datos utilizados generalmente son obtenidos de evaluaciones llevadas a cabo dentro de la compañía; la información contiene al producto solicitado por el cliente y a la competencia. Estos datos deben ser expresados en términos objetivos y medibles o traducidos a clasificaciones numéricas de desarrollo basadas en la evaluación y el juicio, en caso de datos subjetivos.

Para la realización de este paso, la evaluación de las características de control del producto, fue necesario analizar cada uno de los COMO(S). En este paso se calcula el valor total de

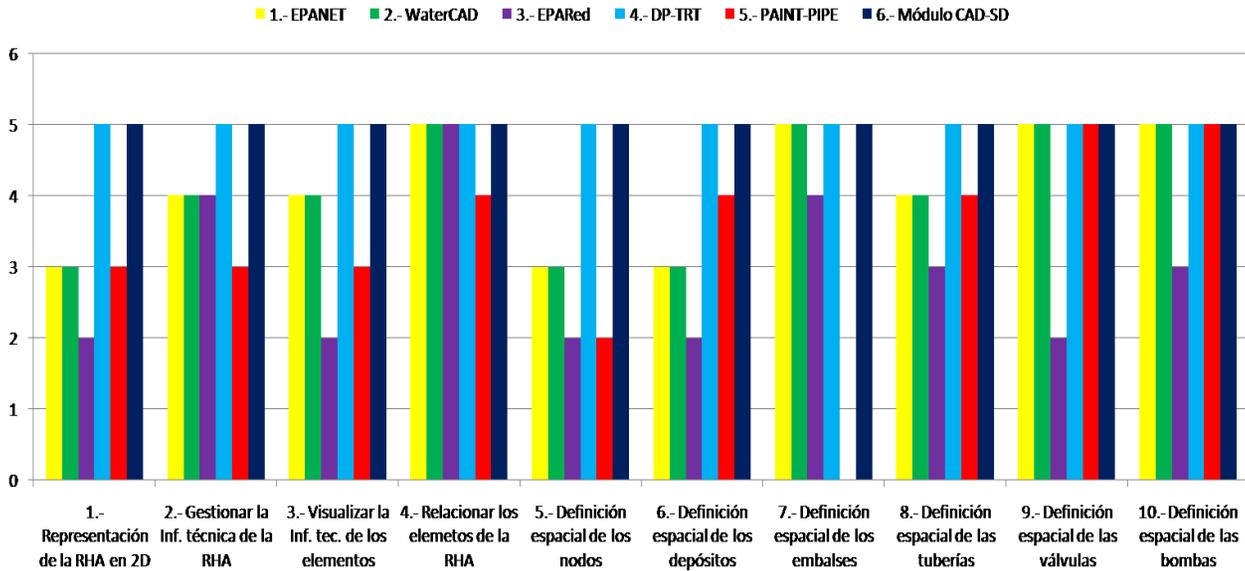
las características de control del producto mediante la multiplicación del nivel de importancia con la ponderación de cada uno de los símbolos correspondientes, ver tabla tal y figura tal.

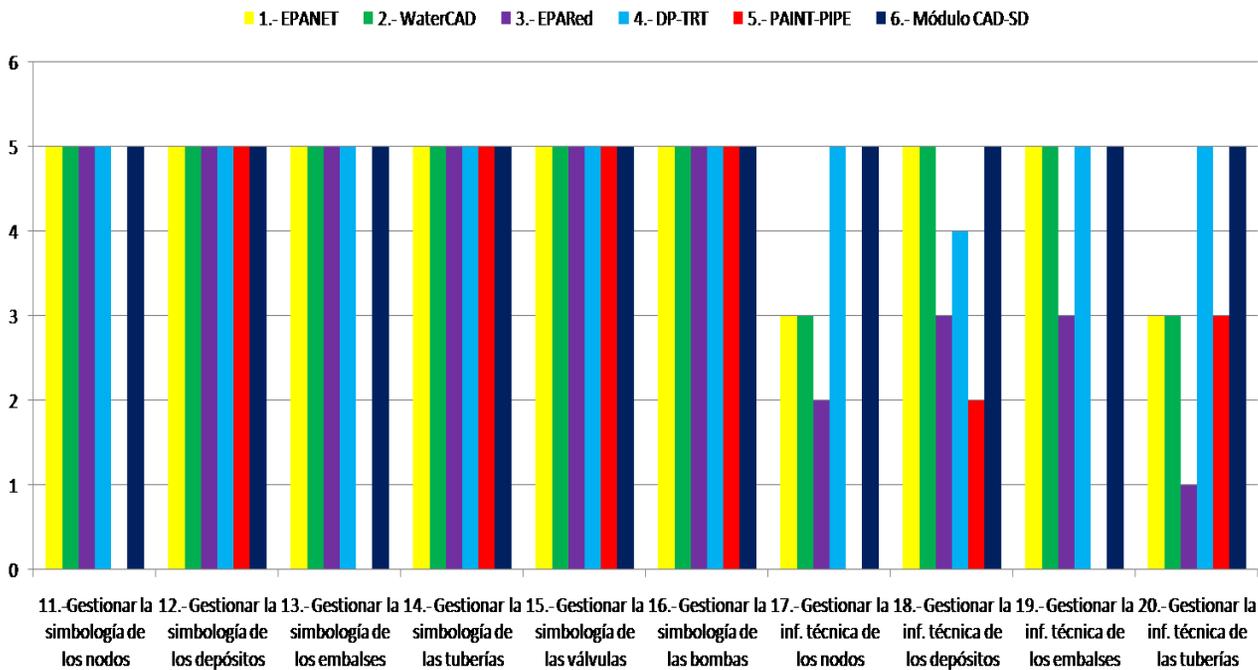
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	Imp.			
Metodología vigente	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	3						3		9	5	
Nuevos instructivos	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	3	3						9	9	9	5
Tener en cuenta la Gerencia CAD	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	3	9	3	9	9	9	9	5		
Incrementar calidad de la rep. gráfica	9	3	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	3	3			1	3	3	5		
No hacer uso de software propietarios	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	9	9	9	9	3	3	9	3		
Funcional	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	3	1	1	3	9	9	5			
Facil de usar	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	3	9	9	9	9	9	4			
Fiable	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	3	3	9	9	9	9	5			
Flexible	9	9	9		9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	3	9	9	9	9	9	4			
Reusable	9	3	3	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	3	3	3	3	3	3	9	9	3	9	9	3	9	4			
Eficiente	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	3	9	9	3	9	9	5			
Integridad	3	9	3	9	9	9	9	9	9	9	3	3	3	3	3	3	9	9	9	9	9	9	3	3	9	9	3	9	3	5			
Interoperabilidad	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	3	9	9	1	9	9	5			
Evaluación Características de Control	492	468	468	486	522	522	522	522	522	522	492	492	492	492	492	492	498	498	498	498	498	498	408	231	326	335	322	423	480				



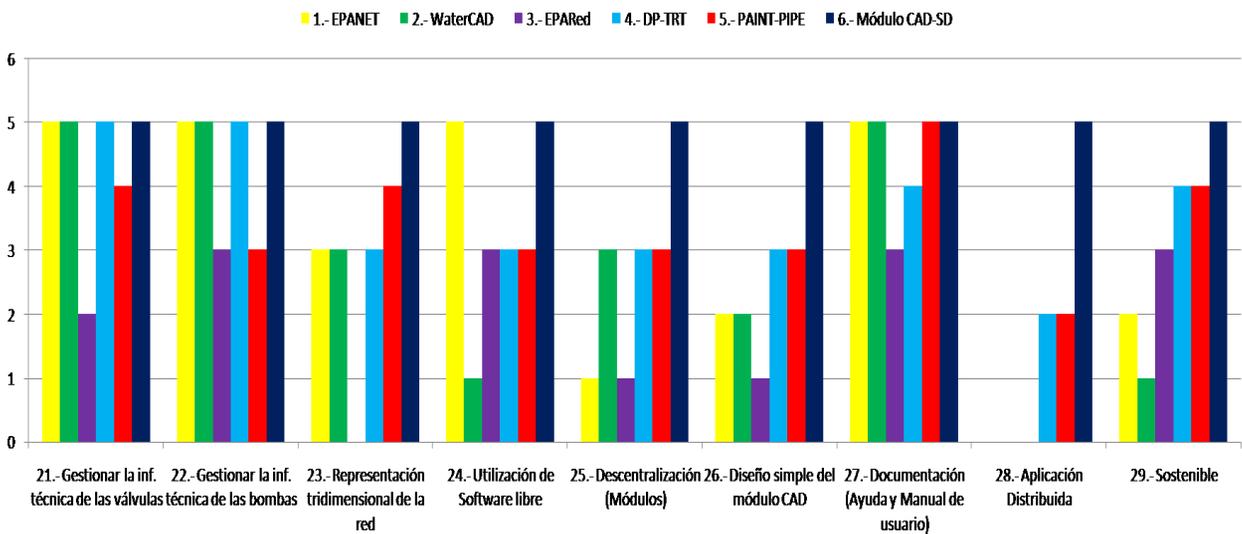
De forma similar al paso 4 se analizaron cada una de las característica de control y se determinó en qué grado los competidores y el producto son capaces de realizarlas. En este análisis también se establece la escala de 1 a 5. Esta definición fue desarrollada al evaluar cada uno de los

programas informáticos y estimar el nivel de cumplimiento que deberá tener el Módulo CAD para cada característica de control. A continuación se muestran estos resultados, por el gran tamaño de esta tabla se dividió en tres para facilitar un mayor entendimiento.





11.- Gestionar la simbología de los nodos 12.- Gestionar la simbología de los depósitos 13.- Gestionar la simbología de los embalses 14.- Gestionar la simbología de las tuberías 15.- Gestionar la simbología de las válvulas 16.- Gestionar la simbología de las bombas 17.- Gestionar la inf. técnica de los nodos 18.- Gestionar la inf. técnica de los depósitos 19.- Gestionar la inf. técnica de los embalses 20.- Gestionar la inf. técnica de las tuberías



21.- Gestionar la inf. técnica de las válvulas 22.- Gestionar la inf. técnica de las bombas 23.- Representación tridimensional de la red 24.- Utilización de Software libre 25.- Descentralización (Módulos) 26.- Diseño simple del módulo CAD 27.- Documentación (Ayuda y Manual de usuario) 28.- Aplicación Distribuida 29.- Sostenible

Como se puede apreciar, ambas **evaluaciones** demuestran que el Módulo CAD a desarrollar tiene un posicionamiento muy ventajoso para cumplir de manera positiva con los requerimientos del cliente y responder eficientemente a la tarea de la definición espacial de redes hidráulicas de abasto.

## **Paso 6: Puntos de Venta.**

Consiste en determinar puntos de venta para nuevos productos a partir de los requerimientos expresados por el cliente, teniendo en cuenta la evaluación competitiva de los productos existentes. Debido a la naturaleza de la investigación, la cual se ha desarrollado en el marco propio de la colaboración, no se consideró el **paso 6, puntos de venta**.

## Anexo 2 Descripción Casos de Uso

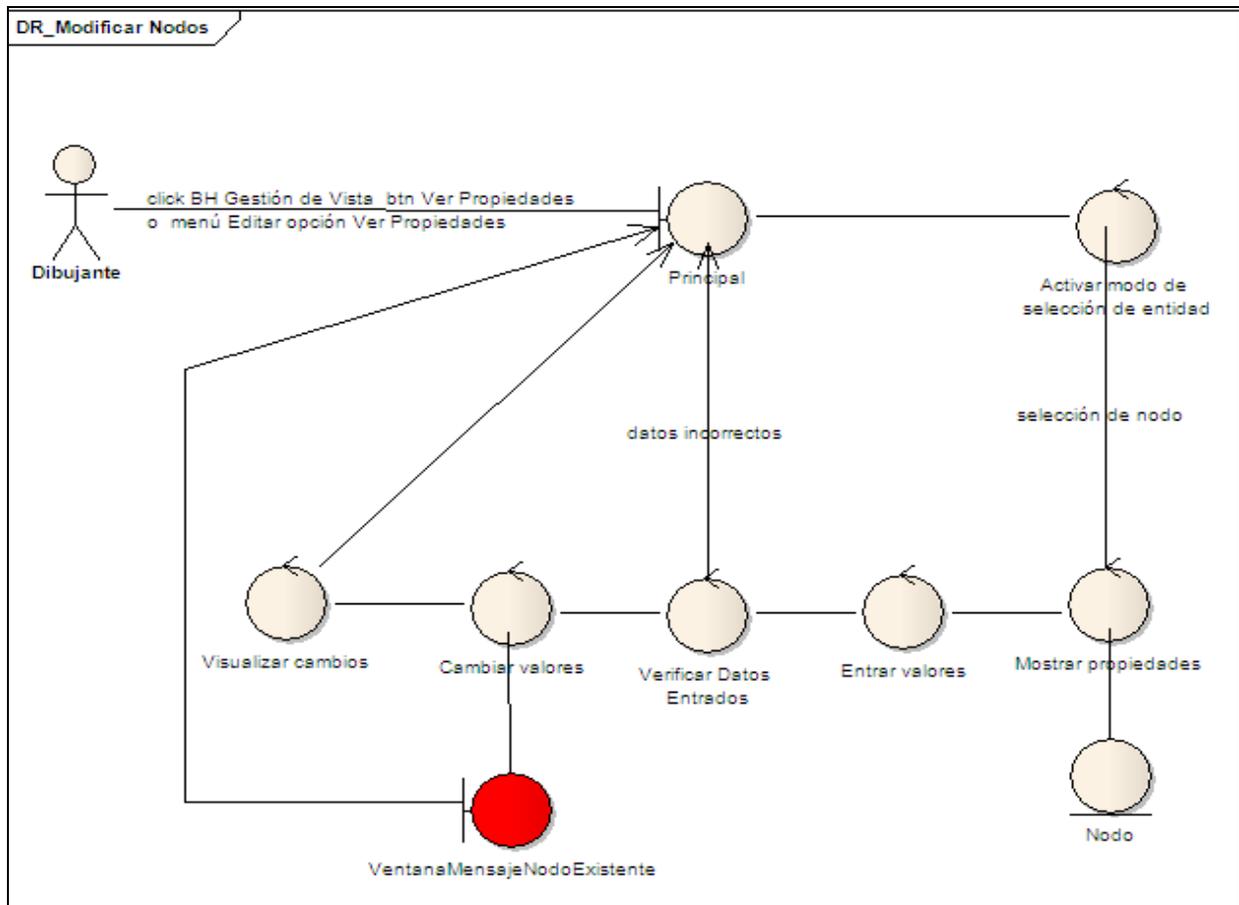
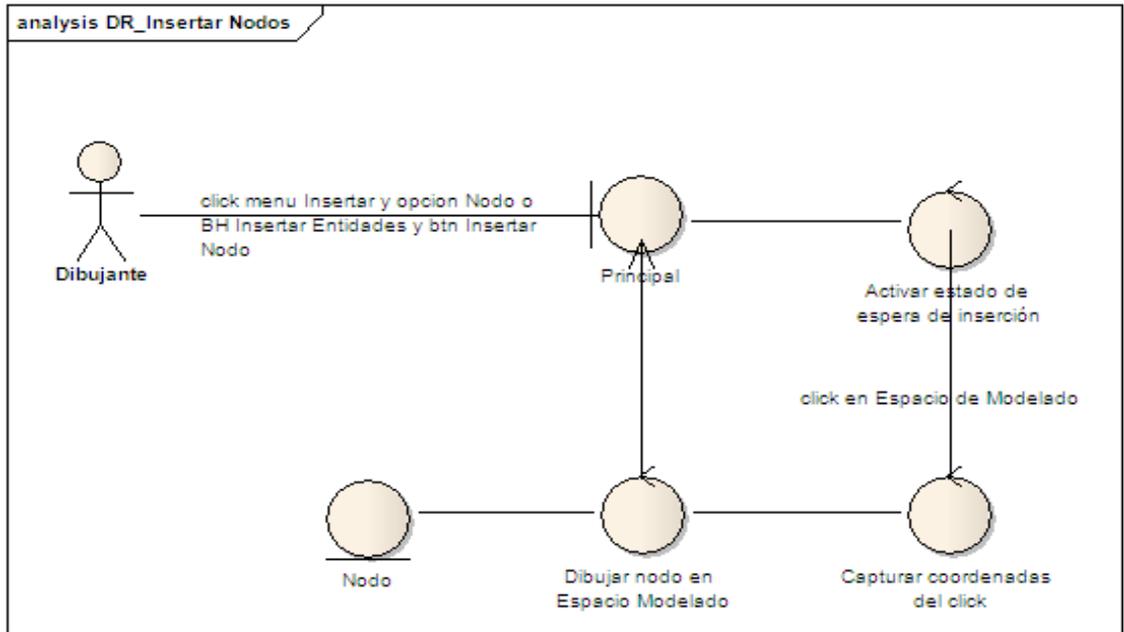
Nombre Caso de Uso	Descripción
<p style="text-align: center;"><b>Insertar Nodos</b></p>	<p><b>Curso Básico:</b> Para insertar un <i>Nodo</i> el <i>Dibujante</i> da click en el menú <i>Insertar</i> de la ventana <i>Principal</i> y selecciona la opción <i>Nodo</i> o acciona el botón <i>Insertar Nodo</i> de la barra de herramientas <i>Insertar Entidades</i> de la ventana <i>Principal</i>, y el sistema activa el estado de espera de inserción de un <i>Nodo</i> en el <i>Espacio de Modelado</i>. El <i>Dibujante</i> da click en el <i>Espacio de Modelado</i>, el sistema captura las coordenadas donde ha sido efectuado el click y dibuja la entidad de tipo <i>Nodo</i> en el <i>Espacio de Modelado</i> de la ventana <i>Principal</i>.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Modificar Nodo</b></p>	<p><b>Curso Básico:</b> Para modificar las propiedades correspondientes a un <i>Nodo</i>, el <i>Dibujante</i> da click en el botón <i>Ver Propiedades</i> de la barra de herramientas <i>Gestión de la Vista</i> o escoge la opción <i>Ver Propiedades</i> del menú <i>Editar</i>, el sistema activa el modo de selección de una entidad, el <i>Dibujante</i> selecciona el <i>Nodo</i> en el que desea realizar modificaciones, y el sistema muestra todas las propiedades, con valores por defecto, que corresponden al <i>Nodo</i> escogido (Código, cota de terreno,</p>

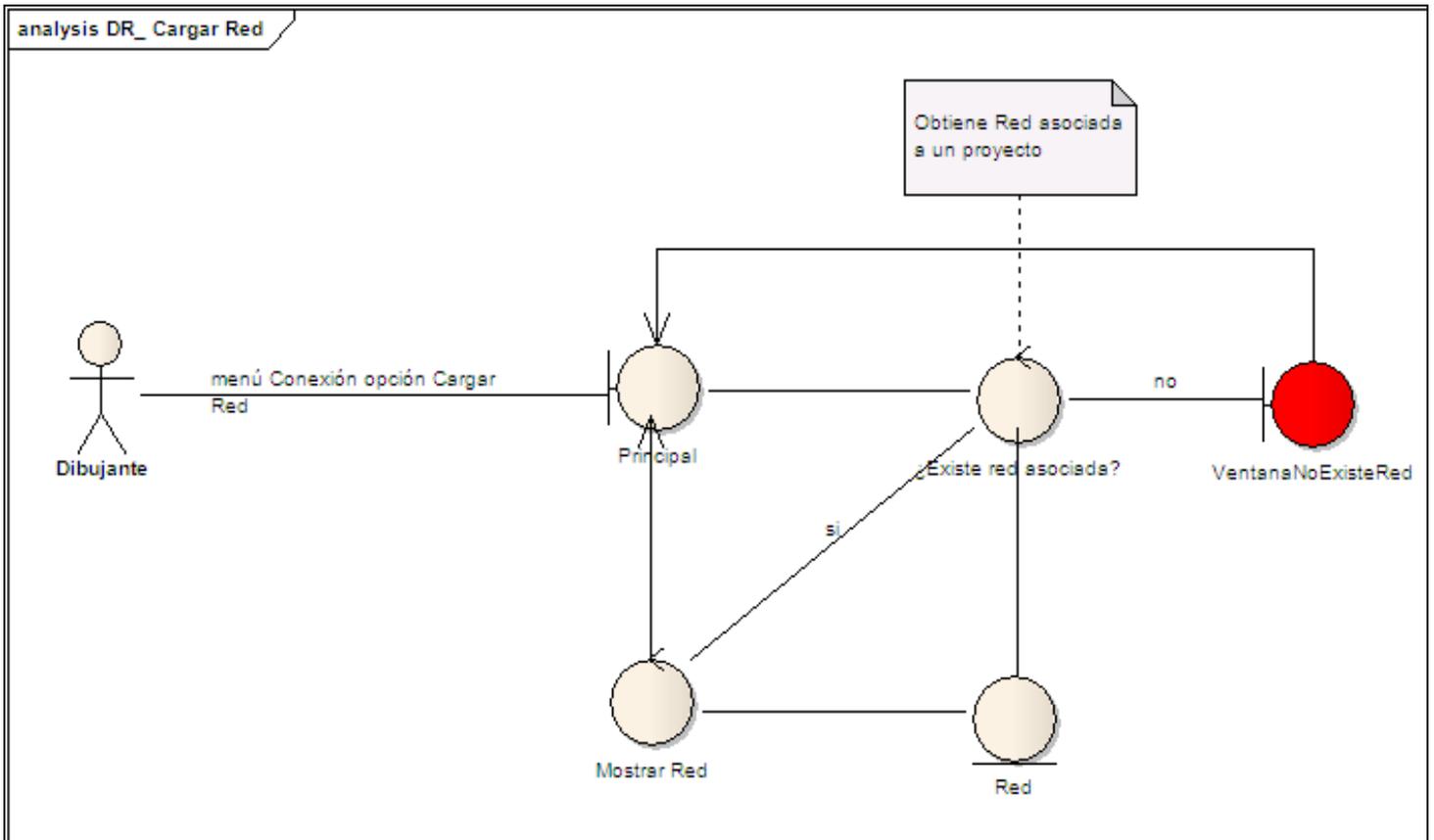
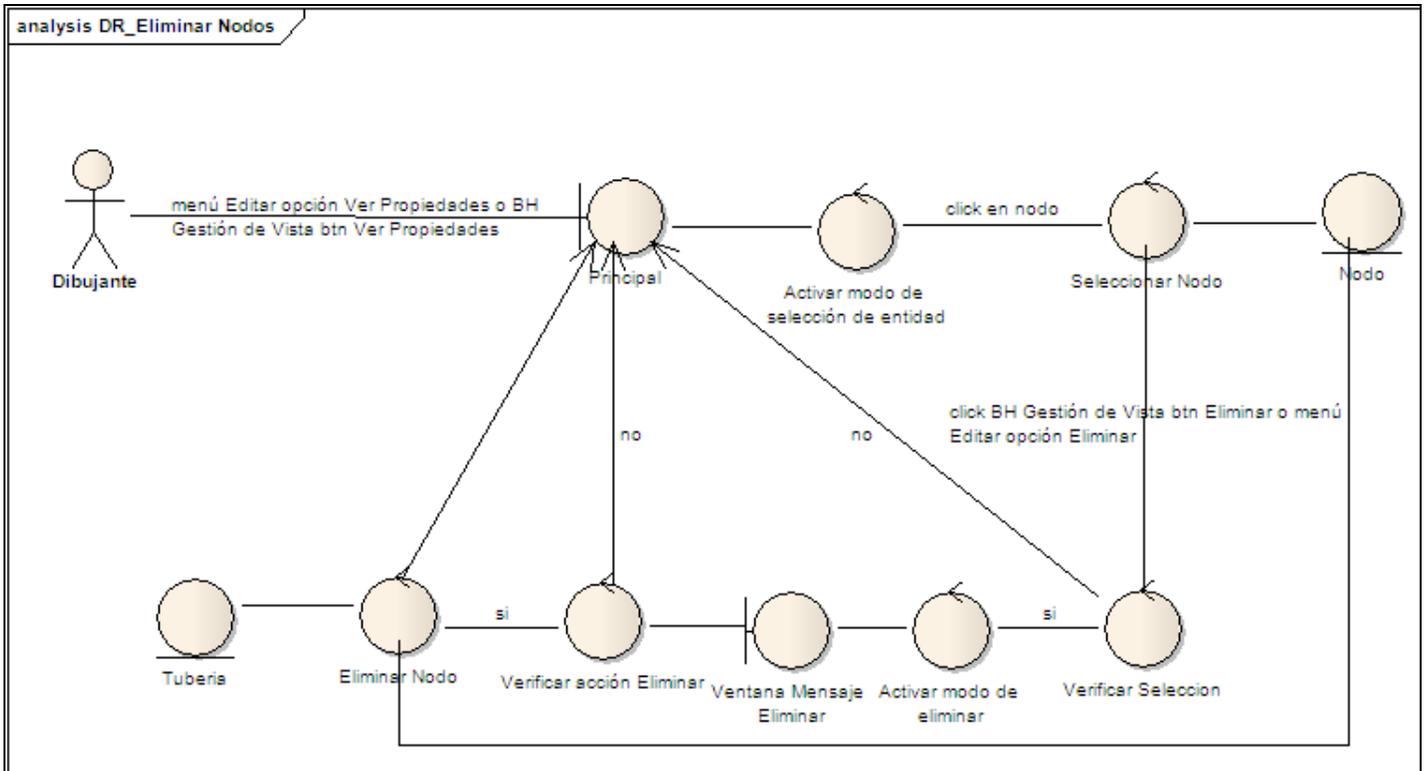
<p><b>Modificar Nodo</b></p>	<p>recubrimiento, cota corona, cota eje, cota piezométrica, descripción, coordenadas x, y, curva de demanda, coeficiente del emisor, calidad , presión) en la pestaña <i>Propiedades</i>.</p> <p>El <i>Dibujante</i> entra o selecciona el valor en la celda de la propiedad del Nodo que va a modificar de la pestaña <i>Propiedades</i>, el sistema verifica los valores entrados, si son correctos el sistema cambia el valor en la celda de la propiedad seleccionada, y visualiza los cambios del Nodo en el <i>Espacio Modelo</i>.</p> <p><b>Curso Alterno:</b>  Código de nodo repetido: El <i>Dibujante</i> cambia el valor correspondiente al campo Código por un valor existente, el sistema muestra una ventana con un mensaje aclarando que ese nodo ya existe.</p> <p>Datos incorrectos: El <i>Dibujante</i> entra valores que no se correspondan con su tipo, el sistema no modificará ni actualizará en el Espacio de Modelado los valores entrados.</p> <p><b>Curso Básico:</b> Para eliminar nodos el <i>Dibujante</i> da click en el botón <i>Ver Propiedades</i> de la barra de herramientas</p>
------------------------------	---

<p style="text-align: center;"><b>Eliminar Nodo</b></p>	<p><i>Gestión de la Vista</i> o escoge la opción <i>Ver Propiedades</i> del menú <i>Editar</i>, el sistema activa el modo de selección de una entidad, el <i>Dibujante</i> da click en el nodo que desea remover y el sistema muestra las propiedades del mismo, luego el <i>Dibujante</i> presiona el botón <i>Eliminar</i> o escoge la opción <i>Eliminar</i> del menú <i>Editar</i>, el sistema comprueba que se ha seleccionado una entidad y muestra un mensaje de verificación para comprobar si realmente el <i>Dibujante</i> desea eliminar el <i>Nodo</i> seleccionado, en caso afirmativo el sistema elimina del <i>Espacio de Modelado</i> el <i>Nodo</i> así como las tuberías asociadas a él.</p> <p><b>Curso Alternativo:</b> Verificación de eliminación de <i>Nodo</i> rechazada: El <i>Dibujante</i> presiona el botón No de la ventana <i>Eliminar Entidad</i>, el sistema oculta la ventana <i>Eliminar Entidad</i> y no elimina el <i>Nodo</i> seleccionado.</p>
	<p><b>Curso Básico:</b> Para cargar una red hidráulica el <i>Dibujante</i> selecciona la opción <i>Cargar Red</i> del menú <i>Conexión</i>, el sistema consulta la BD y verifica si existe una red asociada al proyecto en el cual se esté trabajando, en caso afirmativo el sistema muestra la red</p>

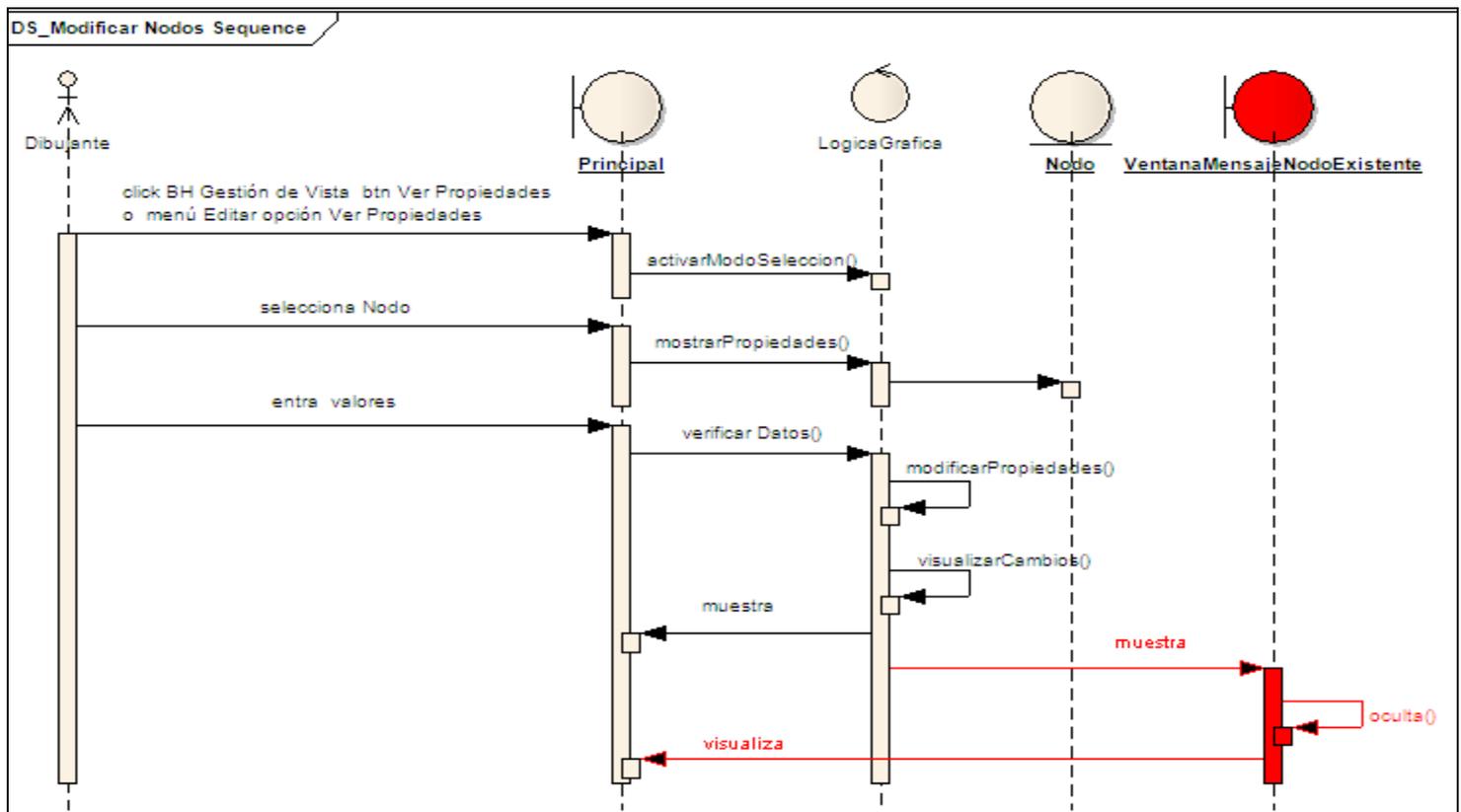
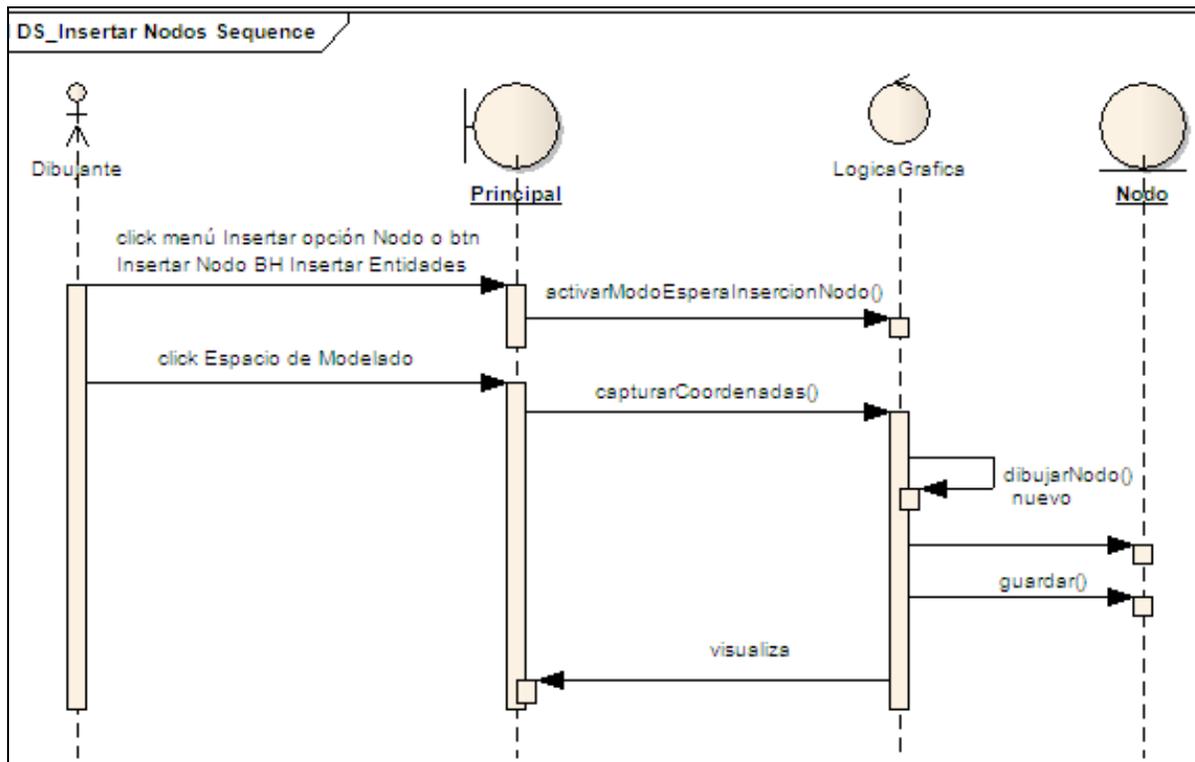
<p><b>Cargar Red</b></p>	<p>correspondiente al Dibujante, el <i>Dibujante</i> da click en la pestaña <i>Entidades</i> y se carga un árbol donde aparecen los elementos que componen esa red.</p> <p><b>Curso Alterno:</b> No existencia de red asociada al <i>proyecto</i>: El <i>proyecto</i> no tiene asociada ninguna red, y el sistema muestra una ventana con un mensaje aclarando que no existe Red asociada.</p>
--------------------------	--

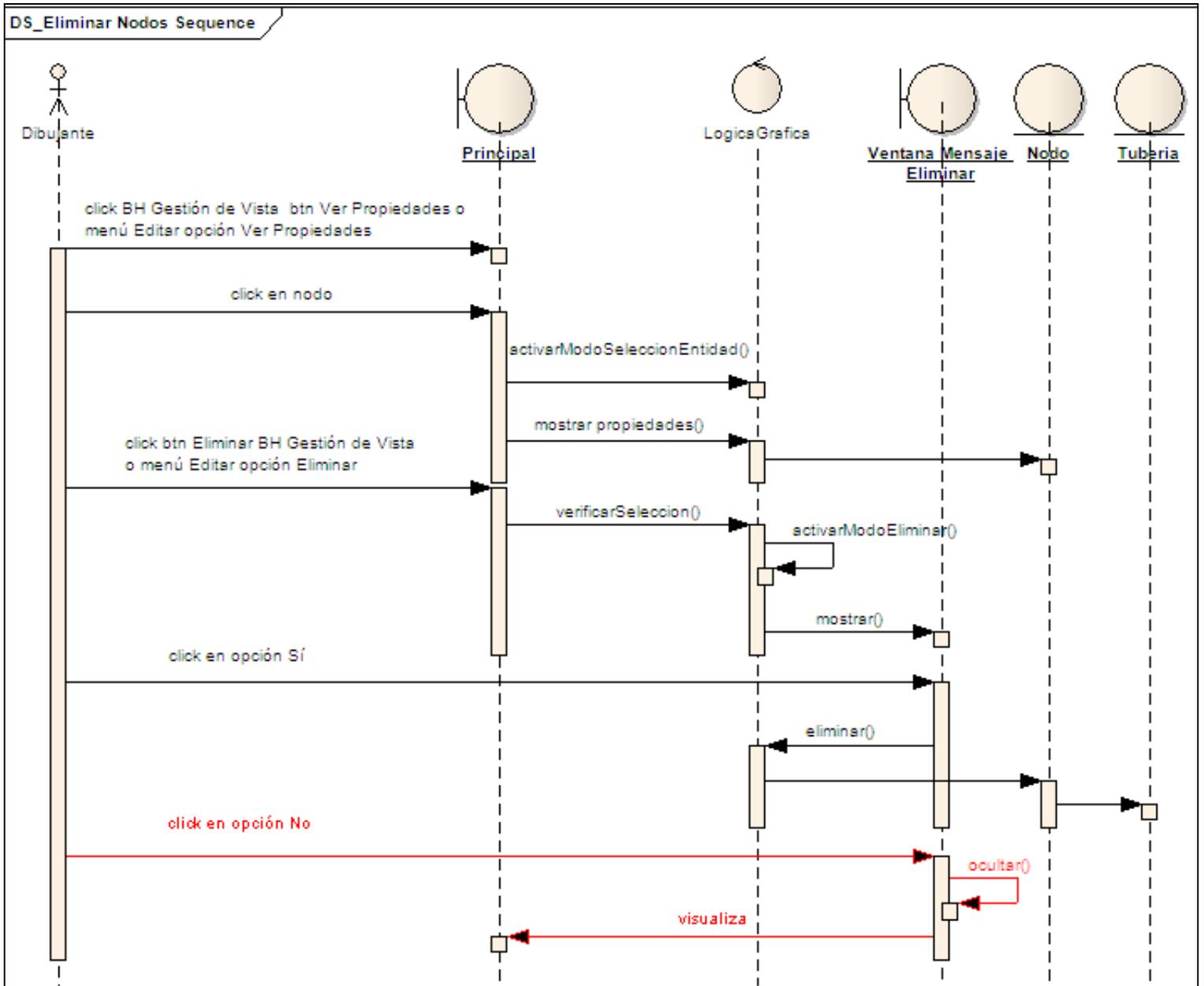
### Anexo 3 Diagramas de Robustez

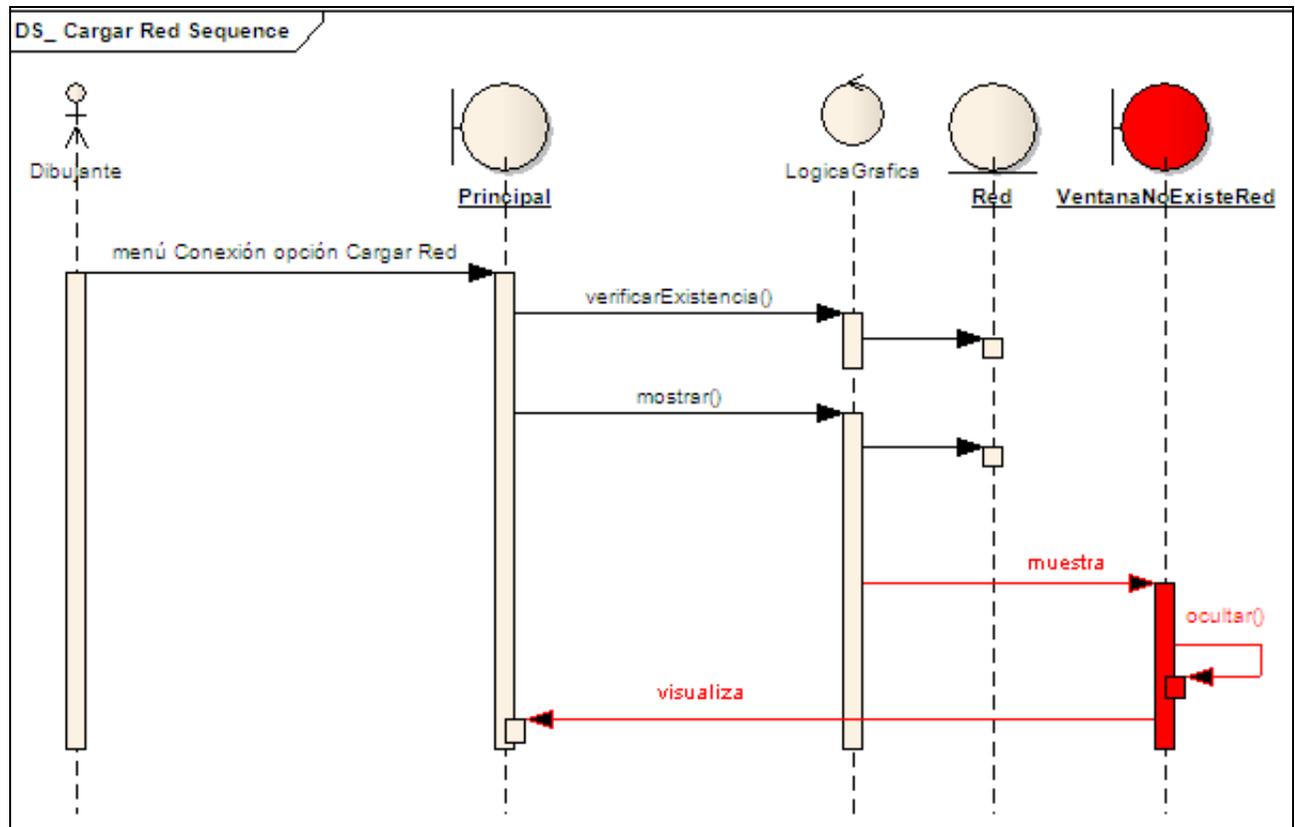




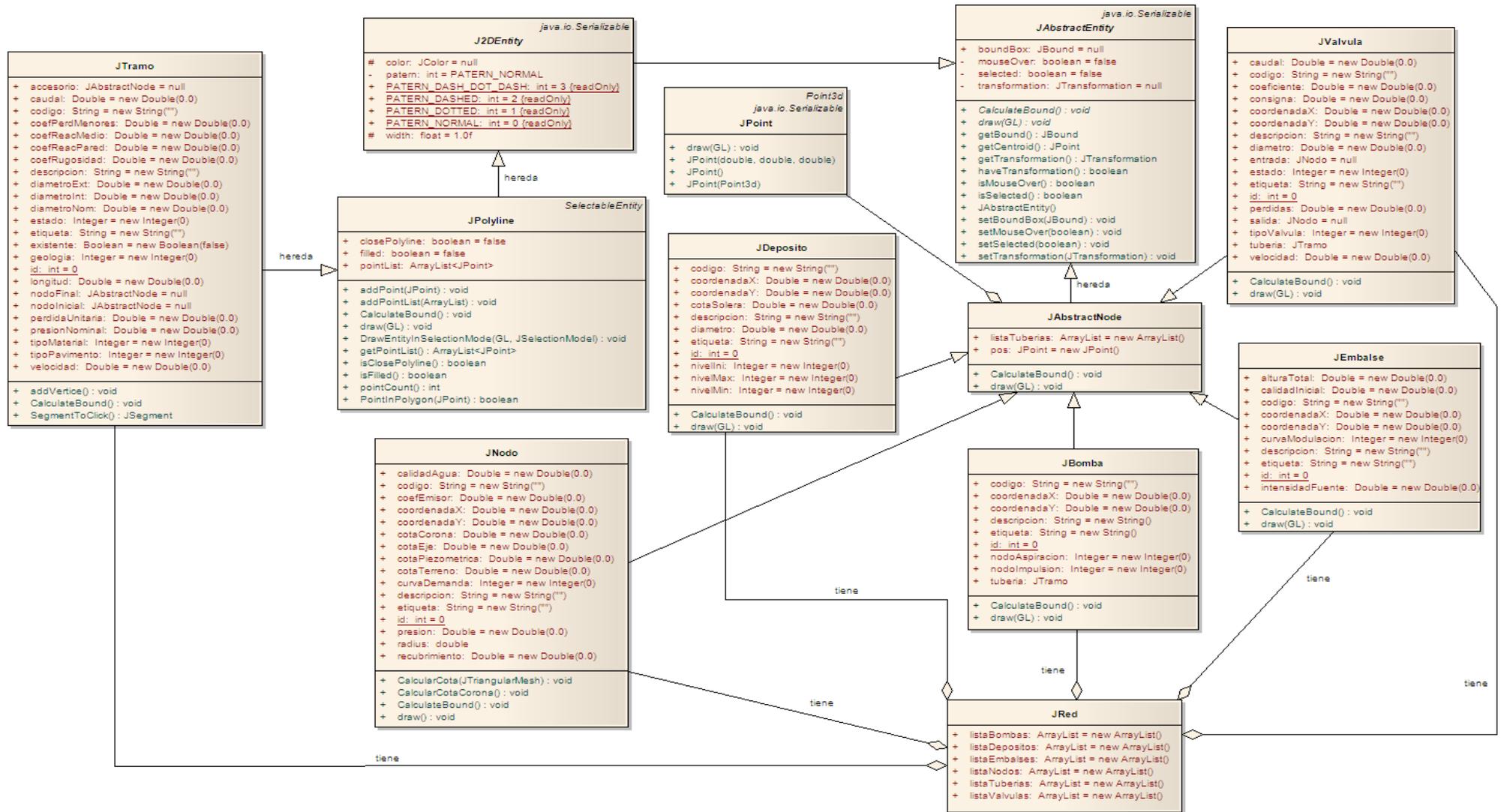
### Anexo 4 Diagramas de Secuencia





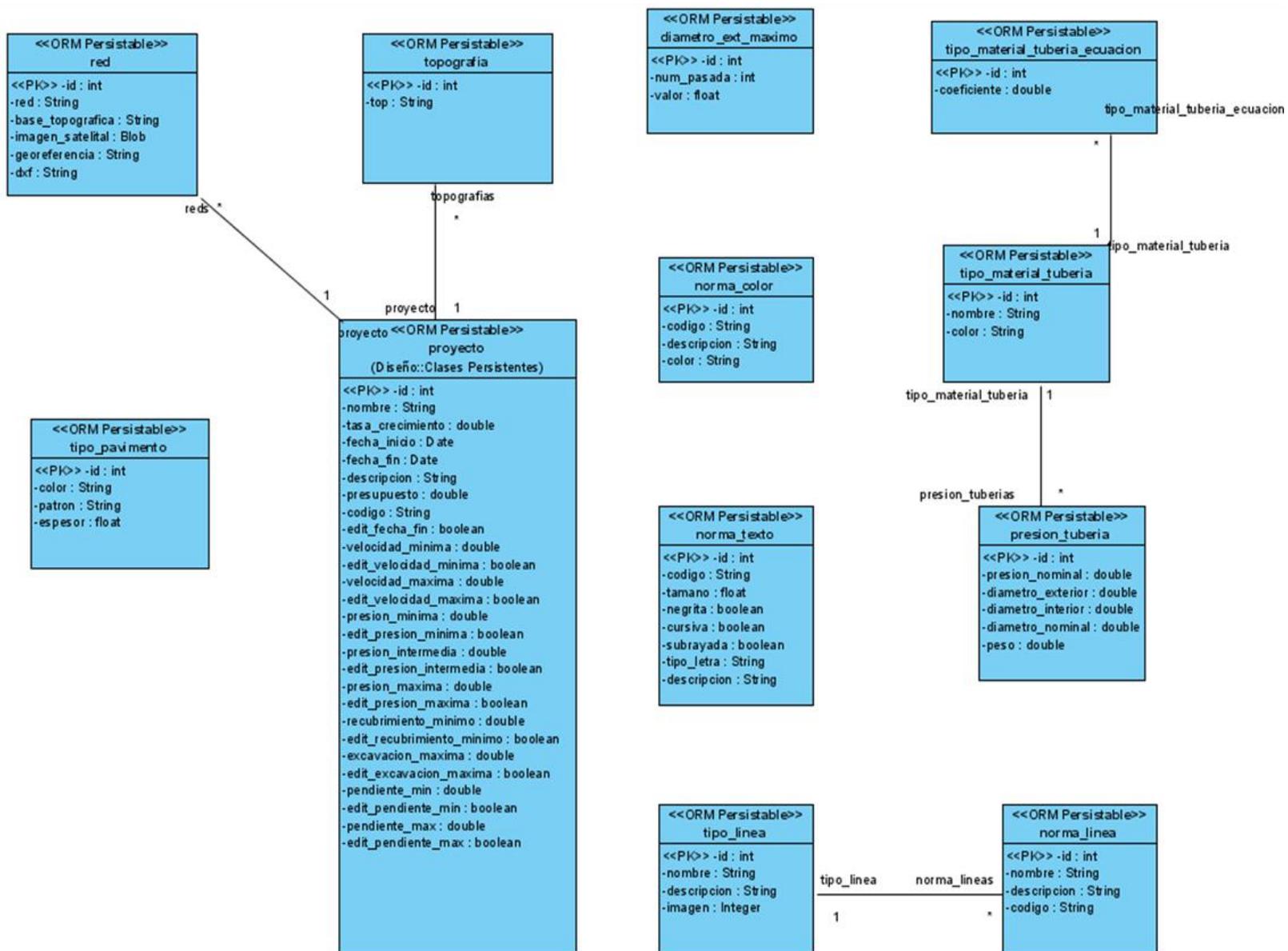


## Anexo 5 Diagrama de Clases

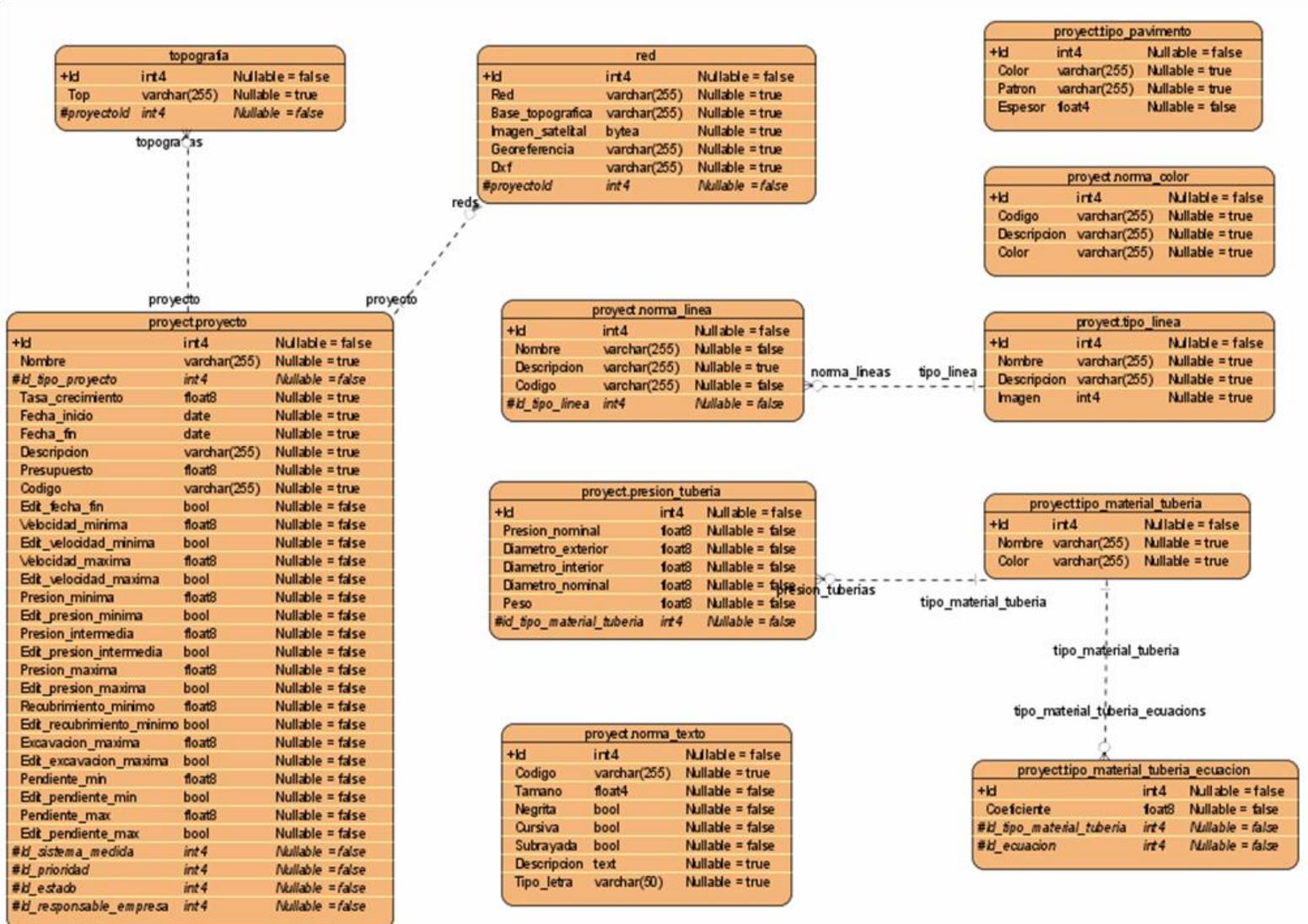




## Anexo 6 Diagrama de Clases Persistentes



Anexo 7 Modelo de Datos



---

**Anexo 8 Identificación de las características para realizar la estimación del costo, tiempo y esfuerzo asociados a la construcción del sistema.**

**Entradas externas.**

<b>Nombre de la entrada externa (EI)</b>	<b>Cantidad de ficheros</b>	<b>Cantidad de elementos de datos</b>	<b>Nivel de complejidad</b>
Insertar nodo	1	14	Baja
Modificar nodo	1	14	Baja
Eliminar nodo	1	14	Baja
Insertar depósito	1	10	Baja
Modificar depósito	1	10	Baja
Eliminar depósito	1	10	Baja
Insertar embalse	1	9	Baja
Modificar embalse	1	9	Baja
Eliminar embalse	1	9	Baja
Insertar tubería	1	20	Media
Modificar tubería	1	20	Media
Eliminar tubería	1	20	Media
Insertar bomba	1	10	Baja
Modificar bomba	1	10	Baja
Eliminar bomba	1	10	Baja
Insertar válvula	1	13	Baja
Modificar válvula	1	13	Baja
Eliminar válvula	1	13	Baja

**Anexo 8 (Continuación)****Salidas Externas (EO).**

<b>Nombre de las salidas externas (EO)</b>	<b>Cantidad de ficheros</b>	<b>Cantidad de elementos de datos</b>	<b>Nivel de complejidad</b>
Cargar Ficheros INP	0	10	Baja

**Consultas Externas (EQ).**

<b>Nombre de las peticiones externas (EQ).</b>	<b>Cantidad de ficheros</b>	<b>Cantidad de elementos de datos</b>	<b>Nivel de complejidad</b>
Cargar Red	1	6	Baja
Cargar Plano DXF	1	5	Baja
Cargar Imagen Satelital	1	3	Baja
Cargar Base Topográfica	1	3	Baja

**Ficheros lógicos internos (ILF).**

<b>Nombre del fichero interno (ILF)</b>	<b>Cantidad de record</b>	<b>Cantidad de elementos de Datos</b>	<b>Nivel de complejidad</b>
red	1	6	Baja
proyecto	1	27	Baja

Anexos

---

tipo_pavimento	1	4	Baja
topografia	1	2	Baja
diametro_ext_maximo	1	3	Baja
norma_color	1	4	Baja
norma_texto	1	8	Baja
tipo_linea	1	4	Baja
norma_linea	1	4	Baja
presion_tuberia	1	6	Baja
tipo_material_tuberia	1	6	Baja

---

**Anexo 9 Encuesta para la determinación del coeficiente de competencias de expertos.**

**Nombre y apellidos:** \_\_\_\_\_.

**Cargo que desempeña:** \_\_\_\_\_.

Usted ha sido seleccionado como posible experto para ser consultado respecto al Módulo para la definición espacial de redes hidráulicas de abasto.

Necesitamos, antes de realizarle la consulta correspondiente, como parte del método empírico de investigación “consulta a expertos”, determinar su coeficiente de competencia en este tema, a los efectos de reforzar la validez del resultado de la consulta que realizaremos. Por esta razón, se le solicita que responda las siguientes preguntas de la forma más objetiva que le sea posible.

1. Marque con una cruz (X), en la tabla que se muestra a continuación, el valor que se corresponde con el grado de conocimientos que usted posee sobre el tema. Considere que la escala que le presentamos es ascendente, es decir, el conocimiento sobre el tema referido va creciendo desde 0 hasta 10.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

2. Realice una autovaloración del grado de influencia que cada una de las fuentes que le presentamos a continuación, ha tenido en su conocimiento y criterio sobre el tema tratado. Para ello marque con una X, según corresponda:

**Anexo 9 (Continuación)**

<b>Fuentes de argumentación</b>	<b>Grado de influencia de cada una de las fuentes.</b>		
	<b>A (alto)</b>	<b>M (medio)</b>	<b>B (bajo)</b>
Análisis teóricos realizados por usted.			
Su experiencia obtenida.			
Trabajo de autores nacionales.			
Trabajo de autores extranjeros.			
Su propio conocimiento del estado del problema en el extranjero.			
Su intuición.			

**Muchas gracias.**

### Anexo 10 Encuesta aplicada a expertos.

Estimado compañero(a), la Oficina de Cooperación Tecnológica de la Universidad de Holguín, con motivo de recoger ideas, opiniones y sugerencias respecto al grado de relevancia de las posibilidades que brinda el Módulo CAD para la definición espacial de redes hidráulicas de abasto recientemente desarrollado, se aplica esta encuesta. Por lo que la información que brinde será crucial para estos objetivos; rogamos que al responder estas preguntas lo haga de la manera más explícita posible. De antemano gracias.

1. Actualmente usted es:    \_ Directivo    \_ Trabajador

2. A continuación sometemos a su valoración una serie de elementos que se consideran importantes en la evaluación del Módulo CAD para la definición espacial de redes hidráulicas de abasto recientemente desarrollado.

Para esta evaluación se le propone las siguientes categorías:

Muy Adecuado (**MA**)       Bastante Adecuado (**BA**)       Adecuado (**A**)

Poco Adecuado (**PA**)       No Adecuado (**NA**)

Marque con una X la categoría que considera adecuada para cada criterio:

<b>Criterios</b>	<b>MA</b>	<b>BA</b>	<b>A</b>	<b>PA</b>	<b>NA</b>
<i>¿Cómo evalúa la calidad de la representación gráfica de los elementos que componen la red?</i>					
<i>¿Cómo evalúa el cálculo automático de las cotas en los nodos?</i>					
<i>¿Cómo evalúa el tiempo de respuesta del módulo?</i>					

<i>¿Cómo valora la forma de representar las bombas y válvulas?</i>					
<i>¿Cómo evalúa la gestión de la información referente a los elementos que conforman la red?</i>					
<i>¿Cómo evalúa el cálculo automático de las longitudes en las tuberías?</i>					
<i>¿Cómo evalúa el módulo en cuanto a facilidad y comodidad?</i>					
<i>¿Cómo valora la adecuación del módulo a las normas exigentes en la empresa?</i>					
<i>¿Qué nivel de satisfacción tiene con la utilidad que le proporcionará el módulo?</i>					

3. ¿Qué otros elementos novedosos encuentra en la aplicación?

---

---

---

4. Si quisiera opinar alguna u otra idea que no se haya abordado en esta encuesta, por favor, exprésela a continuación.

---

---

---

*Gracias por su amable opinión.*

### Anexo 11 Procesamiento de la encuesta de opinión de los expertos aplicando el método Delphy.

Tabla de frecuencia absoluta						
Crterios	MA	BA	A	PA	NA	TOTAL
<i>¿Cómo evalúa la calidad de la representación gráfica de los elementos que componen la red?</i>	10	4	0	0	0	14
<i>¿Cómo evalúa el cálculo automático de las cotas en los nodos?</i>	11	3	0	0	0	14
<i>¿Cómo evalúa el tiempo de respuesta del módulo?</i>	9	4	1	0	0	14
<i>¿Cómo valora la forma de representar las bombas y válvulas?</i>	10	4	0	0	0	14
<i>¿Cómo evalúa la gestión de la información referente a los elementos que conforman la red?</i>	12	2	0	0	0	14
<i>¿Cómo evalúa el cálculo automático de las longitudes en las tuberías?</i>	10	3	1	0	0	14
<i>¿Cómo evalúa el módulo en cuanto a facilidad y comodidad?</i>	12	2	0	0	0	14
<i>¿Cómo valora la adecuación del módulo a las normas exigentes en la empresa?</i>	12	2	0	0	0	14
<i>¿Qué nivel de satisfacción tiene con la utilidad que le proporcionará el módulo?</i>	10	4	0	0	0	14

## Anexo 11 (Continuación)

<b>Tabla de frecuencia absoluta acumulada</b>					
<b>Criterios</b>	<b>MA</b>	<b>BA</b>	<b>A</b>	<b>PA</b>	<b>NA</b>
<i>¿Cómo evalúa la calidad de la representación gráfica de los elementos que componen la red?</i>	10	14	14	14	14
<i>¿Cómo evalúa el cálculo automático de las cotas en los nodos?</i>	11	14	14	14	14
<i>¿Cómo evalúa el tiempo de respuesta del módulo?</i>	9	13	14	14	14
<i>¿Cómo valora la forma de representar las bombas y válvulas?</i>	10	14	14	14	14
<i>¿Cómo evalúa la gestión de la información referente a los elementos que conforman la red?</i>	12	14	14	14	14
<i>¿Cómo evalúa el cálculo automático de las longitudes en las tuberías?</i>	10	13	14	14	14
<i>¿Cómo evalúa el módulo en cuanto a facilidad y comodidad?</i>	12	14	14	14	14
<i>¿Cómo valora la adecuación del módulo a las normas exigentes en la empresa?</i>	12	14	14	14	14
<i>¿Qué nivel de satisfacción tiene con la utilidad que le proporcionará el módulo?</i>	10	14	14	14	14

## Anexo 11 (Continuación)

Tabla del inverso de la frecuencia absoluta acumulada				
Criterios	MA	BA	A	PA
<i>¿Cómo evalúa la calidad de la representación gráfica de los elementos que componen la red?</i>	0,7143	1	1	1
<i>¿Cómo evalúa el cálculo automático de las cotas en los nodos?</i>	0,7857	1	1	1
<i>¿Cómo evalúa el tiempo de respuesta del módulo?</i>	0,6429	0,9286	1	1
<i>¿Cómo valora la forma de representar las bombas y válvulas?</i>	0,7143	1	1	1
<i>¿Cómo evalúa la gestión de la información referente a los elementos que conforman la red?</i>	0,8571	1	1	1
<i>¿Cómo evalúa el cálculo automático de las longitudes en las tuberías?</i>	0,7143	0,9286	1	1
<i>¿Cómo evalúa el módulo en cuanto a facilidad y comodidad?</i>	0,8571	1	1	1
<i>¿Cómo valora la adecuación del módulo a las normas exigentes en la empresa?</i>	0,8571	1	1	1
<i>¿Qué nivel de satisfacción tiene con la utilidad que le proporcionará el módulo?</i>	0,7143	1	1	1

**Anexo 11 (Continuación)**

<b>Tabla de determinación de los puntos de cortes</b>							
<b>Criterios</b>	<b>MA</b>	<b>BA</b>	<b>A</b>	<b>PA</b>	<b>Suma</b>	<b>Promedio</b>	<b>N - Prom.</b>
<i>¿Cómo evalúa la calidad de la representación gráfica de los elementos que componen la red?</i>	0,57	3,49	3,49	3,49	11,04	2,76	-0,07
<i>¿Cómo evalúa el cálculo automático de las cotas en los nodos?</i>	0,79	3,49	3,49	3,49	11,26	2,82	-0,13
<i>¿Cómo evalúa el tiempo de respuesta del módulo?</i>	0,37	1,47	3,49	3,49	8,82	2,21	0,48
<i>¿Cómo valora la forma de representar las bombas y válvulas?</i>	0,57	3,49	3,49	3,49	11,04	2,76	-0,07
<i>¿Cómo evalúa la gestión de la información referente a los elementos que conforman la red?</i>	1,07	3,49	3,49	3,49	11,54	2,89	-0,2
<i>¿Cómo evalúa el cálculo automático de las longitudes en las tuberías?</i>	0,57	1,47	3,49	3,49	9,02	2,26	0,43
<i>¿Cómo evalúa el módulo en cuanto a facilidad y comodidad?</i>	1,07	3,49	3,49	3,49	11,54	2,89	-0,2
<i>¿Cómo valora la adecuación del módulo a las normas exigentes en la empresa?</i>	1,07	3,49	3,49	3,49	11,54	2,89	-0,2
<i>¿Qué nivel de satisfacción tiene con la utilidad que le proporcionará el módulo?</i>	0,57	3,49	3,49	3,49	11,04	2,76	-0,07
Suma	6,65	27,37	31,41	31,41	96,84		
Punto de corte	0,74	3,04	3,49	3,49	10,76	2,69	

**Anexo 11 (Continuación)**

<b>Criterios</b>	<b>MA</b>	<b>BA</b>	<b>A</b>	<b>PA</b>	<b>NA</b>
<i>¿Cómo evalúa la calidad de la representación gráfica de los elementos que componen la red?</i>	<b>Si</b>	-	-	-	-
<i>¿Cómo evalúa el cálculo automático de las cotas en los nodos?</i>	<b>Si</b>	-	-	-	-
<i>¿Cómo evalúa el tiempo de respuesta del módulo?</i>	<b>Si</b>	-	-	-	-
<i>¿Cómo valora la forma de representar las bombas y válvulas?</i>	<b>Si</b>	-	-	-	-
<i>¿Cómo evalúa la gestión de la información referente a los elementos que conforman la red?</i>	<b>Si</b>	-	-	-	-
<i>¿Cómo evalúa el cálculo automático de las longitudes en las tuberías?</i>	<b>Si</b>	-	-	-	-
<i>¿Cómo evalúa el módulo en cuanto a facilidad y comodidad?</i>	<b>Si</b>	-	-	-	-
<i>¿Cómo valora la adecuación del módulo a las normas exigentes en la empresa?</i>	<b>Si</b>	-	-	-	-
<i>¿Qué nivel de satisfacción tiene con la utilidad que le proporcionará el módulo?</i>	<b>Si</b>	-	-	-	-