Software para la optimización de redes de distribución de agua potable

JHawanet Framework

Gabriel Sanhueza

Defensa de Título
Universidad de Talca

Agosto, 2020

Contexto

- Escasez de agua
- Sistemas que deben estar las 24 horas del día activo
- Múltiples criterios para optimizar los sistemas de distribución
- Las redes de agua (RDA) involucran dos tipos de problemas:
  - Problema de diseño
  - Problema de operación

Problema

- No se cuenta con las suficientes herramientas y tiempo para la correcta gestión de las redes de agua potable.
- El escoger las especificaciones es una tarea difícil debido a que hay que evaluar el rendimiento general del sistema.

Propuesta de solución

Aplicación de escritorio extensible que permita optimizar procesos de diseño y operación en RDA.
Problemas implementados:

- Problema de diseño de RDA basado en el costo de tuberías.
- Problema de operación basado en el Régimen de bombeo.

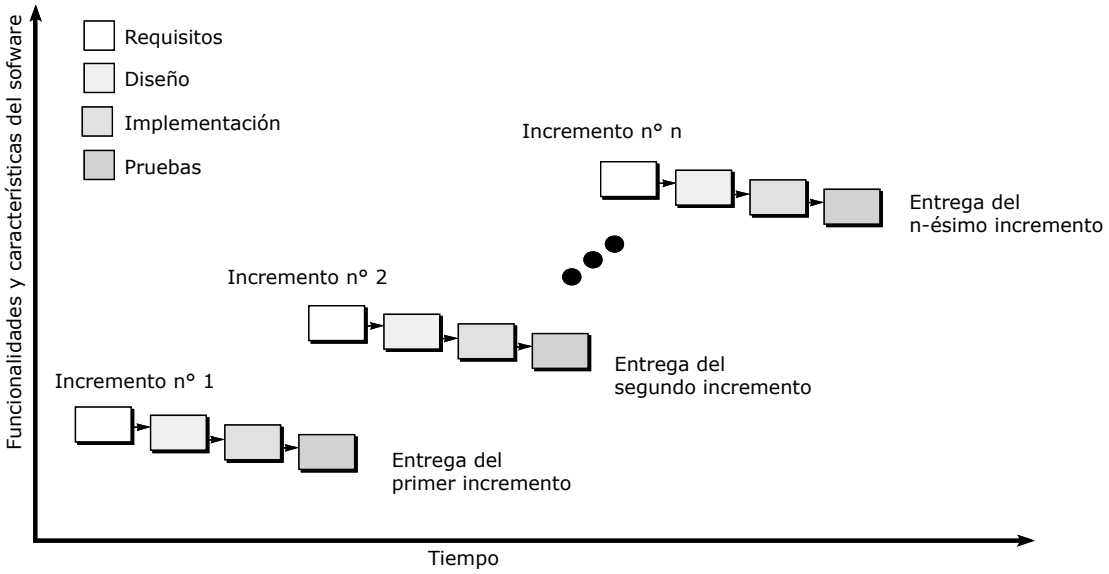
Objetivos

- Objetivo general
  - Diseñar y desarrollar una aplicación extensible de escritorio para optimizar el diseño y operación de una red de distribución de agua.
- Objetivos específicos
  - Diseñar software orientado a la optimización de RDA basado en la arquitectura lógica del framework multiobjetivo Jmetal.
  - Implementar un algoritmo metaheurístico de optimización monoobjetivo para aplicar al problema de diseño de RDA.
  - Implementar un algoritmo metaheurístico de optimización multiobjetivo para aplicar al problema de Régimen de bombeo en RDA.
  - Diseñar e implementar la interfaz gráfica del sistema de optimización de redes de agua potable desarrollado durante este proyecto.

Iterativa e incremental

Fases:

- Análisis
- Diseño
- Implementación
- Pruebas



Iterativa e incremental

Adaptaciones realizadas a la metodología

- Disminuir la cantidad de documentación de cada fase
- Llevar a cabo más de una fase en una iteración al mismo tiempo
- Los roles de analista, diseñador, implementador y tester son llevado a cabo por una sola persona.

Concepción del proyecto

- Propuesta por parte del profesor Daniel Mora
- Proyecto Optimization of real-world water distribution systems and hydraulic elements using computational fluid dynamics (cfd) and evolutionary algorithms
- Jmetal + EpanetToolkit

Planificación

- **Iteración 1:** Requisitos y Arquitectura
- **Iteración 2:** Problema monoobjetivo y Algoritmo Genético (GA)
- **Iteración 3:** Interfaz gráfica (GUI)
- **Iteración 4:** Problema multiobjetivo y Algoritmo Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGAII)
- **Iteración 5:** Experimentos y simulación hidraúlica.
- **Iteración 6:** Afinación de detalles.

Tecnología utilizada

Requisitos

- Captura, priorización y especificación formal de los requisitos
- 32 Requisitos de usuario
- Documento de especificación formal de requisitos.

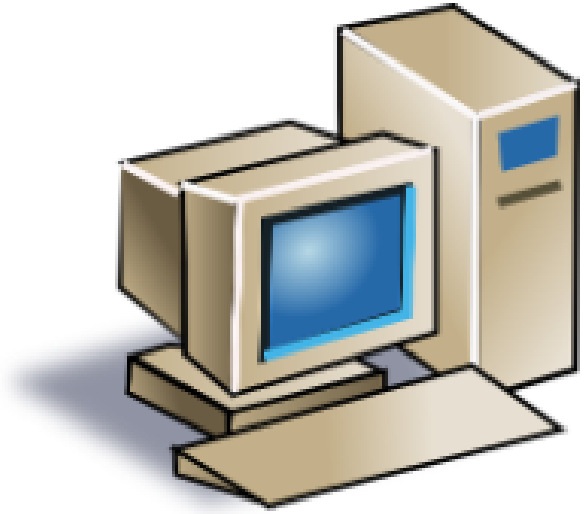
RU004 – Visualizar red en una interfaz gráfica.	
Descripción:	Se debe mostrar en la interfaz gráfica una representación de la red (Un dibujo, etc) generada a partir de la información contenida en el archivo inp.
Fuente:	Jimmy Gutiérrez
Prioridad:	Crítica
Estabilidad:	Intransable
Fecha de actualización:	09/09/2019
Estado:	Cumple
Incremento:	3
Tipo:	Funcional

Diseño

- Diseñar los módulos de la aplicación y la interacción entre ellos.
- Documento de diseño
  - Arquitectura Física
  - Arquitectura Lógica
  - Diagrama de clases
  - Diagrama de secuencia
  - Diseño de interfaces

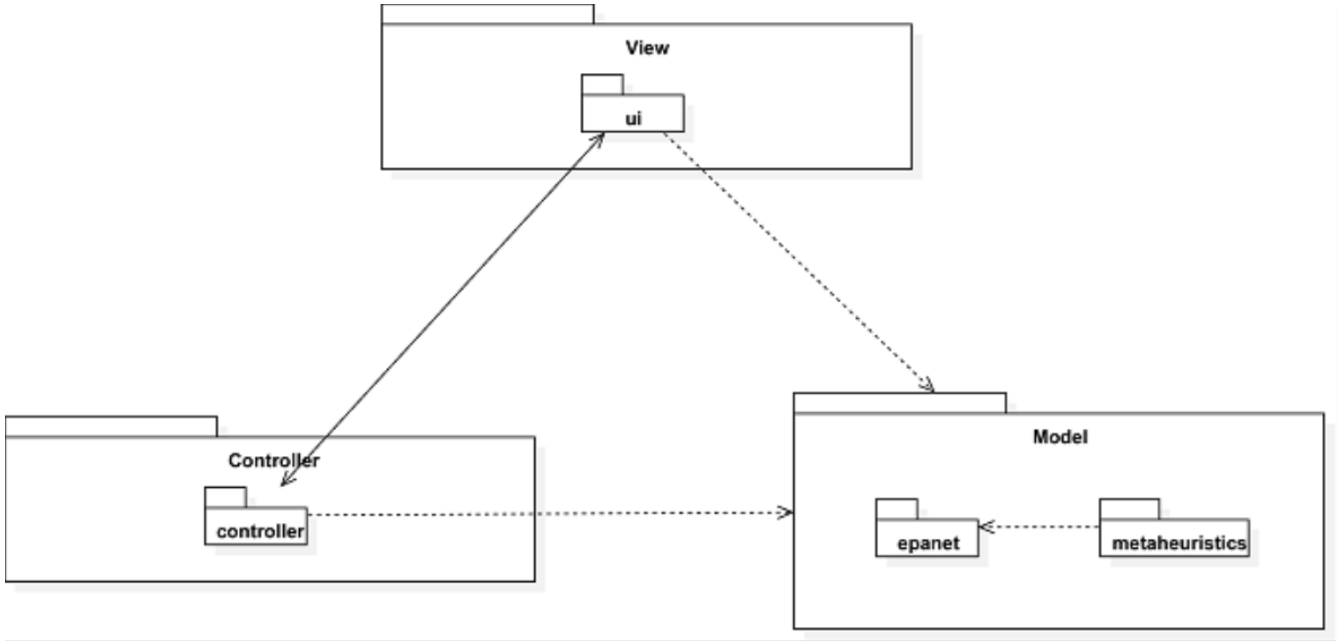
Arquitectura Fisica

Monolítica



Arquitectura Lógica

Modelo-Vista-Controlador

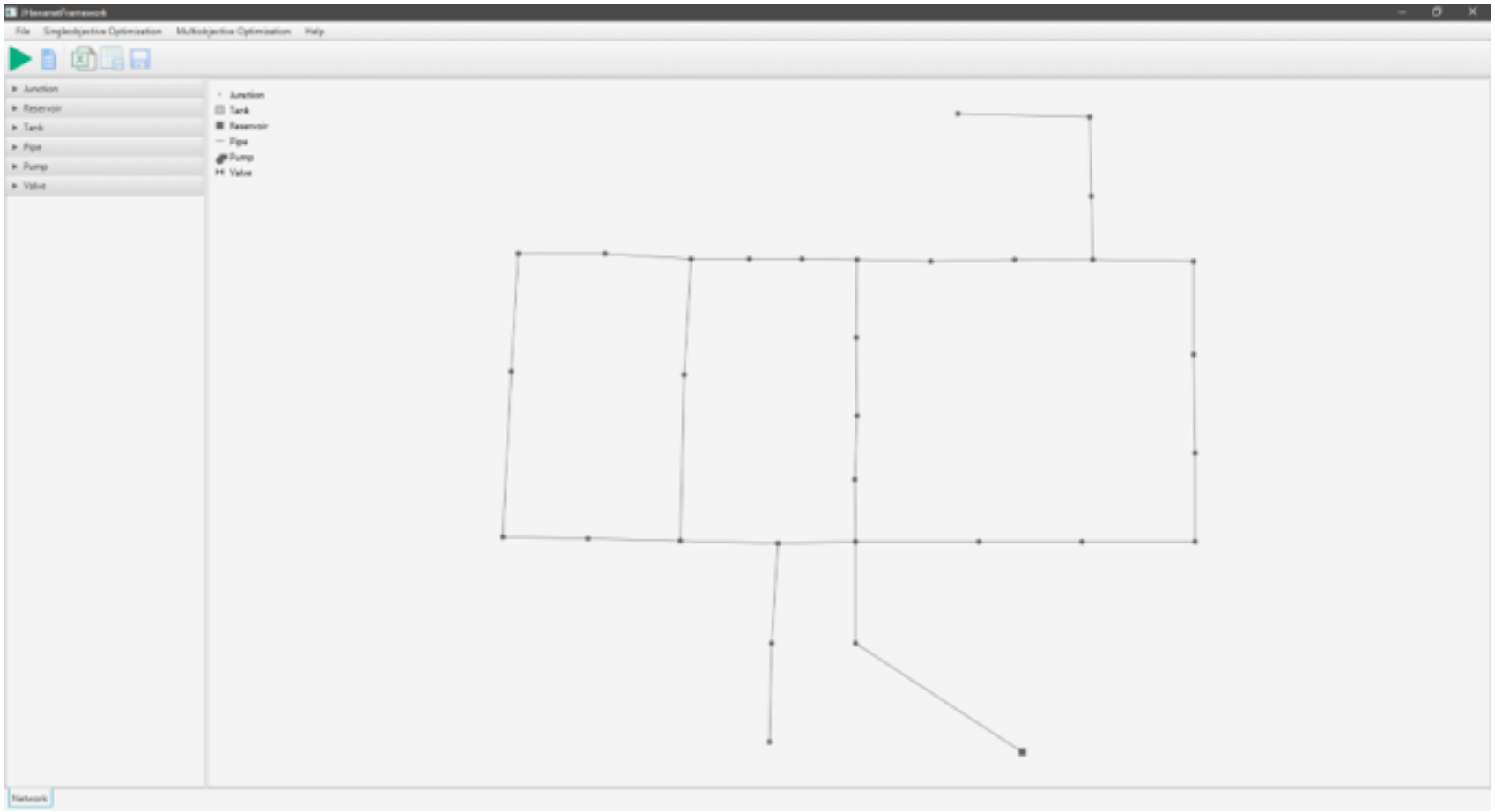


Implementación

Codificación y generación del manual de usuario.

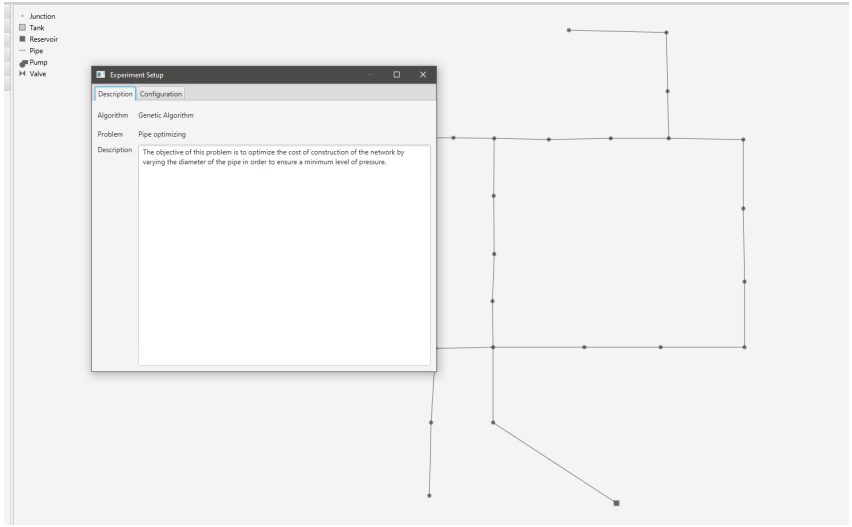
Implementación

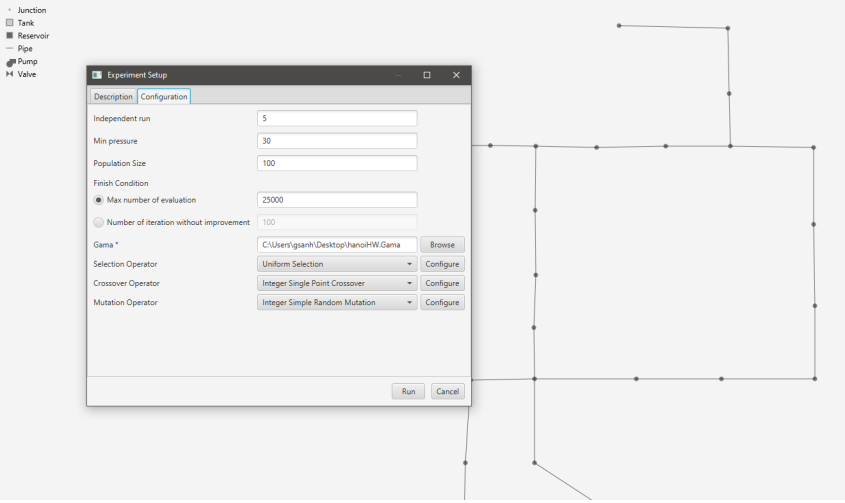
Ventana Principal



Implementación

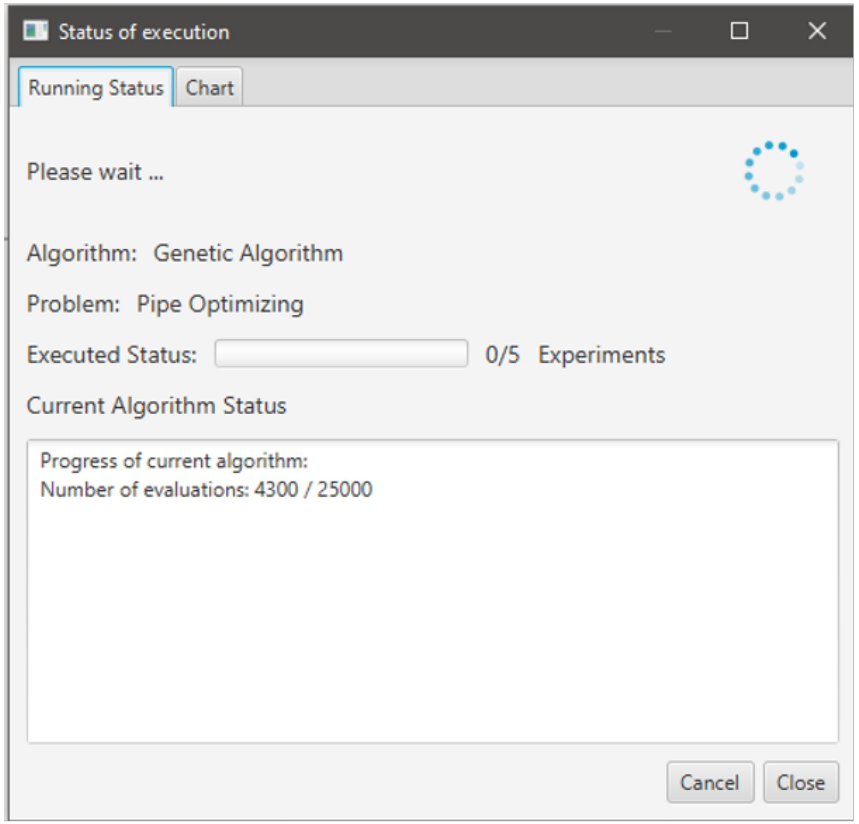
Ventana de Configuración

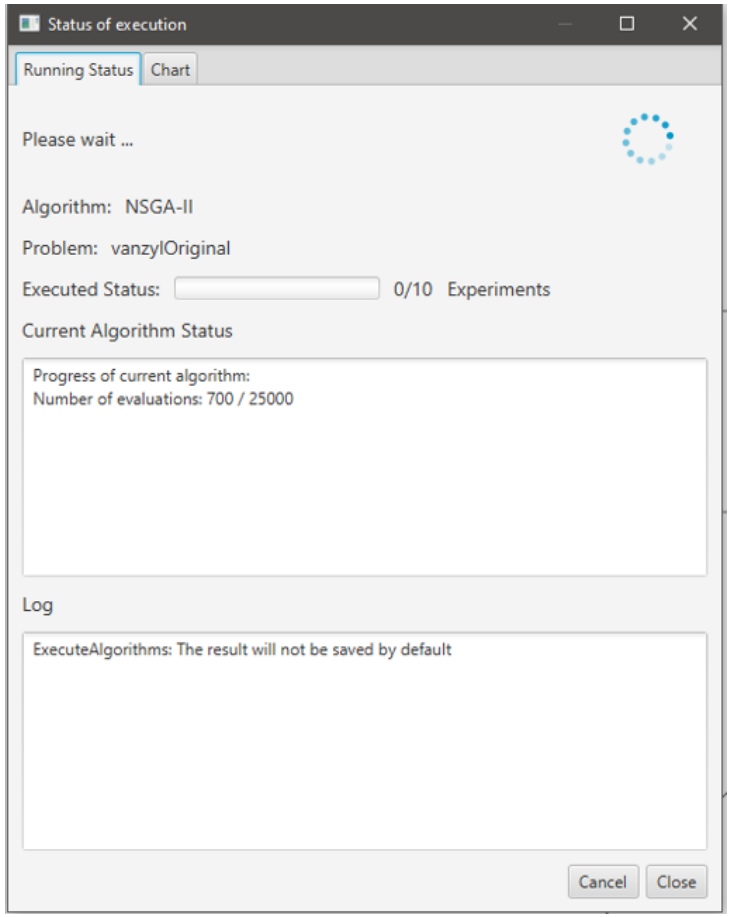




Implementación

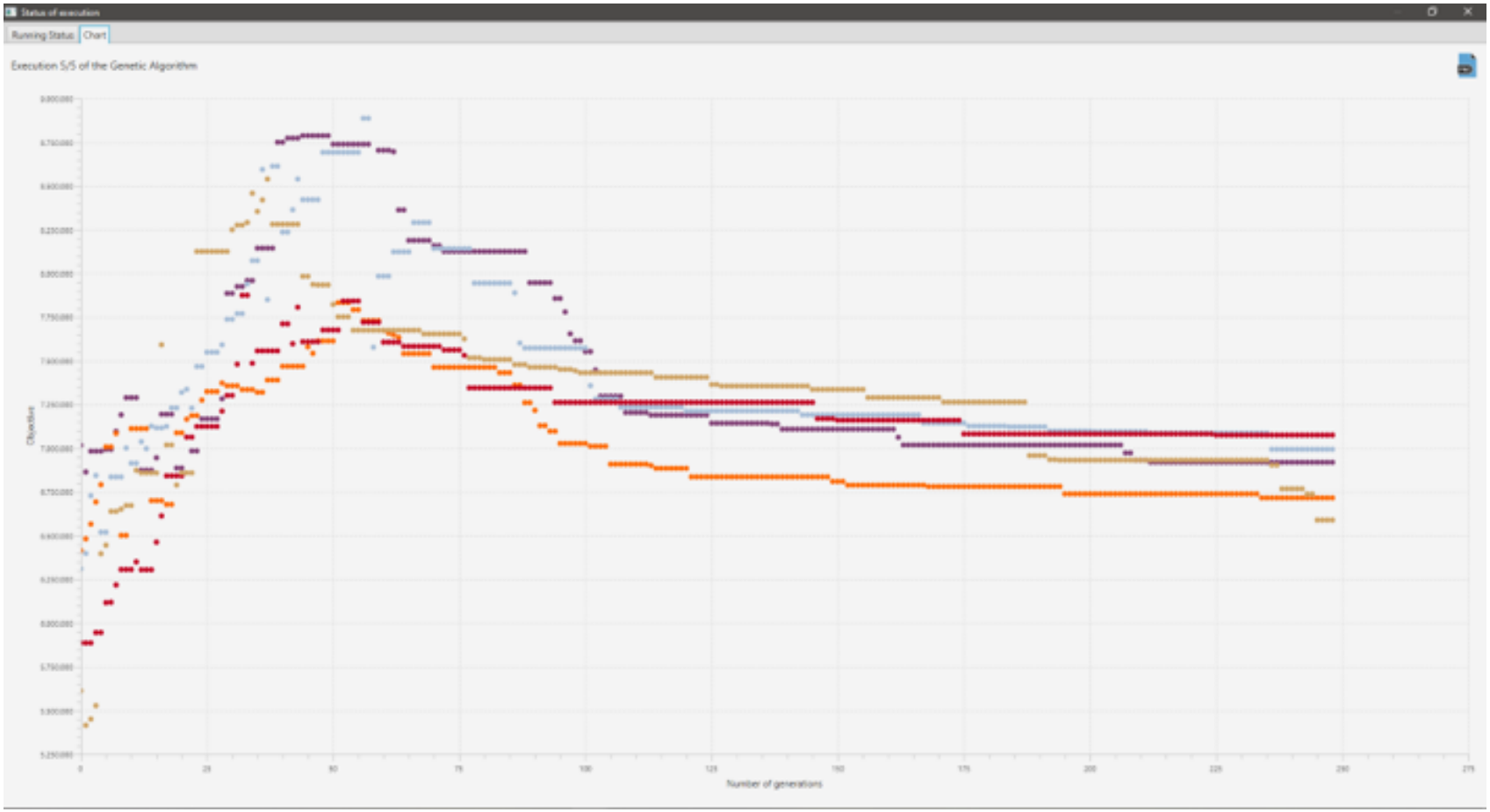
Ventana de ejecución





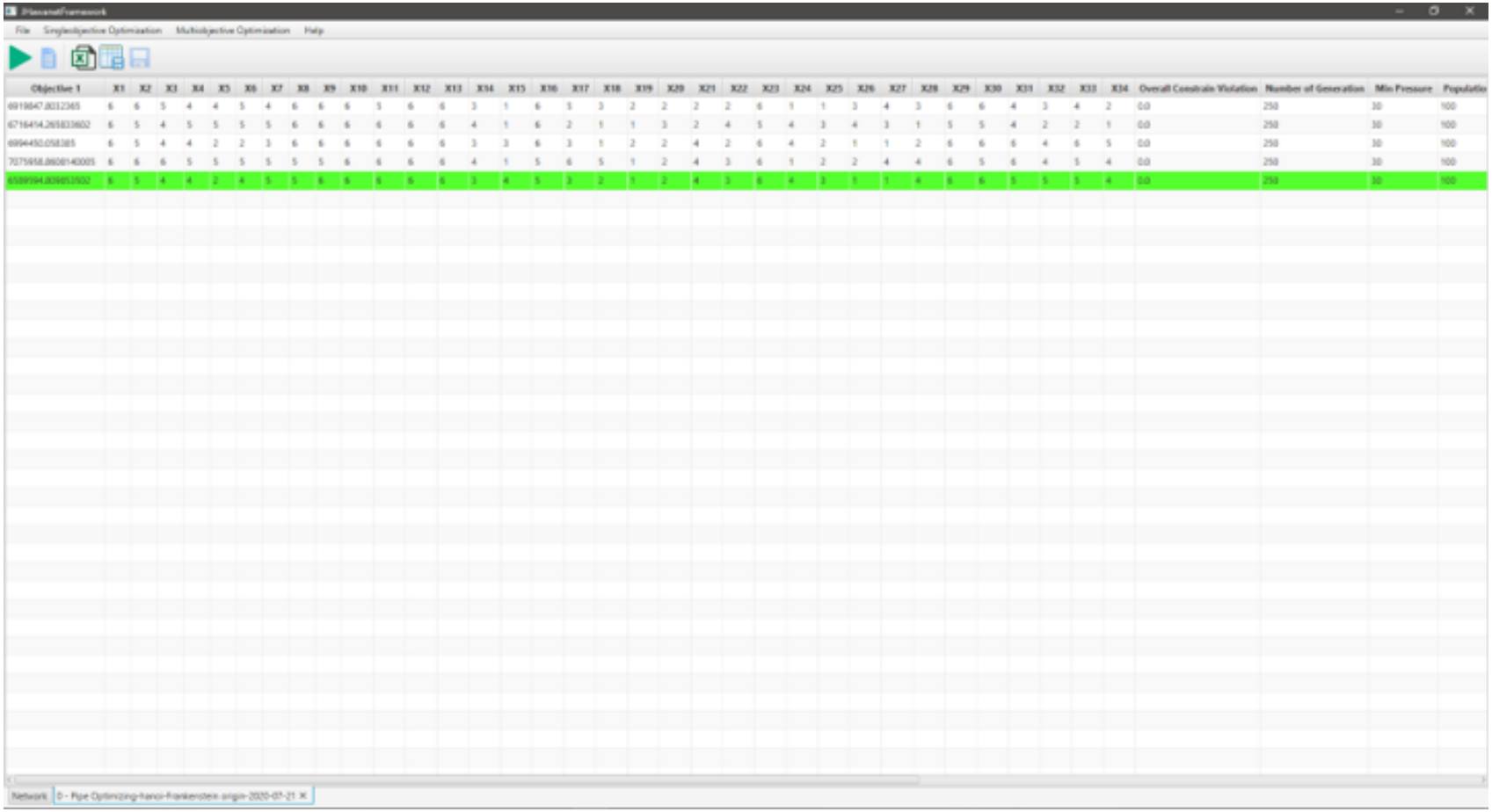
Implementación

Gráfico de resultados



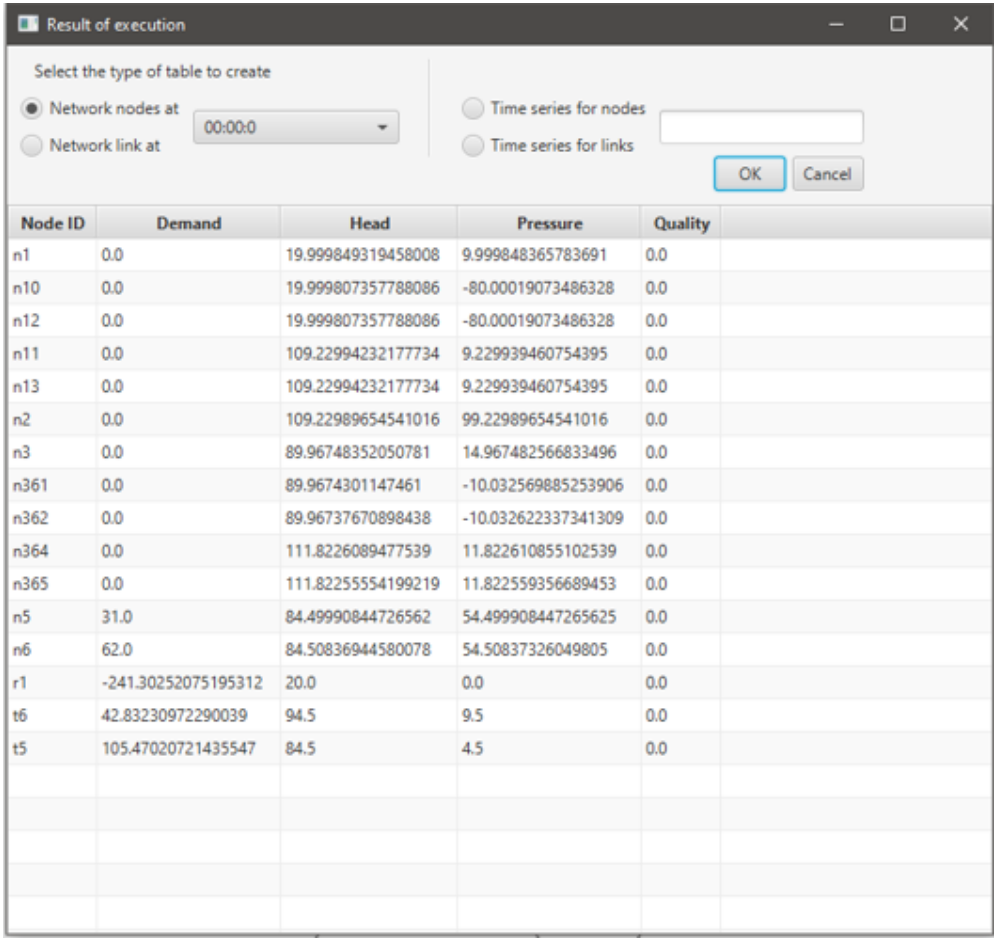
Implementación

Resultados Optimización



Implementación

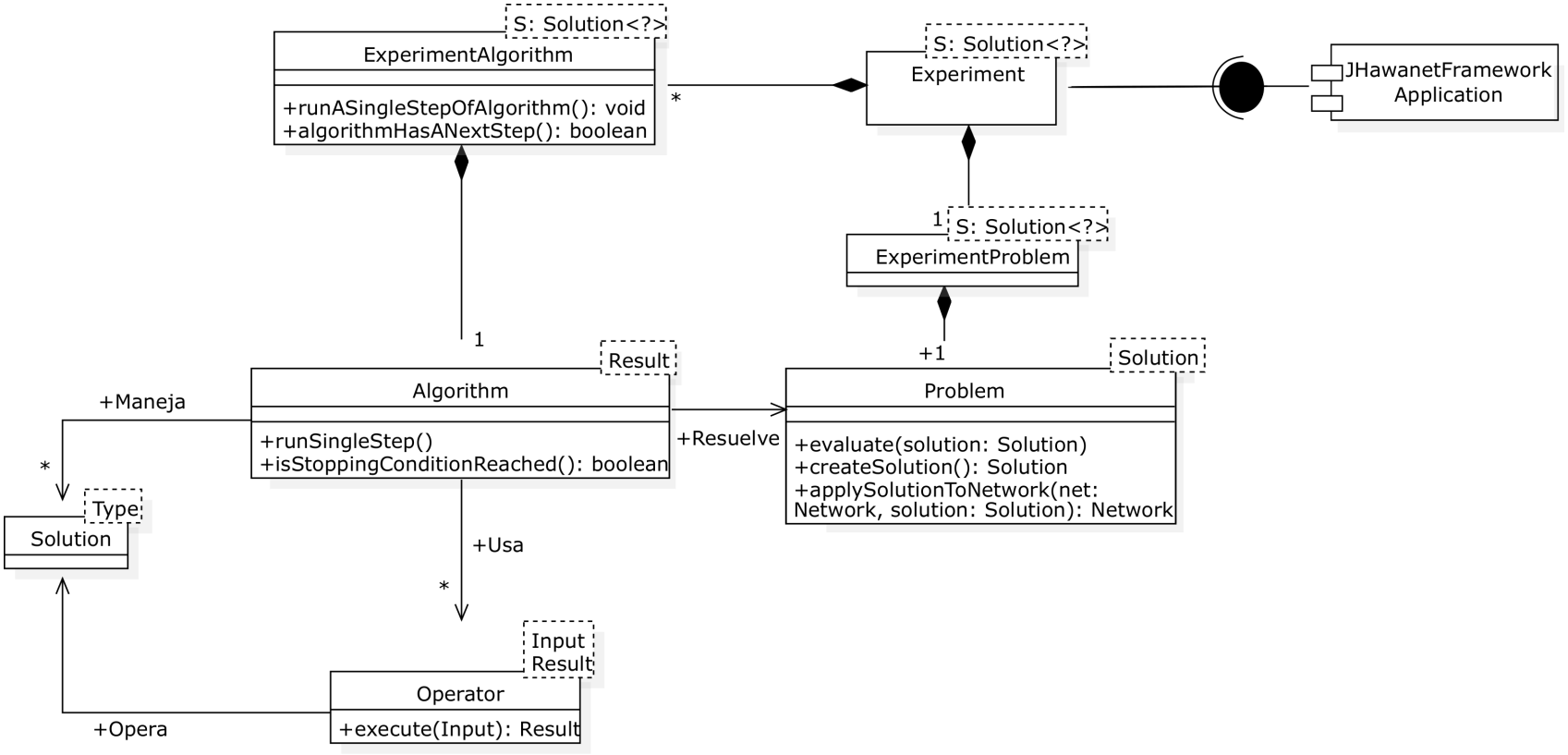
Ventana de simulación hidráulica



Node ID	Demand	Head	Pressure	Quality
n1	0.0	19.999849319458008	9.999848365783691	0.0
n10	0.0	19.999807357788086	-80.00019073486328	0.0
n12	0.0	19.999807357788086	-80.00019073486328	0.0
n11	0.0	109.22994232177734	9.229939460754395	0.0
n13	0.0	109.22994232177734	9.229939460754395	0.0
n2	0.0	109.22989654541016	99.22989654541016	0.0
n3	0.0	89.96748352050781	14.967482566833496	0.0
n361	0.0	89.9674301147461	-10.032569885253906	0.0
n362	0.0	89.96737670898438	-10.032622337341309	0.0
n364	0.0	111.8226089477539	11.822610855102539	0.0
n365	0.0	111.82255554199219	11.822559356689453	0.0
n5	31.0	84.49990844726562	54.499908447265625	0.0
n6	62.0	84.50836944580078	54.50837326049805	0.0
r1	-241.30252075195312	20.0	0.0	0.0
t6	42.83230972290039	94.5	9.5	0.0
t5	105.47020721435547	84.5	4.5	0.0

Implementación

Java Reflection y *Java Annotation*



Implementación

- Problema de diseño de RDA basado en el costo de tuberías

Objetivo

$$\text{Costo de inversión} = \sum_{i=1}^{N} (C_i \times D_i \times L_i)$$

Implementación

Problema de operación basado en el Régimen de bombeo

Objetivo 1

$$C_E(S) = \sum_{n=1}^{NP} \sum_{t=0}^{NT-1} (P_c(t) \times E_c(n,t) \times S(n,t))$$

Consumo energético

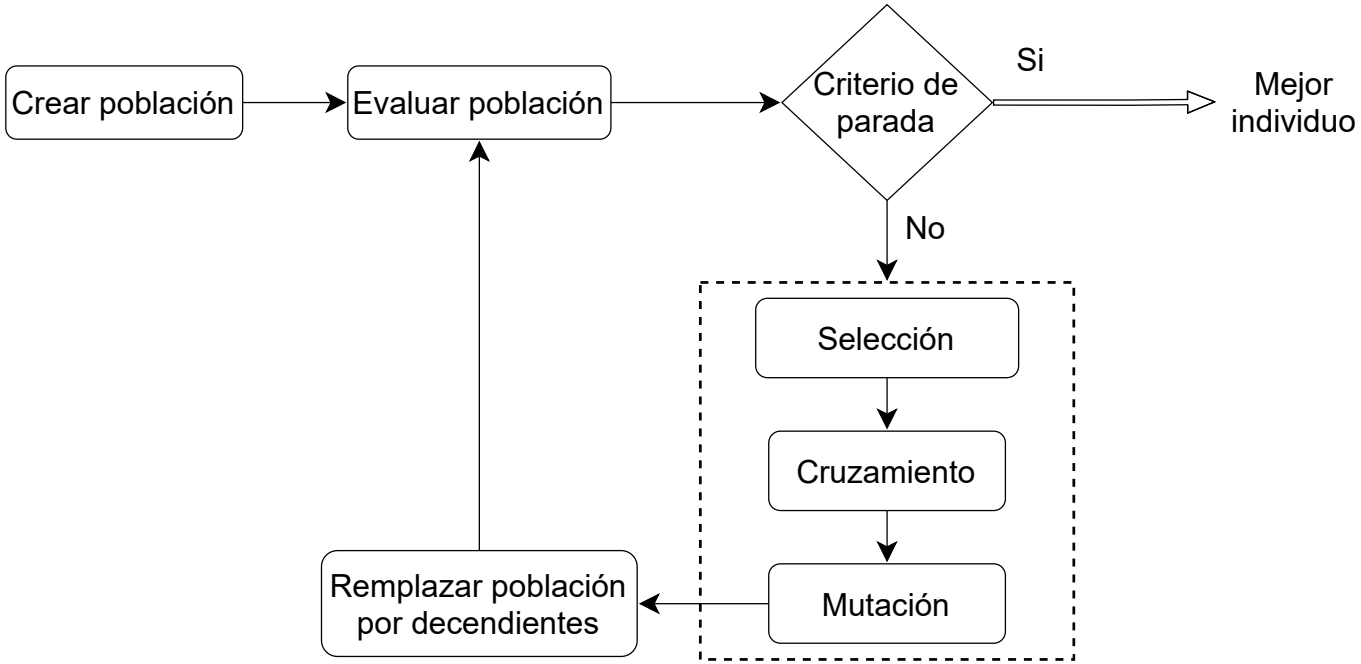
$$E_c(n,t) = \frac{10^{-3} \times \gamma \times Q(n,t) \times h(n,t)}{e(n,t)}$$

Objetivo 2

$$C_N(S) = \sum_{n=1}^{NP} \sum_{t=0}^{NT-1} r_t$$

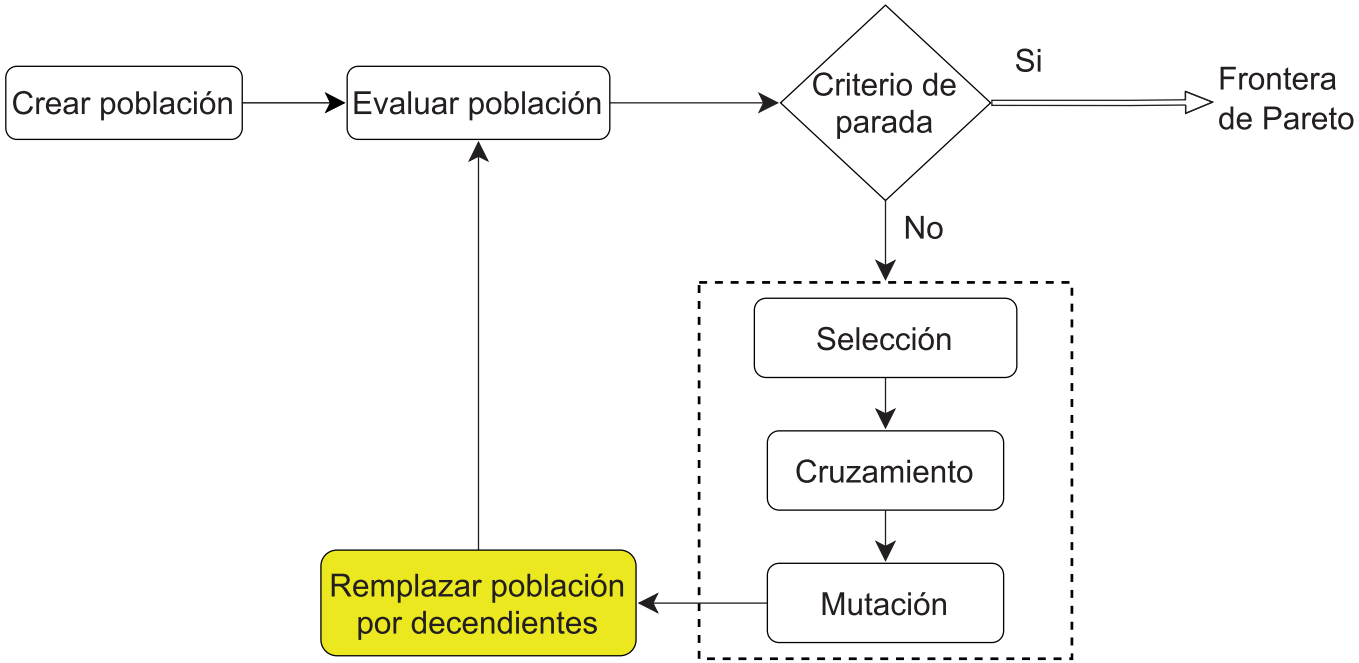
Implementación

Algoritmo Genético



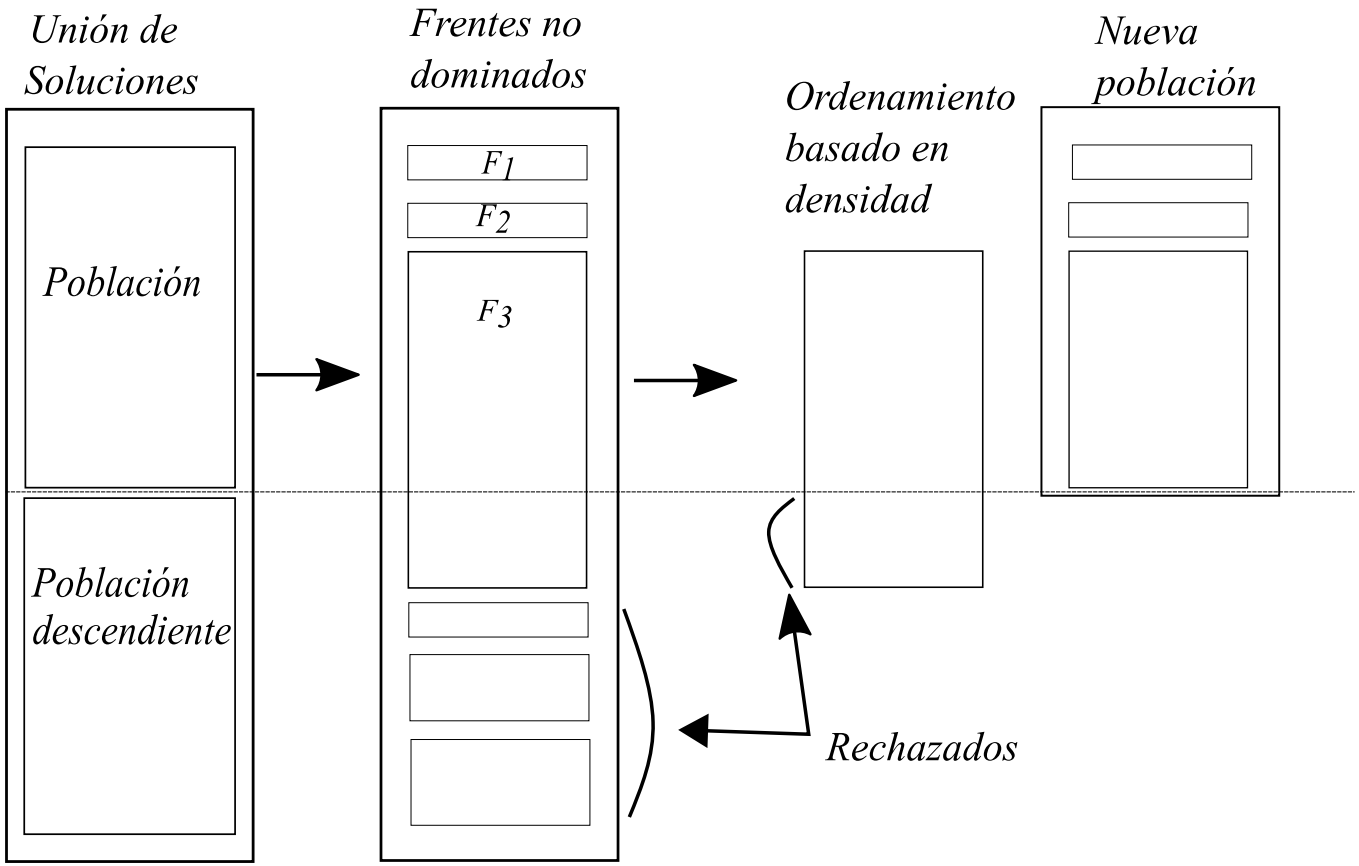
Implementación

Non-dominated Sorting Genetic Algorithm-II (INSGA-II)



Implementación

Non-dominated Sorting Genetic Algorithm-II (INSGA-II)



Pruebas

- Realización de pruebas y su especificación formal
- 39 Pruebas automatizadas
- 16 Pruebas manuales
- Documento de especificación formal de pruebas

Pruebas

Prueba Automatizada

Test ID:	AT009
Titulo:	Número máximo de evaluaciones no válido.
Característica:	Validar parámetro *maxEvaluations*.
Objetivo:	Validar que el parámetro *maxEvaluations* no sea negativo. Si el parámetro es negativo debe lanzarse una excepción.
Configuración:	Instancia de la clase *GeneticAlgorithm* inicializada.
Datos de prueba:	Cualquier entero menor que 0.
Acciones de prueba:	Llamar al método *setMaxEvaluations* con un argumento negativo.
Resultados esperados:	Una excepción

Pruebas

Prueba Manual

Test ID:	MT001
Titulo:	Visualización de la red.
Característica:	Mostrar visualización de la red.
Objetivo:	Confirmar que la red puede ser leida desde un archivo ".inp" y ser visualizada en la applicación.
Configuración:	El equipo tiene la applicación JHawanetFramework lista para ejecutar.
Datos de prueba:	inp: hanoi-Frankenstein.inp
Acciones de prueba:	1. Abrir JHawanetFramework 2. Cargar archivo de red.
Resultados esperados:	El sistema muestra la red leida desde un archivo inp gráficamente en la applicación.

Diseño del caso

- Elección del caso
  - La aplicación desarrollada
- Objetivos de la investigación
  - ¿Cómo el sistema desarrollado trabaja en la práctica?
- Características a evaluar
  - Funcionalidad
  - Usabilidad
  - Utilidad
  - Utilidad del manual de usuario

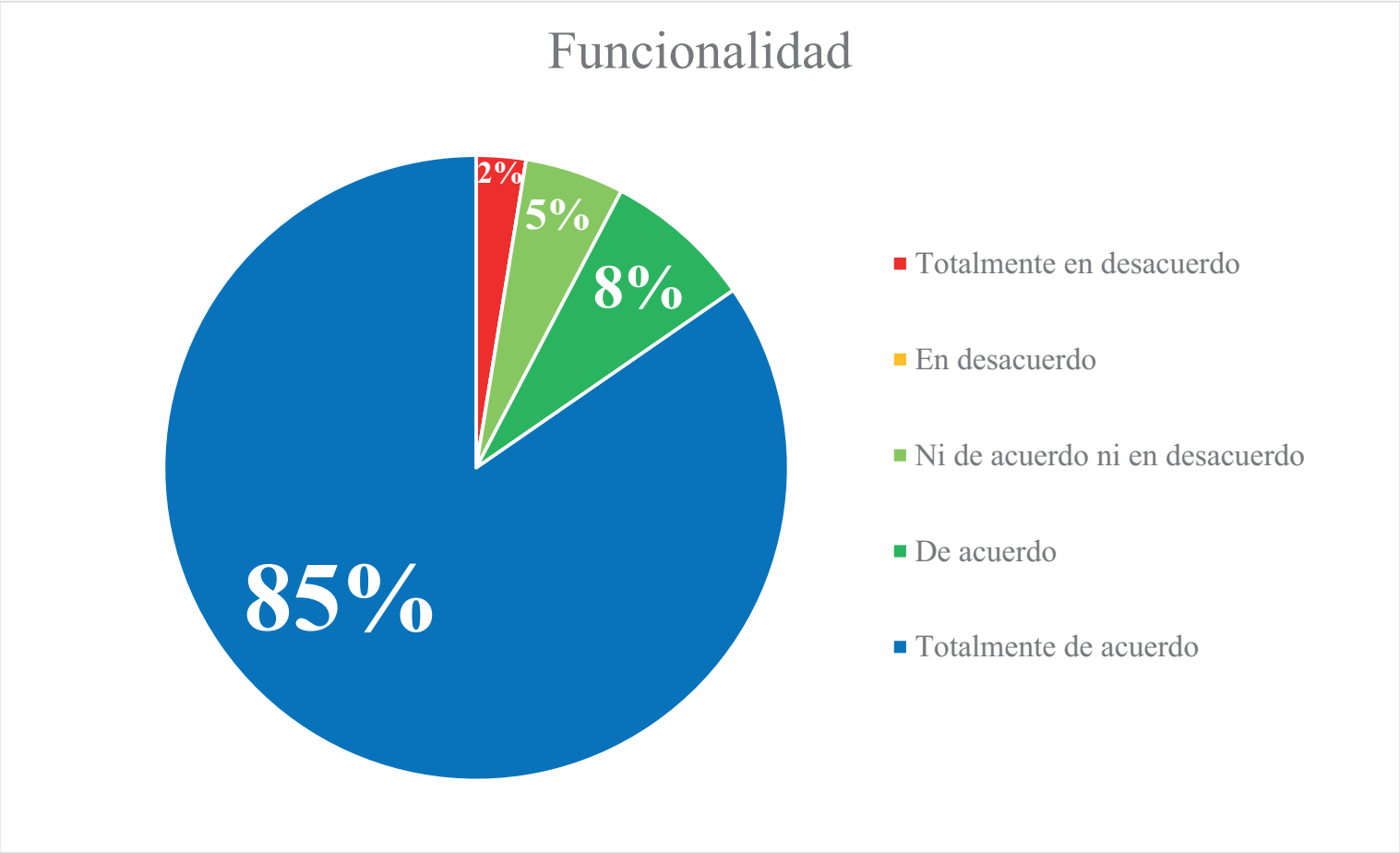
Diseño del caso

- Protocolo para conducir el estudio de caso
- Unidad de análisis
  - Profesionales con conocimientos en computación, hidráulica y meta-heurísticas
- Consideraciones técnicas
  - Window 64bits
  - Java 1.8
- Consideraciones para los usuarios
  - Conocimientos básicos en hidráulica y metaheurísticas para saber interpretar los resultados de la aplicación. Si se desea incorporar nuevos algoritmos debe tener conocimientos en programación.

Recolección de datos

- Participantes
  - Yamisleydi Salgueiro
  - Marco Alsina
  - Sergio Silva
- Instrumentos para la recolección de los datos
  - Encuesta utilizando la escala de Likert
  - Test de usabilidad SUS

Análisis de datos



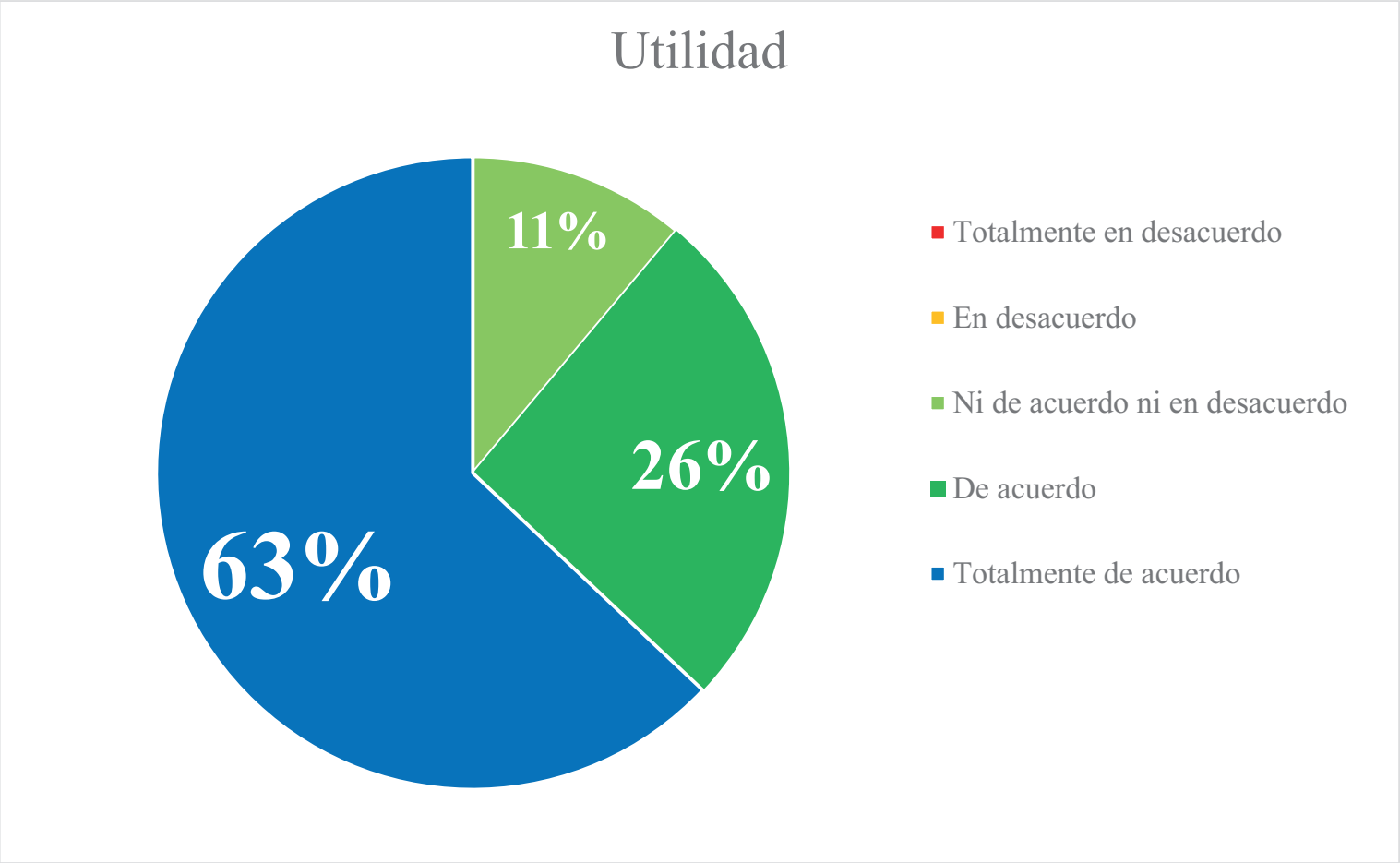
Análisis de datos

$\bar{x}_{SUS} = 79{,}17$

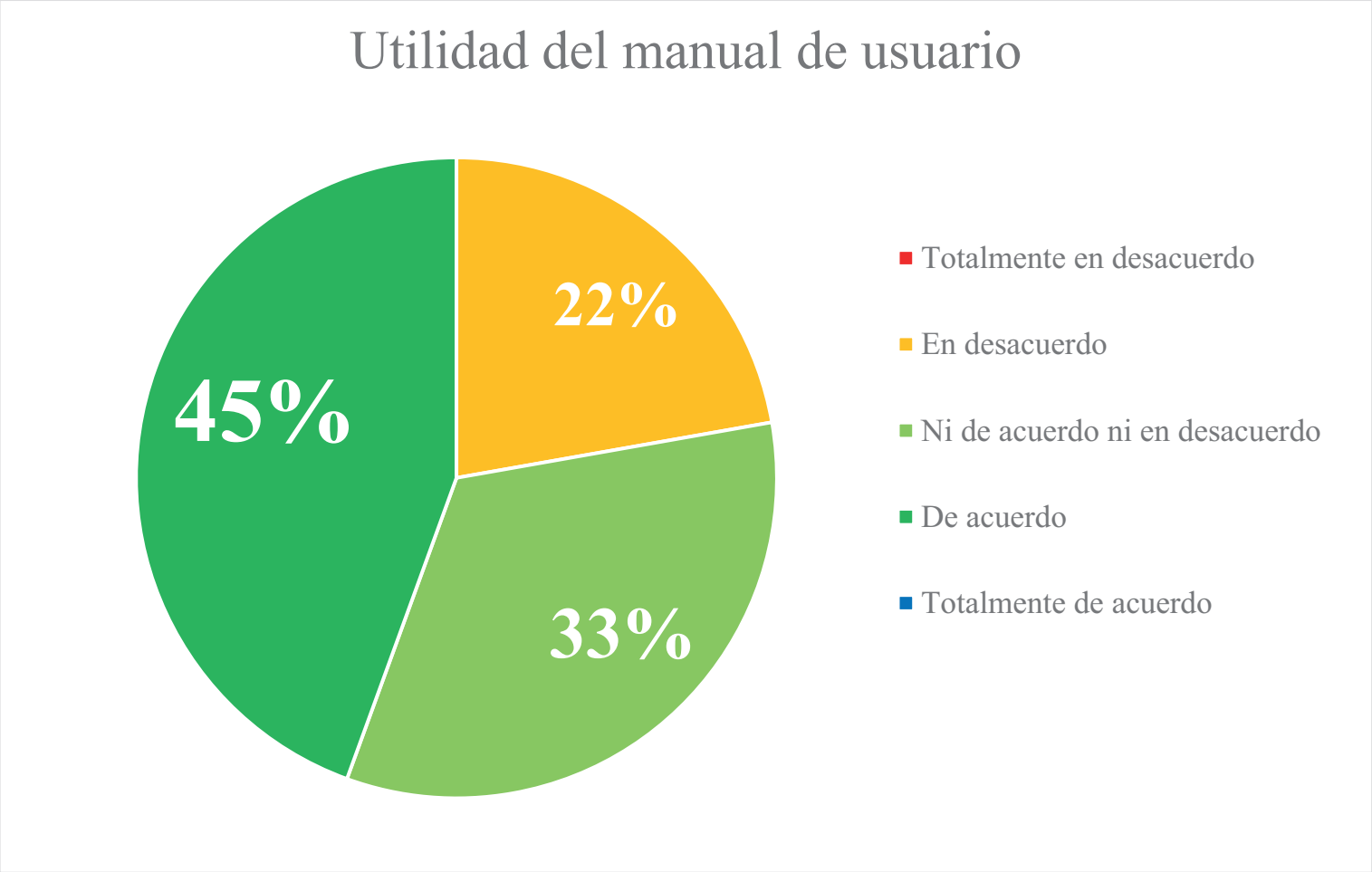
$s_{SUS} = 9{,}46$

SUS Score	Calificación
$> 80{,}3$	Excelente
68 - 80,3	Buena
68	Regular
51 - 68	Mala
< 51	Terrible

Análisis de datos



Análisis de datos



Conclusiones estudio de caso

- Criterios de funcionalidad, usabilidad y utilidad cumplidos, concluyendo que el sistema trabaja bien en la práctica.
- Criterio de utilidad del manual de usuario no cumplido por lo que se deben realizar cambios para mejorar la información y ayuda que se entrega con éste.

Conclusiones

- Software para la optimización de los procesos de diseño y operación de RDA.
- Todos los objetivos establecidos fueron logrados cumplidos

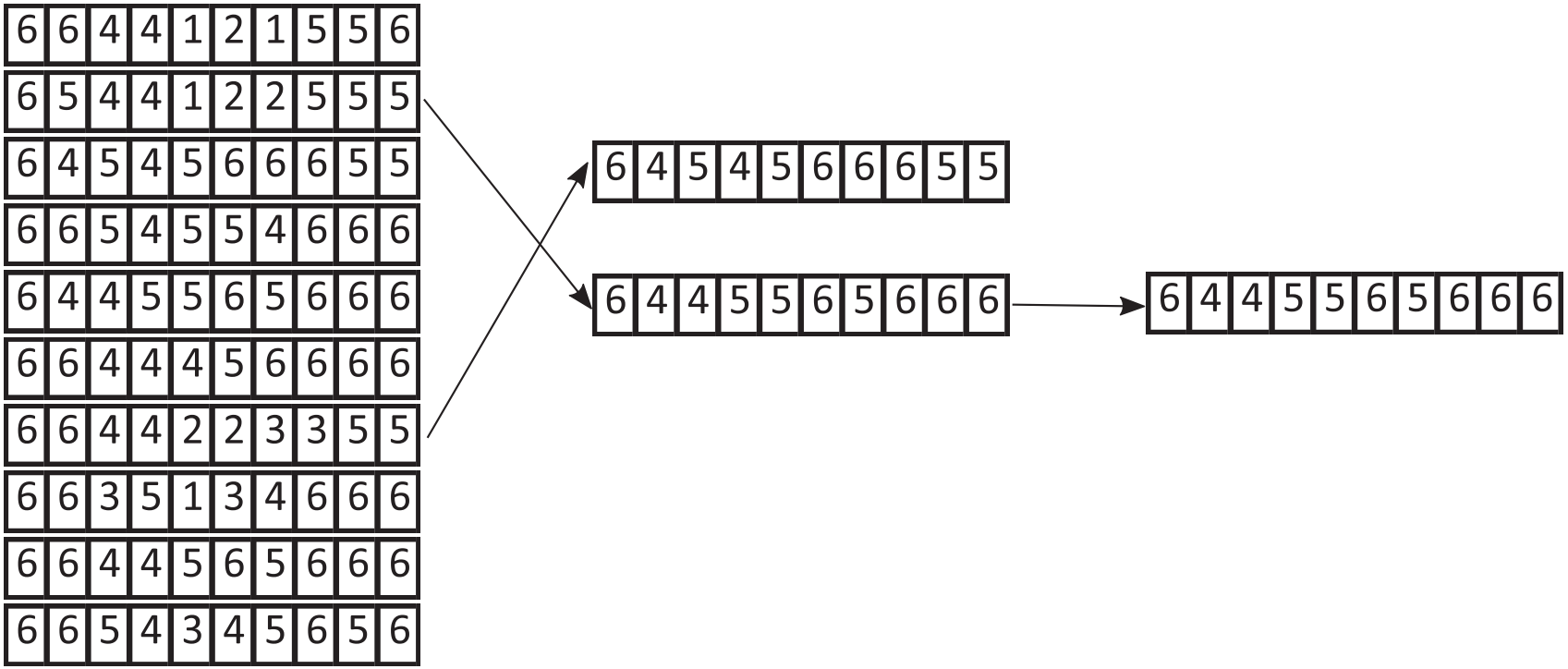
Trabajos Futuros

- Agregar nuevos algoritmos, operadores y problemas
- Recortar el numero de decimales utilizados
- Permitir exportar la imagen de la red
- Guardar las imágenes exportadas en un formato vectorial
- Cambiar tamaño de los iconos cuando el cursor este encima
- Permitir agregar formulas LaTeX en la descripción del algoritmo
- Permitir utilizar distintos algoritmos en un mismo Experimento
- Añadir métricas de comparación entre algoritmos
- Añadir en el menú contextual los patrones de bombeo o demanda en caso de que la red cargada los especifique.
- Permitir resetear a los valores por defecto en la ventana de configuración del problema

Fin

Operadores de Selección

Tournament Selection



Operadores de Selección

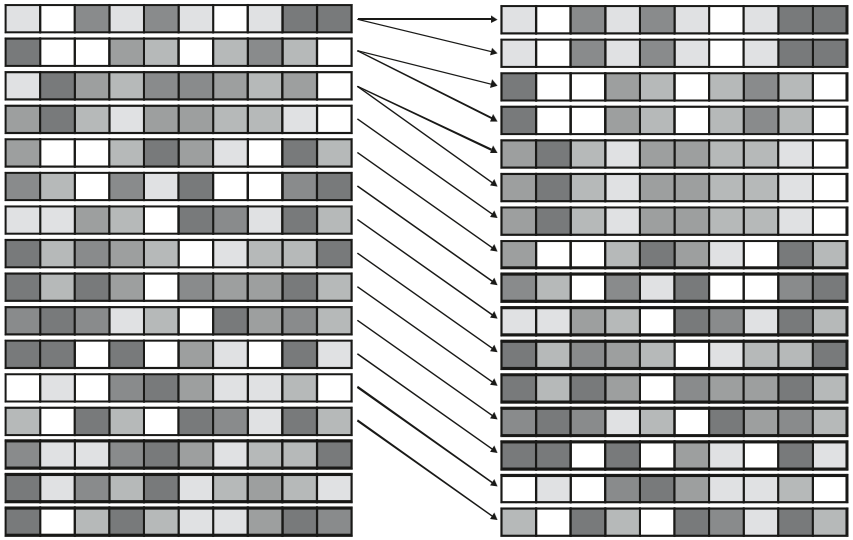
Uniform Selection

$$p_{max} = \frac{\beta}{N_c}$$

$$p_{min} = \frac{2-\beta}{N_c}$$

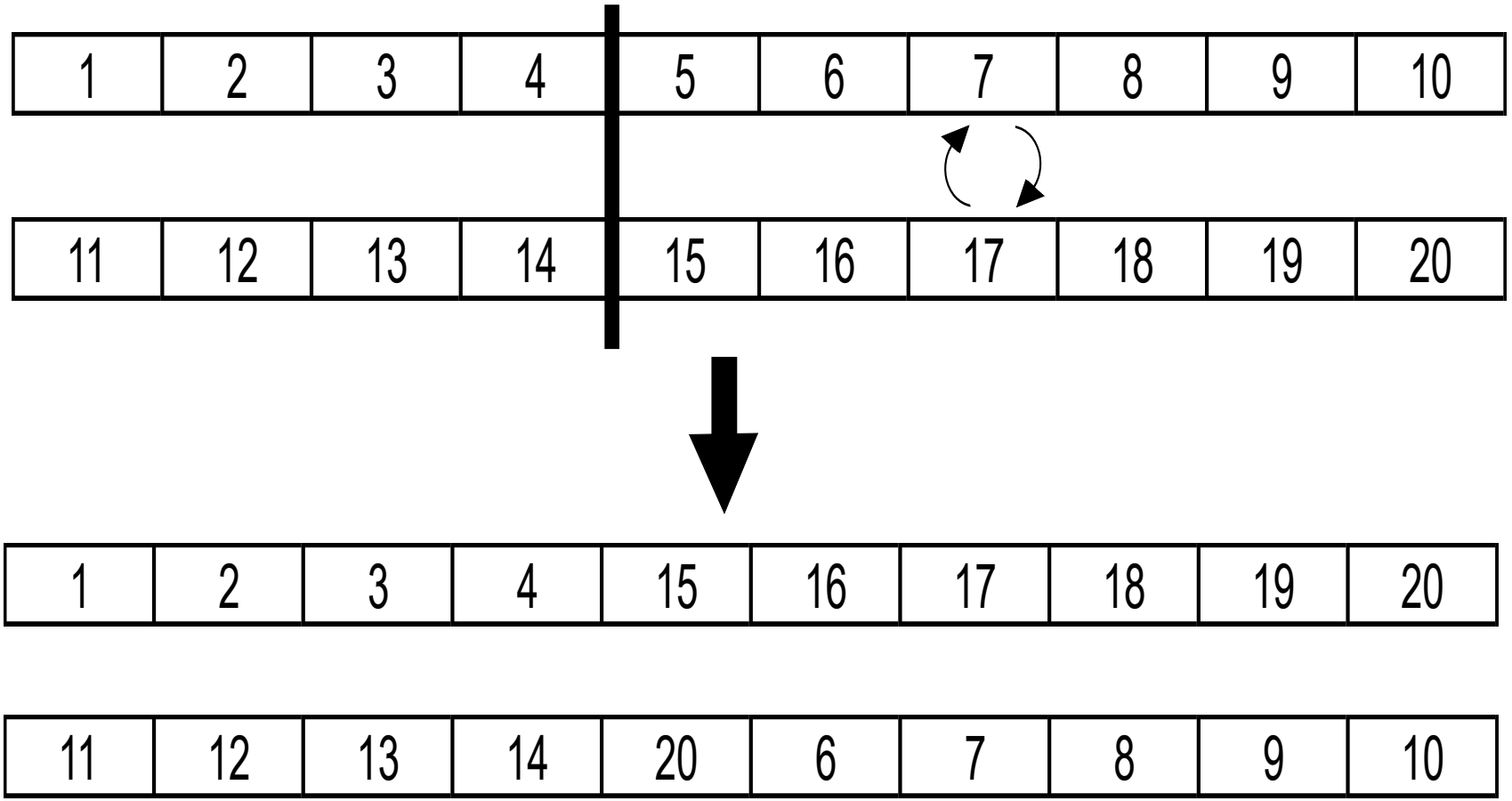
$$1{,}5 <= \beta <= 2$$

$$p_i = p_{min} + (p_{max} - p_{min}) \times \frac{N_c - i}{N_c - 1}$$



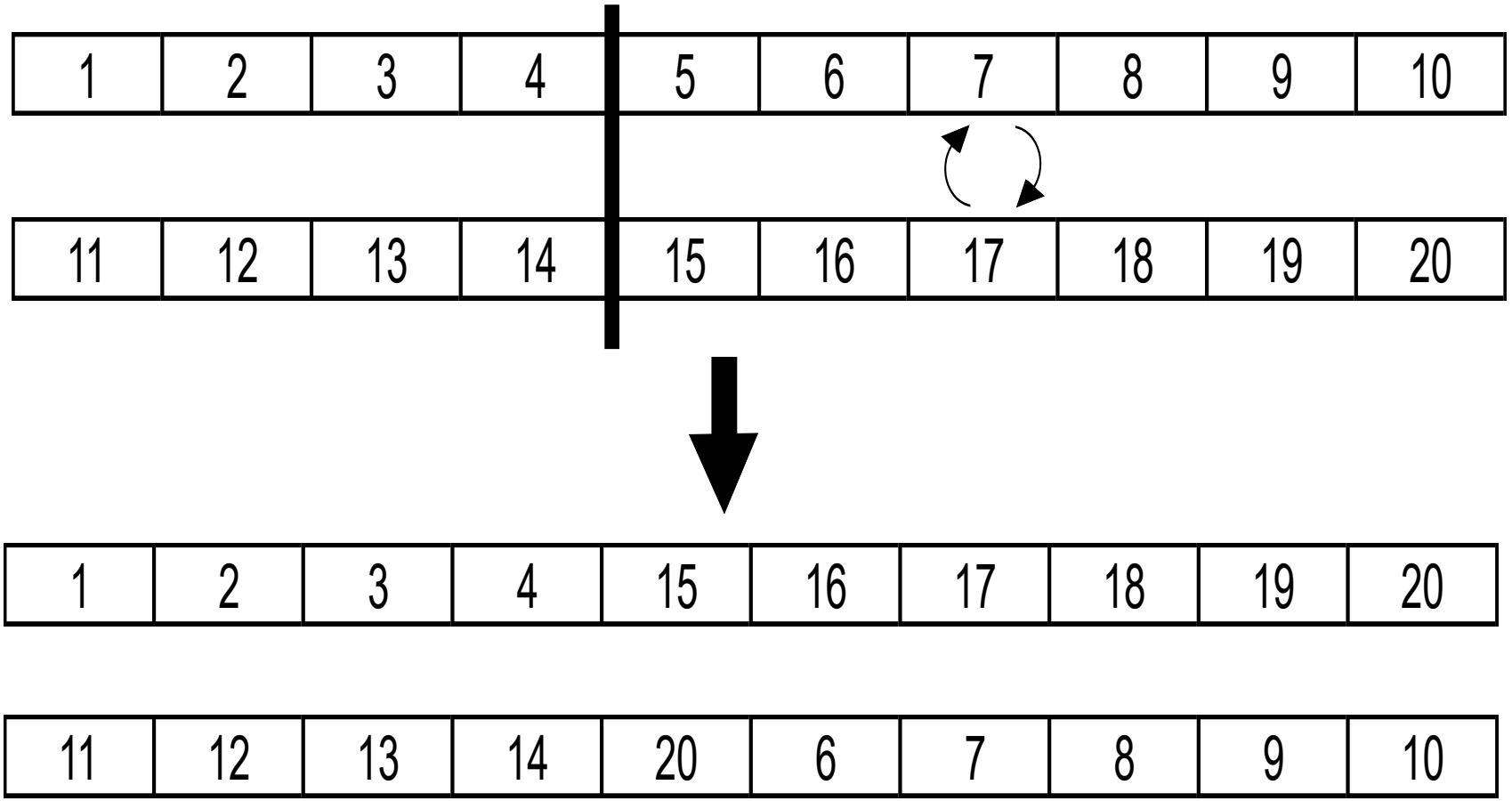
Operadores de Selección

SinglePointCrossover



Operadores de Selección

SinglePointCrossover



Operadores de Mutación

SBXCrossover

$$\begin{cases} \beta_q = \sqrt[d_i+1]{r\alpha} & \text{si } r \leq \frac{1}{\alpha} \\ \beta_q = \sqrt[d_i+1]{\frac{1}{2-r\alpha}} & \text{si } r > \frac{1}{\alpha} \end{cases}$$

$$\beta = 1 + 2\frac{y_1 - yL}{y_2 - y_1}$$

$$\alpha = 2 - \frac{1}{\beta^{di+1}}$$

$$\beta = 1 + 2 \cdot \frac{yU - y_2}{y_2 - y_1}$$

$$\alpha = 2 - \frac{1}{\beta^{di+1}}$$

$$C_1 = 0{,}5((y_1 + y_2) - \beta_q(y_2 - y_1))$$

$$C_2 = 0{,}5((y_1 + y_2) + \beta_q(y_2 - y_1))$$

Operadores de Mutación

PolynomialMutation

$$\Delta_1 = \frac{y - yL}{yU - yL}$$

$$\Delta_2 = \frac{yU - y}{yU - yL}$$

$$\begin{cases} \Delta_q = \sqrt[di+1]{2r + (1-2r)(1-\Delta_1)^{di+1}} - 1 & \text{si } r \leq 0{,}5 \\ \Delta_q = 1 - \sqrt[di+1]{2(1-r) + 2(r-0{,}5)(1-\Delta_2)^{di+1}} & \text{si } r > 0{,}5 \end{cases}$$

$$y = y + \Delta_q(yU - yL)$$

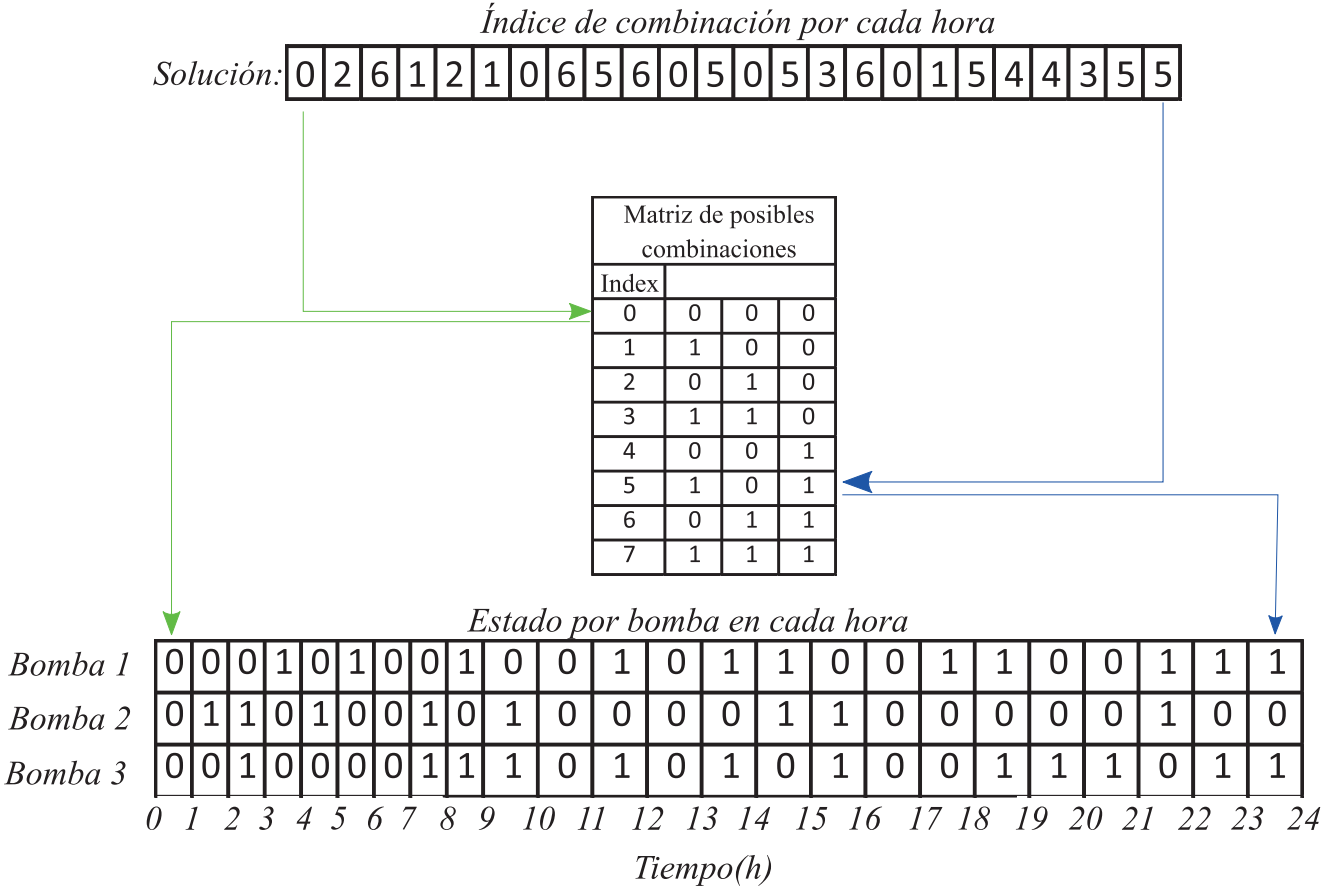
Representación de la solución del problema de diseño

Problema de diseño de RDA basado en el costo de tuberías.

	ID	Diámetro	Costo
1	DN12	304.80	45.73
2	DN16	406.40	70.40
3	DN20	508.00	98.39
4	DN24	609.60	129.33
5	DN30	762.00	180.75
6	DN40	1016.00	278.28

Solución:

4	1	1	2	3	4	6	1	6	4	2	6	5	4	2	6	6	5	1	1	5	2	6	3	6	2	6	5	5	5	4	6	4	1

Representación de la solucion problema operacional

Problema de operación basado en el Régimen de bombeo.