

# SPHERA

“Propuesta de diseño de sistema hidráulico para el abastecimiento de agua potable y agua de lluvia para el centro educativo La Palma”

Informe de Práctica de Especialidad para optar por el título de Ingeniero en Mantenimiento Industrial con el Grado Académico de Licenciatura

Pablo Rojas Nielsen

Cartago, noviembre de 2016

Carrera acreditada por:



**Profesor Guía:**

*Ing. Oscar Monge Ruiz*

**Asesor Industrial:**

*Ing. Federico Steinvorth Saborio*

**Jurado:**

*Ing. Ignacio Del Valle Granados*

*Ing. Gustavo Richmond Navarro*

## Información del Estudiante y Empresa

### Estudiante

Nombre: Pablo Rojas Nielsen

Cédula: 1-1451-0620

Carné TEC: 201060688

Dirección de Residencia: San Francisco de dos Ríos, San José

Teléfono: 8316-2724

Correo Electrónico: [projas25@gmail.com](mailto:projas25@gmail.com)

### Empresa

Nombre: SPHERA S.A.

Ubicación: Piso 9, Oficina 5 del Centro Colón, Paseo Colón

Teléfono: 2248-4402

Actividad: Consultoría en Sostenibilidad

### Proyecto

Nombre: Propuesta de diseño de sistema hidráulico para el abastecimiento de agua potable y agua de lluvia para el centro educativo La Palma

Profesor Asesor: Ing. Oscar Monge Ruiz

Horario de trabajo del Estudiante: lunes a viernes de 8:00 am a 5:00 pm

## ***Dedicatoria***

*A mi familia, en especial a mis padres, por darme el mejor legado que es la educación y darme siempre lo mejor de ustedes.*

***“Si el Océano muere, todos morimos”***

***- Captain Paul Watson -***

# Índice General

Resumen .....	vi
Abstract .....	vii
1. Introducción .....	1
2. Reseña de la empresa.....	2
3. Reseña de la fundación .....	4
4. Objetivos.....	8
4.1. Objetivo general .....	8
4.2. Objetivos específicos .....	8
5. Marco Teórico.....	9
5.1. Flujo volumétrico .....	9
5.2. Número de Reynolds.....	9
5.3. Rugosidad relativa.....	10
5.4. Diagrama de Moody .....	10
5.5. Colebrook-White .....	11
5.6. Darcy.....	12
5.7. Pérdidas por accesorios y longitud equivalente .....	12
5.8. Controladores Lógicos Programables .....	15
5.8.1. Fuente de Alimentación .....	16
5.8.2. Unidad Central de Procesamiento (CPU) .....	17
5.8.3. Memoria.....	17
5.8.4. Unidades de entrada/salida .....	18
5.9. Gráfico funcional secuencial .....	19

5.10. Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones.....	20
5.11. Dispositivos Ahorradores de Agua .....	28
5.12. Inodoros de Descarga por Gravedad .....	29
5.13. Leadership in Energy and Environmental Design .....	30
5.14. Water Efficiency (Uso Eficiente del Agua).....	32
5.15. Análisis Económico .....	36
6. Metodología.....	41
7. Resultados.....	43
8. Análisis de Resultados.....	46
9. Recomendaciones .....	48
10. Conclusiones .....	48
11. Bibliografía.....	49
12. Apéndices .....	51
13. Anexos.....	70

## Índice Tablas

Tabla 1. Escuelas Registradas ante el Ministerio de Educación en el 2012 .....	6
Tabla 2. Ejemplo de rugosidades de los diferentes materiales .....	10
Tabla 3. Línea base de consumos de diferentes accesorios.....	33
Tabla 4. Línea base de accesorios cuyos usos se dan en escuelas .....	34
Tabla 5. Resumen de capacidades y alturas para los diferentes casos.....	43
Tabla 6. Resumen de calculadora LEED de consumo anual de agua .....	43
Tabla 7. Ahorro al incluir agua de lluvia recolectada .....	43
Tabla 8. Resumen de costos totales en materiales.....	43
Tabla 9. Costo anual de consumo de agua potable municipal .....	44

Tabla 10. Cálculo de periodo de retorno al utilizarse nuevos accesorios actuales y tanque de recolección de agua de lluvia .....	44
Tabla 11. Cálculo de periodo de retorno al utilizarse accesorios actuales y tanque de recolección de agua de lluvia .....	45
Tabla 12. Tabla de Cálculos para Tubería para Sistema con Accesorios Eficientes y Tanques .....	54
Tabla 13. Pérdidas por Fricción en Longitudes Equivalentes con Accesorios Eficientes y Tanques .....	55
Tabla 14. Accesorios para cada Tramo para Caso con Accesorios Eficientes .....	55
Tabla 15. Cabeza Necesaria por Bomba para Caso con Accesorios Eficientes ...	56
Tabla 16. NPSH Disponible para la bomba a seleccionar para Caso con Accesorios Eficientes.....	56
Tabla 17. Resumen de Bomba para Caso con Accesorios Eficientes.....	56
Tabla 18. Tabla de Cálculos para Tubería para Sistema de Sólo Tanques. ....	57
Tabla 19. Pérdidas por Fricción en Longitudes Equivalentes para Sistema de Sólo Tanques .....	58
Tabla 20. Accesorios para cada Tramo para Caso con Sólo Recolección de Agua de Lluvia.....	58
Tabla 21. Cabeza Necesaria por Bomba para Caso con Sólo Tanques .....	59
Tabla 22. NPSH Disponible para la bomba a seleccionar para Sistema de Sólo Tanques .....	59
Tabla 23. Resumen de Bomba para Sistema de Sólo Tanques.....	59
Tabla 24. Costos por Materiales para Sistema con Accesorios Eficientes.....	60
Tabla 25. Costos por Materiales para Sistema con Sólo Tanques.....	61
Tabla 26. Población del Centro Educativo .....	62
Tabla 27. Agua de Lluvia Recolectada.....	63
Tabla 28. Consumo de Agua Potable Mensual Previo al Proyecto .....	63
Tabla 29. Costos de Operación para Caso con Accesorios Eficientes.....	64
Tabla 30. Costos de Operación para Caso con Accesorios Actuales .....	65
Tabla 31. Costos de Operación Previos a la Realización del Proyecto.....	66

Tabla 32. Entradas y Salidas para el Control Eléctrico por parte del PLC .....	69
--	----

## Índice Figuras

Figura 1. Organigrama de SPHERA.....	3
Figura 2. Ubicación satelital de la escuela La Palma .....	5
Figura 3. Diagrama de Moody .....	11
Figura 4. Ejemplo de codos de tubería con su respectivo K para cálculo de pérdida menor. ....	14
Figura 5. Ejemplo de valor K para el cálculo de pérdida menor. ....	14
Figura 6. Ejemplo de longitud equivalente de tubería por tipo de accesorio .....	15
Figura 7. Lenguajes avalados por IEC 61131-3 .....	19
Figura 8. Guía de cómo realizar una programación .....	20
Figura 9. Ejemplo de Checklist de Proyecto LEED v4 O+M: Centros Educativos .....	32
Figura 10. Recurso digital para el realizar el prerrequisito de Indoor Water Use Reduction v4 .....	35
Figura 11. Tabla de puntuación por reducción de consumo de agua en interiores	35
Figura 12. Guía de cómo seleccionar y justificar un proyecto por análisis económico .....	37
Figura 13. Ejemplo de cómo seleccionar una alternativa para un proyecto mutuamente excluyente .....	38

## Índice Imágenes

Imagen 1. Aulas del pabellón 2 de la escuela La Palma. ....	7
Imagen 2. Ejemplo de un aireador CASCADE® de Neoperl® .....	28
Imagen 3. Limitador de Caudal .....	29
Imagen 4. Inodoro de Descarga por Gravedad Modelo Salvagua II.....	30
Imagen 5. Renders de la Escuela La Palma .....	53
Imagen 6. Captura de Pantalla de Calculadora LEED para Caso con Accesorios Actuales.....	67
Imagen 7. Captura de Pantalla de Calculadora LEED para Caso con Accesorios Eficientes.....	68
Imagen 8. Captura de Pantalla de Página Web Utilizada como Guía de Precios .	70
Imagen 9. Captura de Pantalla de Página Web Utilizada como Guía de Precios .	70
Imagen 10. Datos Climáticos Mensuales para Puerto Jiménez. ....	71
Imagen 11. Válvula Solenoide BACENG 1”.....	72
Imagen 12. PLC Siemens LOGO! .....	72

## **Resumen**

El Centro Educativo La Palma, es una escuela ubicada en la Península de Osa, Puntarenas. La institución, actualmente, sufre de desabastecimiento de agua por lo tanto el siguiente proyecto presenta una solución por medio del diseño de un sistema hidráulico que captura y distribuye agua de lluvia y agua potable dentro de la escuela. Primeramente, el diseño cuenta con un sistema de tanque elevado para almacenar y distribuir agua potable a la cocina e inodoros. Luego, se cuenta con un sistema de tanque elevado, bomba y tanque cisterna para almacenar y distribuir agua de lluvia para ser utilizado sólo en inodoros. Seguidamente, se desarrollan dos estudios en paralelos para determinar qué alternativa es mejor, si mantener los accesorios actuales o realizar una inversión adicional en accesorios nuevos y eficientes; esto para determinar cuál posee el retorno de la inversión más corto y el mayor ahorro de agua potable posible. Finalmente, se incluyó el sistema de evaluación *Leadership in Environmental and Energy Design* dentro de los cálculos y un sistema de control eléctrico para todo el diseño. Se determinó, que el uso de accesorios eficientes aumenta considerablemente el ahorro de agua potable; un 56,11% de ahorro. La inversión inicial es mayor cuando se realiza el cambio de accesorios, pero el periodo de retorno se reduce; de 29 años a 10 años. Por lo tanto, el sistema que utiliza ambas estrategias es la alternativa más factible.

### **Palabras clave:**

sostenibilidad; agua de lluvia; sistema hidráulico; control eléctrico; LEED

## **Abstract**

La Palma School is located in La Península de Osa, Puntarenas. This institute experiences water shortages therefore, the following project provides a solution to this problem by implementing a water supply design that consists of a first elevated tank to that will provide potable water to the kitchen area and faucets near restrooms. A second system, made up of an elevated tank, underground tank and a pump will be used to provide rain water to toilets; when there is no rain water available, potable water is used instead. Additionally, an economical and sustainable analysis have been done to determine whether keeping the existing water fixtures or buying new highly efficient water fixtures. The rating system named Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) has be used to measure the sustainable impact of the water system design. Also, an electrical control system has been designed for the entire system. Finally, highly efficient water fixtures improve substantially the water savings; specifically, 56,11%. The initial investment is higher when changing the water fixtures but the payback period reduces from 29 years to 10 years. Therefore, the design that implements both rain water harvesting and highly efficient water fixtures is the choice to go with.

## **Keywords:**

sustainability; rain water harvesting; water supply design; electrical control system; LEED

## **1. Introducción**

El centro educativo La Palma es una escuela que se encuentra a una hora, por automóvil, del centro del pueblo de Puerto Jiménez, en la península de Osa, Puntarenas. El siguiente escrito brinda los pasos necesarios para resolver el problema de abastecimiento de agua que sufren los usuarios de dicha institución.

Actualmente, debido a un mal diseño o un mantenimiento pobre de las líneas de abastecimiento, la caída de presión es suficiente para evitar que el agua llegue a los usuarios; por lo tanto, tareas básicas como la elaboración de almuerzos y los rubros mínimos de higiene, como lavarse las manos, se ponen en peligro.

La importancia de la realización de este proyecto no radica solamente en resolver el problema, sino en implementar un enfoque fuera de lo tradicional; ya que, al tener nueve meses de lluvia continua en la zona, se evitará utilizar agua potable para la descarga en inodoros. Por lo tanto, el proyecto tiene un fuerte y valioso impacto en el contexto social, debido a que se pretende ayudar a los usuarios mediante la solución al desabastecimiento de un servicio básico.

Ambientalmente, este proyecto tiene un impacto positivo, ya que al utilizarse agua de lluvia se evitará emplear agua potable. Por último, en el aspecto económico, es rentable; porque se reduciría el consumo de agua de la red.

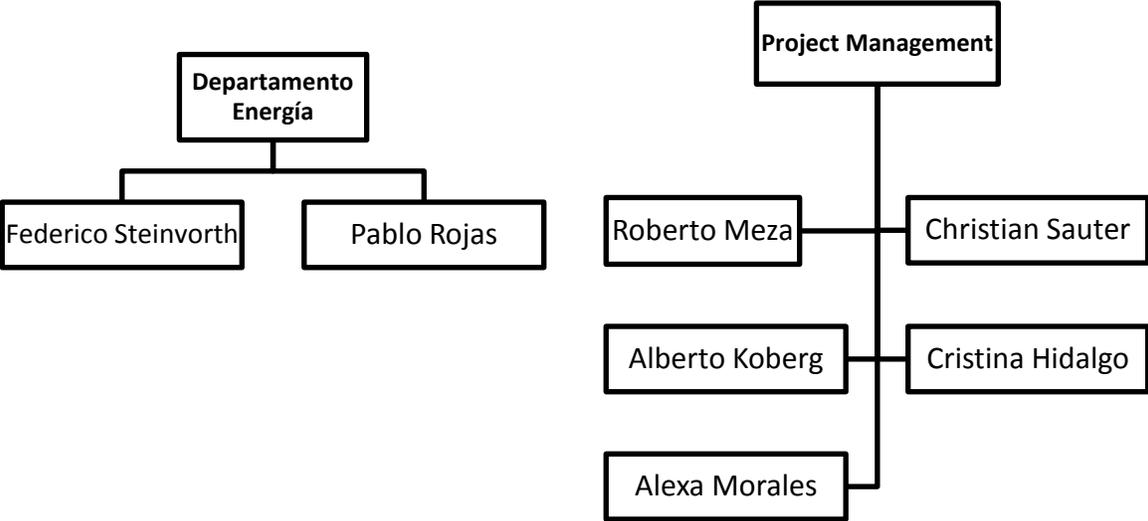
## 2. Reseña de la empresa

La empresa SPHERA fue fundada por los socios Roberto Meza y Federico Steinvorth en el año 2010, como resultado de su compromiso con la sostenibilidad y el desarrollo económico e industrial del país. Esta se dedica a la asesoría para la construcción sostenible, con énfasis en la certificación *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED®). La compañía está formada por un equipo interdisciplinario que reúne profesionales en construcción, ingeniería, análisis financiero, administración de proyectos, entre otros.

En la actualidad SPHERA, opera en Costa Rica, Panamá, Nicaragua, Guatemala y Bolivia, donde brinda consultoría en las fases de prediseño, diseño, construcción, operación y mantenimiento en proyectos de alto desempeño que promueven el uso racional de los recursos y el bienestar de sus ocupantes o usuarios. La empresa se localiza en el Centro Colón, oficina 9-5, Paseo Colón (SPHERA S.A., s.f.).

SPHERA, actualmente, está conformada por 7 profesionales y dividida en dos grandes áreas: Departamento de Energía y Departamento de Administración de Proyectos. Los servicios que se brindan, a partir de las especialidades mencionadas anteriormente, son consultoría para la construcción sostenible y administración de proyectos, creación de equipos de diseño y construcción para proyectos, estudios de factibilidad para certificación LEED, administración para el proceso de certificación LEED, consultoría para certificación LEED O+M: Operación y Mantenimiento, charlas y entrenamiento con énfasis en sostenibilidad, consultoría para la selección de productos y proveedores de productos de construcción sostenible, facilitadores de Charrettes (charlas interdisciplinarias durante el prediseño de un proyecto), análisis bioclimático y simulaciones energéticas, comisionamiento, implementación de sostenibilidad corporativa, y diseño integrado de escuelas sostenibles a través de educación por medio de experiencia (SPHERA S.A., s.f.).

Figura 1. Organigrama de SPHERA



Fuente: SPHERA S.A.

### 3. Reseña de la fundación

Earth Equilibrium es una fundación creada por Michelle Libby, surge como producto de su pasión por enseñar y su amor por la naturaleza. La fundación desarrolla proyectos que buscan beneficiar la educación, la naturaleza y la economía de las comunidades más abandonadas. Michelle trabajó por varios años para *Nature Conservancy*, una fundación para la conservación del suelo y cuerpos de agua, en varios países localizados en América Latina, el Caribe y Asia. El conocimiento que posee en administración de proyectos, su maestría en Estudios Latinoamericanos y su bachillerato en Antropología, de la *Universidad de Tulane y Franklin and Marshall College* respectivamente, beneficia de forma positiva a la organización (Earth Equilibrium, 2016)

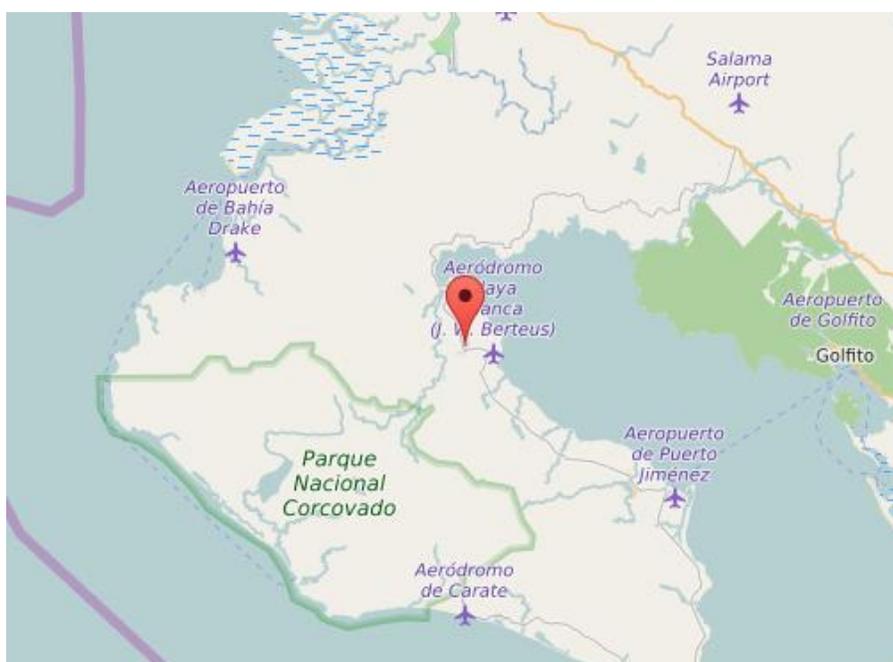
La misión de la fundación es establecer maneras de vivir más armoniosas con la naturaleza y el entorno, implementando y ayudando proyectos que promuevan el desarrollo sostenible de la comunidad. El trabajo de Earth Equilibrium es buscar mejoras que susciten la economía y el bienestar de la comunidad y, a su vez, conservando la naturaleza (Earth Equilibrium, 2016).

La visión de Earth Equilibrium es que, en un futuro, la presencia de aire fresco, suelos saludables y agua limpia sea producto de un buen manejo de los recursos naturales. Además, que la Tierra sea un lugar donde todos respeten a la naturaleza, encuentren estabilidad económica conservando los recursos naturales y crean en la restauración de hábitats naturales; que las personas vivan bien y en balance con la naturaleza, no a expensas de ella (Earth Equilibrium, 2016).

El distrito de Puerto Jiménez, segundo del cantón de Golfito, colinda con el cantón de Osa y el océano Pacífico. De acuerdo con el Censo del 2011, 9.789 habitantes viven en la zona, de los cuales 52 % son hombres y 48 % mujeres; la mayoría son niños con edades entre los 0 y 14 años, que representan aproximadamente 1.100 personas; seguido de 1.000 adolescentes y adultos jóvenes, cuya edad ronda entre los 15 y 29 años, y la minoría son adultos mayores entre los 75 y 85 años de edad, con un promedio de 50 personas (Munguía Páiz & Zúñiga Gamboa, 2013).

Puerto Jiménez, fundado en 1960, es conocido por la gran cantidad de recursos forestales y fauna silvestre que posee; es una de las principales entradas al Parque Nacional Corcovado. Además, se caracteriza por tener entre 3.200 a 3.600 mm anuales de lluvia. En la zona, se cultiva arroz, frijoles, cacao, banano y madera; se explota a pequeña escala metales y se desarrolla la ganadería (Munguía Páiz & Zúñiga Gamboa, 2013).

Figura 2. Ubicación satelital de la escuela La Palma



Fuente: [www.lis.ucr.ac.cr](http://www.lis.ucr.ac.cr)

La Dirección Regional del Ministerio de Educación en 2012 contabilizó, en la zona de Puerto Jiménez, 18 centros educativos de primaria y dos de secundaria. La siguiente tabla nombra las instituciones educativas disponibles en el distrito de Puerto Jiménez.

Tabla 1. Escuelas Registradas ante el Ministerio de Educación en el 2012

Escuela Orquídea	Escuela Boca Gallardo	Escuela Carbonera	Escuela El Ñeque
Escuela Cañaza	Escuela Quebrada La Tarde	Escuela El Bambú	Escuela Alto Laguna
Escuela La Independencia	Escuela Amapola	Escuela Dos Brazos de Río Tigre	Escuela IDA Guadalupe
Escuela IDA Agujas	Escuela San Miguel	Escuela Río Piro	Escuela Sándalo
Colegio Académico La Palma	Escuela Saturnino Cedeño	Escuela Río Oro	CTI Puerto Jiménez

Fuente: Munguía Páiz & Zúñiga Gamboa (2013)

Puerto Jiménez posee varias instituciones que brindan los servicios básicos para una población. El servicio de abastecimiento de agua potable es brindado por Acueductos y Alcantarillados (AyA) y por las siguientes Asociaciones Administradoras del Acueducto y Alcantarillados (ASADAS): Dos Brazos de Río Tigre, Palo Seco Amapola, Jiménez y Matapalo. El servicio de electricidad y comunicación lo ofrece el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). Otras instituciones públicas presentes en el lugar son Ministerio de Salud, Caja Costarricense de Seguro Social, Ministerio de Educación Pública, Ministerio de Agricultura y Ganadería, Ministerio de Ambiente y Energía, Banco Nacional de Costa Rica, Banco de Costa Rica, Correos de Costa Rica y Cruz Roja (Munguía Páiz & Zúñiga Gamboa, 2013).

Las vías de comunicación entre el distrito de Puerto Jiménez y el resto del país son aéreas, marítimas y terrestres. El aeródromo, ubicado en centro de Puerto Jiménez, es utilizado diariamente por aerolíneas domésticas como Sansa y Nature Air; esto se debe a la presencia de hoteles y bellezas naturales disponibles en la

zona. Además, posee tanto un muelle municipal como privado para transportarse a los alrededores como Golfito (Munguía Páiz & Zúñiga Gamboa, 2013).

El colegio académico La Palma se ubica a 25 kilómetros del aeropuerto de Puerto Jiménez en la provincia de Puntarenas, Costa Rica. La cantidad de estudiantes registrada en el 2014 fue de 295 estudiantes y 18 profesores.

Imagen 1. Aulas del pabellón 2 de la escuela La Palma.



Fuente: Rojas, 2016

## **4. Objetivos**

### **4.1. Objetivo general**

- Diseñar un sistema hidráulico para el abastecimiento de agua de lluvia para los inodoros de la escuela y agua potable para el área de cocina e inodoros cuando no haya agua de lluvia.

### **4.2. Objetivos específicos**

- Analizar el diseño actual del sistema de abastecimiento de agua de la escuela.
- Reportar los requisitos de demanda teóricos y prácticos de agua.
- Dibujar planos con la distribución de agua potable y agua de lluvia.
- Dimensionar las tuberías del sistema de distribución de agua.
- Escoger el equipo de bombeo y almacenaje.
- Aplicar un sistema de control para el sistema de agua.
- Identificar el diseño que mejor se ajuste al proyecto.
- Comparar económicamente los diseños propuestos.

## 5. Marco Teórico

### 5.1. Flujo volumétrico

Flujo volumétrico ( $Q$ ) es “el volumen de fluido que circula en una sección por unidad de tiempo” (Mott, 2006). La fórmula para determinar el flujo volumétrico es la siguiente:

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

En donde:

$A$  = Área de la sección ( $m^2$ )

$v$  = velocidad promedio del flujo ( $m/s$ )

### 5.2. Número de Reynolds

El número de Reynolds ( $Re$ ) es un dato muy importante para la realización de cálculos hidráulicos, ya que a partir de dicho valor se puede conocer el comportamiento de un fluido dentro de una tubería o ducto. Por ejemplo, para una tubería de sección circular, un número de Reynolds menor a 2000 representa un flujo lento y laminar. Por el contrario, si  $Re$  es mayor a 4000 se está trabajando con un flujo veloz y turbulento; cualquier valor entre esos dos tipos de flujos es conocido como “*región crítica*” (Mott, 2006). Una vez conocido con qué tipo de flujo se está trabajando, así será la ecuación o la zona del diagrama de Moody para ayudar a determinar el factor de fricción.

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad (\text{Mott, 2006}) \quad (2)$$

En donde:

$V$  = Velocidad del fluido ( $m/s$ )

$D$  = Diámetro de tubería

$\nu$  = viscosidad cinemática ( $m^2/s$ )

### 5.3. Rugosidad relativa

La rugosidad de las tuberías son imperfecciones producto del proceso de fabricación del tubo y del tipo de material con el que fue hecho. Es de vital importancia conocer la rugosidad promedio de la pared ( $\epsilon$ ) debido a que junto con el diámetro hidráulico del tubo se puede determinar el coeficiente de fricción asociado (Mott, 2006).

Tabla 2. Ejemplo de rugosidades de los diferentes materiales

Material	Rugosidad $\epsilon$ (m)	Rugosidad $\epsilon$ (pie)
Vidrio	Liso	Liso
Plástico	$3.0 \times 10^{-7}$	$1.0 \times 10^{-6}$
Tubo extruido; cobre, latón y acero	$1.5 \times 10^{-6}$	$5.0 \times 10^{-6}$
Acero, comercial o soldado	$4.6 \times 10^{-5}$	$1.5 \times 10^{-4}$
Hierro galvanizado	$1.5 \times 10^{-4}$	$5.0 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil, recubierto	$1.2 \times 10^{-4}$	$4.0 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil, no recubierto	$2.4 \times 10^{-4}$	$8.0 \times 10^{-4}$
Concreto, bien fabricado	$1.2 \times 10^{-4}$	$4.0 \times 10^{-4}$
Acero remachado	$1.8 \times 10^{-3}$	$6.0 \times 10^{-3}$

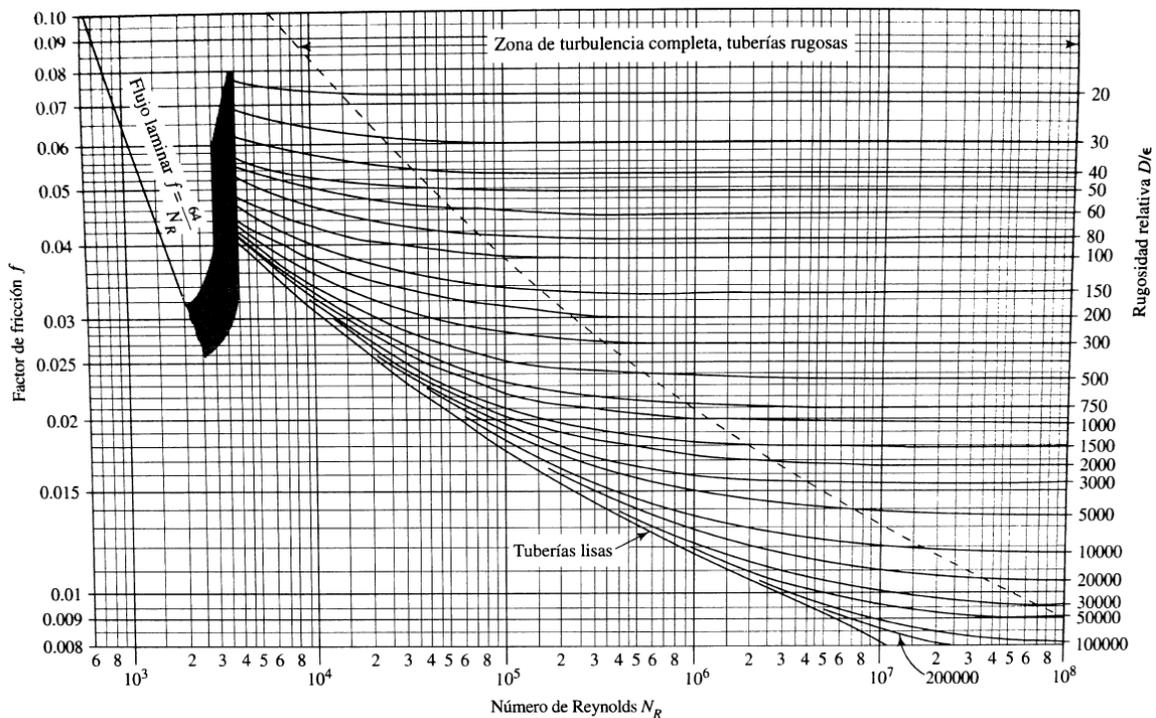
Fuente: Tabla 8.2, Mott, 2006

### 5.4. Diagrama de Moody

El diagrama de Moody es una herramienta creada por Lewis Ferry Moody; quien, a partir de datos experimentales, calculó el factor de fricción. Estas curvas permiten inferir ciertos comportamientos de los fluidos; tales como que, al incrementar la rugosidad relativa, el número de Reynolds aumenta siempre y cuando se esté trabajando de la zona de turbulencia completa. También, siempre en la zona de

turbulencia completa, el número de Reynolds no tiene ningún efecto sobre el coeficiente de fricción. Para un número de Reynolds específico, al aumentar la rugosidad relativa, el factor de fricción disminuye. Finalmente, para una rugosidad relativa específica, al aumentar el número de Reynolds, el coeficiente de fricción disminuye hasta llegar a la zona de turbulencia completa (Mott, 2006). Es importante comprender las curvas, ya que un juego con los diámetros, los materiales (rugosidades) y el número de Reynolds permite definir las necesidades que busca el proyecto.

Figura 3. Diagrama de Moody



Fuente: Figura 8.6, Mott, 2006

### 5.5. Colebrook-White

La ecuación Colebrook-White es una aproximación al factor de fricción utilizada para determinar las pérdidas por fricción en las tuberías. Dicha fórmula es

únicamente válida cuando el número de Reynolds es mayor a 4.000; flujo turbulento. La fórmula que se muestra a continuación es una versión modificada a la ecuación de Colebrook-White con un error del 2% (Chanto, 1995).

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{k}{3,7 D} + \frac{5,2016}{Re^{0,89}} \right) \quad (3)$$

En donde:

$k$  = rugosidad absoluta del material de la tubería

$D$  = diámetro hidráulico

$Re$  = número de Reynolds

$f$  = factor de fricción

### 5.6. Darcy

La ecuación de Darcy es utilizada para determinar las pérdidas por fricción en ductos y tuberías largas de sección circular para flujos tanto laminares como turbulentos (Mott, 2006).

$$\frac{h_f}{L} = \frac{f}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (4)$$

En donde,

$f$  = factor de fricción

$g$  = constante gravitacional (m/s<sup>2</sup>)

$V$  = velocidad del líquido en la tubería (m/s)

$D$  = Diámetro de tubería (m)

### 5.7. Pérdidas por accesorios y longitud equivalente

A las tuberías, frecuentemente, se les coloca diferentes válvulas y accesorios para cumplir con las especificaciones de diseño para que realicen lo que se les requiera. Primeramente, las válvulas se utilizan para controlar la cantidad de fluido; ya sea cerrando, abriendo, por completo, o algún valor intermedio de forma manual o automática; esta habilidad va dependiendo del tipo de válvula que se emplee. Las

válvulas pueden ser de globo, bola, ángulo, compuerta y mariposa; entre otras. Finalmente, los acoplamientos son objetos que dirigen la trayectoria del flujo o hacen que cambie de tamaño. Dentro de la gama de accesorios, se puede ubicar codos, tes, reductores, boquillas y orificios. Estos objetos que se colocan en las tuberías producen una resistencia al fluido, que viaja en ella, provocando una pérdida de energía. La resistencia varía según el tipo y el tamaño del accesorio, por lo tanto, las pérdidas también varían. Dicha pérdida menor se calcula por medio de la siguiente ecuación (Mott, 2006).

$$h_L = K \cdot (v^2/2g) \quad (5)$$

En donde:

$K$  = coeficiente de resistencia

$v$  = velocidad promedio del flujo

$g$  = constante gravitacional

Si no se dispone del valor  $K$ , se puede calcular dicho valor con la siguiente ecuación (Mott, 2006).

$$K = \left(\frac{L_e}{D}\right) f_t \quad (6)$$

En donde:

$L_e$  = Longitud equivalente

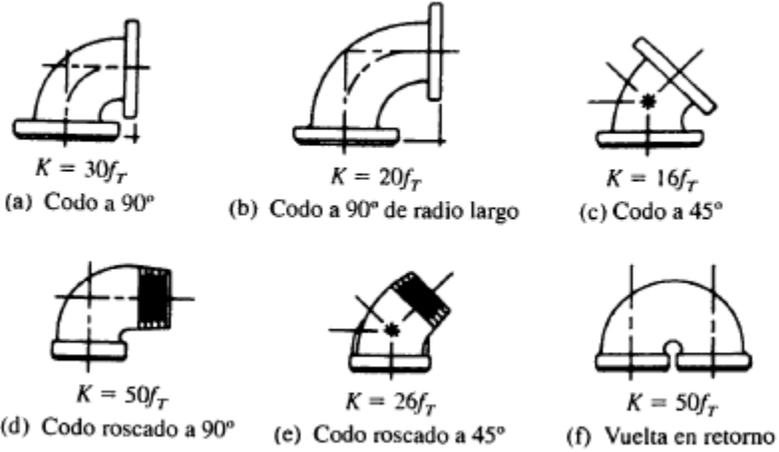
$D$  = Diámetro interior real de la tubería

$f_t$  = Factor de fricción

La longitud equivalente es un término muy importante, ya que representa “la longitud de tubería recta del mismo diámetro nominal que el de la válvula, la cual tendría la misma resistencia que ésta” (Mott, 2006). El factor de fricción varía según el tipo y el tamaño de la tubería que se esté utilizando. Algunos diseñadores utilizan el método de longitud equivalente de tubería para sumar el resultado a la longitud real del tubo (Mott, 2006). La Figura 6 muestra el ejemplo de cómo se traduce de

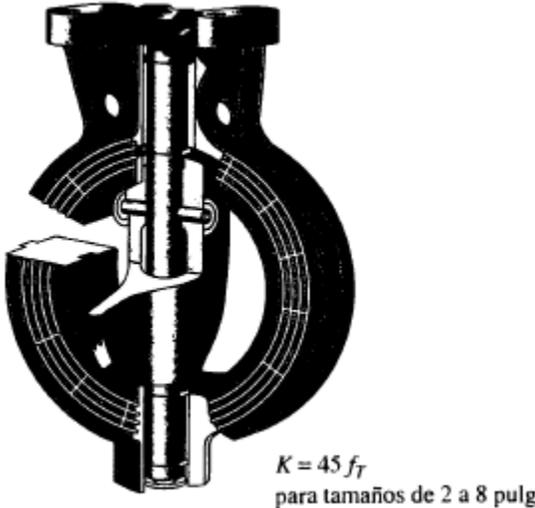
manera rápida la pérdida de accesorio a la longitud equivalente, sin tener que realizar mucho cálculo.

Figura 4. Ejemplo de codos de tubería con su respectivo K para cálculo de pérdida menor.



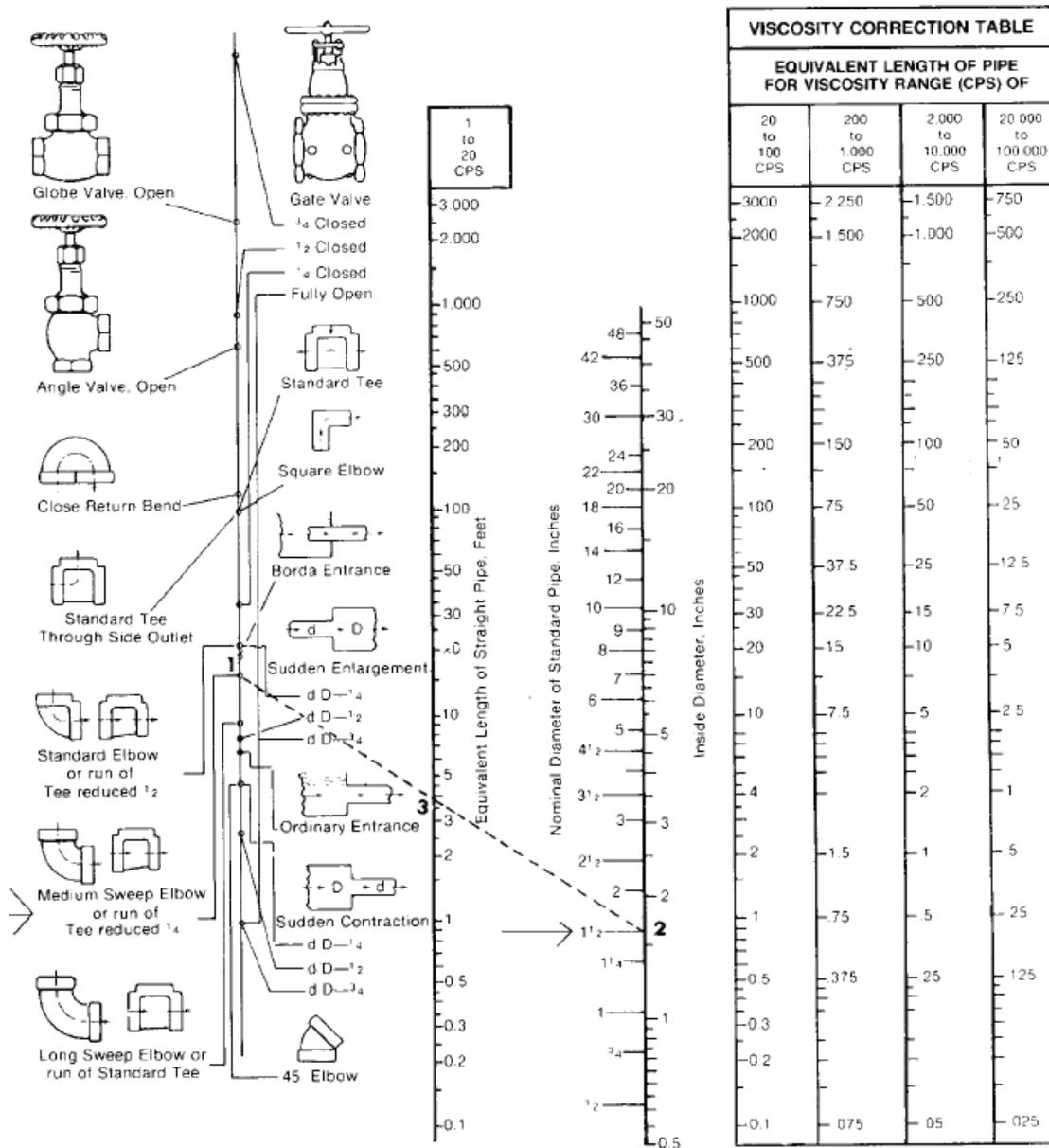
Fuente: Mott (2006).

Figura 5. Ejemplo de valor K para el cálculo de pérdida menor.



Fuente: Mott (2006).

Figura 6. Ejemplo de longitud equivalente de tubería por tipo de accesorio



Fuente: Waukesha Cherry-Burrell. Engineering Manual.

### 5.8. Controladores Lógicos Programables

Un *Programmable Logic Controller* (PLC), controlador lógico programable, "es toda máquina electrónica diseñada para controlar en tiempo real y en entornos

industriales procesos de naturaleza combinacional y secuencial” (Peña, 2003). El funcionamiento básico de un PLC es, primeramente, recibir información retroalimentada del proceso, luego ejecutar el algoritmo y por último realizar la tarea que corresponde (Peña, 2003).

La Comisión Electrotécnica Internacional o IEC (International Electrotechnical Commission; por sus siglas en inglés) tiene un conjunto de normas e informes donde se establecen estándares para controladores lógicos programables (Peña, 2003). A continuación, se menciona sus 9 secciones; y una definición formal y técnica de un controlador lógico programable (IEC 61131 Standards, 2016).

- Parte 1: Información general. Ed. 2.0.
- Parte 2: Especificaciones y ensayos de los equipos. Ed. 3.0.
- Parte 3: Lenguajes de programación. Ed. 3.0.
- Parte 4: Guías de usuario. Ed. 2.0.
- Parte 5: Comunicaciones. Ed. 1.0.
- Parte 6: Seguridad funcional. Ed. 1.0.
- Parte 7: Programación de control borroso (fuzzy). Ed. 1.0.
- Parte 8: Directrices para la aplicación e implementación de lenguajes de programación. Ed. 2.0.
- Parte 9: Interfaz de comunicación para pequeños sensores y actuadores (conocidos como IO-Link). Ed. 1.0.

Un PLC está conformado por la fuente de alimentación, unidad central de procesamiento (CPU), una memoria, y las unidades de entrada y salida (Peña, 2003). A continuación, se explica cada una de ellas.

#### **5.8.1. Fuente de Alimentación**

La fuente de alimentación proporciona las tensiones necesarias para el funcionamiento de los distintos circuitos del sistema; tanto del propio PLC

como de sensores y actuadores. Son tres sistemas independientes de alimentación:

- a. Alimentación del propio PLC (sus elementos internos como lo son CPU, memorias, interfaces de I/O, etc.).
- b. Alimentación de las entradas (sensores).
- c. Alimentación de las salidas (actuadores de tipo electromagnético) (Peña, 2003).

### **5.8.2. Unidad Central de Procesamiento (CPU)**

La unidad central de procesamiento (Control Processing Unit; CPU) es el cerebro del sistema. El CPU consulta el estado de las diferentes entradas conectadas al PLC, ejecuta secuencialmente el algoritmo previamente guardado en su memoria, elabora señales de salidas producto de las entradas obtenidas, actualiza continuamente los temporizadores y contadores internos del programa del usuario y efectúa operaciones de autodiagnóstico para identificar los posibles fallos de funcionamiento. Comúnmente, los CPU utilizan uno o varios microprocesadores más memoria para realizar las tareas previamente mencionadas. Existe una segunda opción que son los CPU mediante opción cableada (Peña, 2003).

### **5.8.3. Memoria**

La memoria del PLC es donde se almacena y ejecuta la secuencia de operación. La secuencia almacenada es de forma binaria (0 y 1) y es utilizada por la Unidad Central de Procesamiento (CPU). Dentro de la unidad de almacenamiento, se encontrará:

- Variables internas, de un bit o varios bits.
  - Temporizadores.
  - Contadores.
  - Registros.
  - Banderas.
- Datos de control.
- Datos alfanuméricos y constantes.

- Programa de usuario.
- Memoria de Imagen I/O (Peña, 2003).

La memoria del PLC puede estar conformada por varios tipos y están catalogados por su volatilidad, aplicación y forma de borrado. A continuación, se mencionan:

- RAM: memoria de lectura y escritura.
- ROM: memoria de solo lectura, no reprogramable.
- EPROM: memoria de solo lectura, reprogramables con borrado por ultravioletas.
- EEPROM: memoria de solo lectura, alterables por medios eléctricos (Peña, 2003).

#### **5.8.4. Unidades de entrada/salida**

Las interfaces de entrada/salida (E/S) o I/O (Input/Output; por sus siglas en inglés) proporcionan una unión entre el CPU y, los sensores y los actuadores (Peña, 2003).

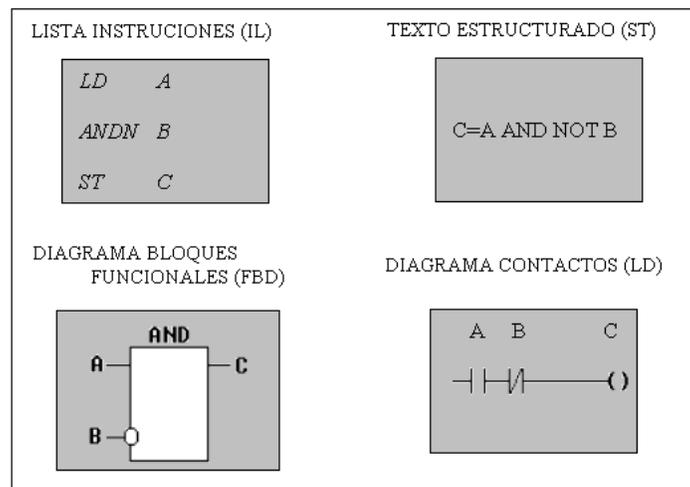
Las interfaces de entrada y salida pueden variar dependiendo del tipo de señal que trabajan, por el aislamiento que utilizan, por la ubicación en el PLC, su forma de comunicación con la CPU, módulos de entrada y módulos de salida. Las entradas digitales tienen la capacidad de transmitir un solo bit o varios bits (por ejemplo, 1 byte o 2 bytes). Las tarjetas analógicas tienen la capacidad de interpretar el valor analógico y lo convierten, internamente, en un valor digital para su debido procesamiento en el CPU. El rango más frecuente, en el que opera un PLC con E/S analógicas, es de 4 a 20 mA (miliamperios) y 0 a 10 V<sub>DC</sub> (Peña, 2003).

El aspecto físico externo de un PLC es muy variado y está vinculado al fabricante y la potencia del PLC. Primeramente, se encuentran los de estructura compacta que refiera a que todos los elementos están contenidos en una sola unidad (en único bloque). Finalmente, se tienen los de estructura modular que

significa que el PLC se encuentra dividido en diferentes módulos donde cada módulo realiza funciones específicas (Peña, 2003).

La norma IEC 61131-3 define cuatro lenguajes de programación normalizados. Las primeras dos opciones son del tipo literal, las cuales son Lista de Instrucciones (IL) y Texto Estructurado (ST). Las últimas dos opciones son del tipo gráficos, que son Diagrama de Contactos (LD) y Diagrama de Bloques Funcionales (FBD) (IEC 61131-3: Un Recurso de Programación Estandar).

Figura 7. Lenguajes avalados por IEC 61131-3



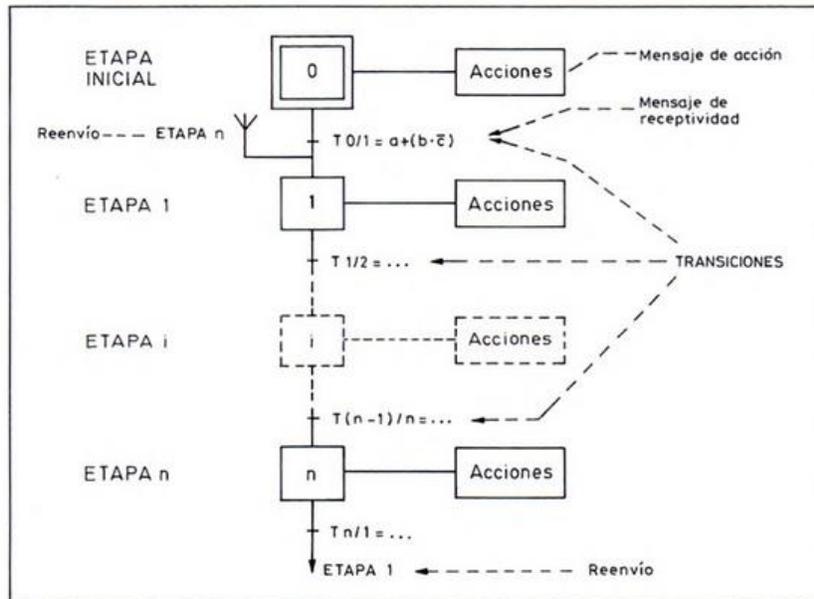
Fuente: IEC 61131-3: Un Recurso de Programación Estandar.

El Diagrama de Contactos conocido como Diagrama Escalera (Ladder Diagram; LD) está basado en la presentación gráfica de la lógica de los relés; dependiendo de hacia dónde se mueve el flujo eléctrico este activa o desactiva relés (IEC 61131-3: Un Recurso de Programación Estandar).

### 5.9. Gráfico funcional secuencial

El gráfico funcional secuencial (Sequential Function Chart; SFC) es una estructura organizacional que coordina los dos lenguajes gráficos y dos textuales. El antecesor del diagrama funcional secuencial es conocido como GRAFCET; ambas utilizan etapas, transiciones y acciones para realizar la secuencia de trabajo, tal como se muestra en la Figura 8 (Vázquez, 2013).

Figura 8. Guía de cómo realizar una programación



Fuente: Balcells & Romeral (1997) Figura 2.17

Las reglas básicas de un GRAFCET son que entre cada dos etapas debe haber una y solo una condición de transición. Los “mensajes de acción” son actividades que se realizan cuando la etapa está activa. Los “mensajes de receptividad”, localizados entre etapas, son las condiciones lógicas que deben suceder para poder proceder a la siguiente etapa. La secuencia puede ser únicamente lineal, o puede contener divergencias y convergencias en Y, y divergencias y convergencias en O a lo largo de la secuencia (Balcells & Romeral, 1997).

### 5.10. Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones

El *Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones* es una norma a nivel nacional que estipula guías y especificaciones que se deben considerar a la hora de un diseño hidráulico para una edificación. Dentro de los alcances del código, se encuentran normas generales; dotaciones de agua potable; número requerido de piezas dependiendo del tipo de proyecto (locales comerciales, hoteles, auditorios, etc.); especificaciones y materiales de las piezas sanitarias;

especificaciones de los cuartos de baño; materiales para tuberías, válvulas y accesorios; normas para el cálculo de tuberías de distribución: presiones y gastos mínimos, velocidades del flujo, caudales de diseño y pérdidas de carga; requisitos constructivos en instalaciones de agua potable; tanques de almacenamiento; equipos de bombeo; equipos hidroneumáticos; inspección y pruebas de la instalaciones de abastecimiento de agua potable; producción, almacenamiento y distribución de agua caliente; sistemas de desagüe de aguas negras: materiales para tuberías de desagüe, tubo de ventilación, sus uniones y conexiones, gastos y diámetros mínimos, caudales de diseño, pendientes y velocidades, bajantes y requisitos constructivos; cajas de registro; bombeo de aguas negras; y sistemas de recolección y evacuación de aguas de lluvia (Chanto, 1995).

El capítulo 6, *Sistemas de Agua Fría y Agua Caliente*, detalla cada una de las consideraciones que se deben de tener a la hora de realizar cálculos, y la selección de materiales, equipo y accesorios. A continuación, se especifica los artículos más relevantes del capítulo para el desarrollo del proyecto para el centro educativo La Palma.

Artículo 6.3. No se permitirán conexiones directas entre las tuberías de la red pública y bombas u otros aparatos mecánicos de elevación.

Artículo 6.8. Cuando el abastecimiento de agua público no garantice servicio continuo se utilizará alguno de los siguientes sistemas indirectos:

- a. Tanque elevado
- b. Cisterna, equipo de bombeo y tanque hidroneumático
- c. Cisterna, equipo de bombeo y tanque elevado.

Artículo 6.9. Cuando el abastecimiento público de agua no garantice presión suficiente, el sistema de distribución de la edificación deberá utilizar alguno de los sistemas estipulados en los incisos b. y c. del Artículo 6.8.

Artículo 6.13. En el abastecimiento y distribución de agua para las obras de construcción deberán utilizarse únicamente tuberías y accesorios de los siguientes materiales: hierro fundido, hierro galvanizado, acero, cobre, bronce, latón, PVC, CPVC o polietileno” (Luis Fernando Chanto, 1995).

Artículo 6.14. Las tuberías deberán cumplir con los siguientes requisitos generales:

- a. Material homogéneo.
- b. Sección circular.
- c. Espesor uniforme.
- d. Dimensiones, pesos y espesores de acuerdo con las especificaciones correspondientes.
- e. No tener defectos tales como grietas, abolladuras y aplastamientos.

Artículo 6.16. La presión mínima en los nodos del sistema de distribución deberá permitir el funcionamiento adecuado de las piezas sanitarias correspondientes. La Tabla 6.1 indica las presiones mínimas recomendadas para la operación de varios aparatos sanitarios. En ningún caso la presión a la entrada de las piezas será menor de 2 m.

Artículo 6.18. Para el cálculo de las tuberías de distribución se recomienda una velocidad mínima de 0,60 m/s para evitar la sedimentación de partículas y una velocidad máxima de 2,00 m/s para evitar ruido excesivo en las tuberías y golpes de arriete. Para evitar pérdidas de carga excesivas se recomienda mantener las velocidades máximas según la expresión  $V = 10 \cdot \sqrt{D}$ , en donde V es la velocidad en m/s, y  $\sqrt{D}$  es la raíz cuadrada del diámetro interno de la tubería en metros, y en ningún caso mayor que 2, 0 m/s. Las velocidades recomendadas resultan en pérdidas por fricción que oscilan

entre 0,10 y 0,20 m por metro lineal. La Tabla 6.2 indica las velocidades y caudales máximos recomendados de acuerdo a los criterios anteriores.

**TABLA 6.1**  
**DIAMETROS, PRESIONES Y GASTOS MÍNIMOS REQUERIDOS EN**  
**LOS PUNTOS DE ALIMENTACION DE LAS PIEZAS SANITARIAS**

Pieza	Diámetro Mínimo (1) (mm)	Presión Mínima (2) (m)	Gasto Mínimo (l/s)	
			Uso Privado	Uso Público
Bañera	18	2	0,30	
Bidet	12	3	0,10	
Ducha	13	2	0,20	0,30
Fregadero	12	2	0,20	0,30
Fuente	12	2,5	0,10	
Inodoro con tanque	12	2	0,20	0,25
Inodoro con válvula semi-automática (3)	31	7 a 14	1,50	1,90
Lavatorio	12	2	0,15	0,20
Lavadora	12	3,5	0,30	
LLAVE PARA RIEGO JARDÍN	12	10	0,30	
Orinal corrido	12	2	0,075/ml	
Orinal con válvula semi-automática (3)	18	5 a 10	1,00	
Fileta de lavar	12	2	0,30	

Notas:

- (1) Diámetro interno mínimo de tubería de alimentación. En el caso de inodoros y lavatorios, este diámetro es el del ramal de alimentación hasta la llave de paso.
- (2) Presión dinámica mínima a la entrada de accesorio.
- (3) Dependiendo del tipo de válvula semi-automática.

Fuente: Luis Fernando Chanto (1995), tabla 6.1.

**TABLA 6.2**  
**VELOCIDADES MÁXIMAS RECOMENDADAS**

Diámetro (mm) (1)	Velocidad Máx. (m/s)	Caudal Máx. (l/s)	Gradiente Hidr. (m/m)	
			PVC	H. Galvan.
12	1,10	0,12	0,16	0,18
15	1,25	0,22	0,15	0,18
18	1,35	0,34	0,14	0,17
25	1,60	0,79	0,12	0,16
31	1,75	1,32	0,11	0,15
38	1,95	2,21	0,10	0,14
50	2,00	3,93	0,08	0,11

- Nota:
- (1) Diámetro interno de la tubería.
  - (2) Grad. hidráulico para PVC según Art. 6.3.4
  - (3) Grad. hidráulico para H.G. según Hazen-Williams, C=125.

Fuente: Luis Fernando Chanto (1995), tabla 6.2.

Artículo 6.20. Para el cálculo de las pérdidas de carga distribuidas de las tuberías de distribución y los ramales de alimentación se recomienda la utilización de alguna de las siguientes fórmulas:

a. Hazen-Williams

$$\frac{h_f}{L} = 10,675 \frac{(Q/C)^{1,85}}{D^{4,87}} \quad (7)$$

En donde,

$h_f/L$  = gradiente de pérdidas por fricción (m/m)

D = diámetro de la tubería (m)

Q = caudal en la tubería (m<sup>3</sup>/s)

C = coeficiente de rugosidad

b. Darcy-Weisbach

$$\frac{h_f}{L} = \frac{f}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (8)$$

En donde,

f = factor de fricción

g = constante gravitacional (9.8 m/s<sup>2</sup>)

v = velocidad del líquido en la tubería (m/s) (Luis Fernando Chanto, 1995).

Artículo 6.21. Se deben considerar las pérdidas menores provocadas por cambios de dirección, accesorios, válvula, reducciones, así como por medidores de caudal.

Artículo 6.29. Las tuberías enterradas deberán colocarse en zanjas excavadas de dimensiones tales que permitan su fácil instalación. La profundidad mínima de la zanja será 30 cm, de la corona del tubo al nivel del terreno. Antes de proceder a la colocación de las tuberías deberá compactarse el fondo de la zanja. Una vez colocadas las tuberías, rellenada

y compactada la zanja, serán inspeccionadas y sometidas a las pruebas correspondientes, según lo estipulado en la Sección 6.8.

Artículo 6.33. Toda edificación ubicada en sectores donde el abastecimiento de agua pública no sea continuo o carezca de presión suficiente, deberá estar provisto de uno o varios tanques de almacenamiento que permitan el suministro de agua en forma adecuada a todas las piezas sanitarias o instalaciones previstas. Estos tanques podrán instalarse en los niveles inferiores (cisterna), en pisos intermedios, o sobre el edificio (elevados).

Artículo 6.34. Los tanques de agua deberán ser diseñados en forma tal que garanticen la potabilidad del agua en todo tiempo y que no permitan la entrada de agua de lluvia, roedores o materiales contaminantes.

Artículo 6.36. Cuando fuera necesario emplear una combinación de cisterna, bomba de elevación y tanque elevado, la capacidad de los tanques dependerá de la jornada de bombeo, de la capacidad de las bombas y del patrón de consumo de la edificación. Si no se dispone de estos datos, es recomendable que la capacidad de la cisterna sea no menor a las  $\frac{3}{4}$  partes de consumo total diario y la del tanque elevado no menor que la mitad de dicho consumo.

Artículo 6.37. Los tanques de almacenamiento estarán dotados de los dispositivos necesarios para su correcta operación, mantenimiento y limpieza, tales como registro, tubería de entrada con válvula de boya u otro mecanismo automático de control, tubería de salida con válvula de compuerta o de paso, tubería de ventilación, tubería de rebalse protegida contra la entrada de insectos, y tubería de limpieza descargando de forma tal que no provoque inundaciones.

Artículo 6.38. Los materiales para los tanques de almacenamiento deberán de cumplir con los siguientes requisitos generales: materiales impermeables, inodoros, y que no den sabor al agua. Estos materiales pueden ser plásticos, metales, fibro-cemento, fibra de vidrio, concreto armado u otros materiales aprobados por la autoridad sanitaria.

Artículo 6.34. El tubo de rebalse debe ser de un diámetro mayor al tubo de entrada y con un mínimo de 25mm. Este tubo deberá descargar en un sitio visible y donde se adviertan claramente posibles vertidos.

Artículo 6.47. El control de los niveles de agua en los tanques se hará por medio de interruptores automáticos que permitan:

Arrancar la bomba cuando el nivel de agua en el tanque elevado descienda hasta la mitad de su altura.

- a. Parar la bomba cuando el nivel de agua en el tanque elevado ascienda hasta el nivel máximo previsto.
- b. Parar la bomba cuando el nivel del agua en la cisterna descienda hasta 15 cm por encima de la canastilla de succión.

Artículo 6.51. La selección de los equipos de bombeo deberá hacerse con base las curvas características de los mismos y de acuerdo con las condiciones de operación del sistema de distribución. La potencia del motor deberá ser acorde con los requerimientos de la potencia del motor deberá ser acorde con los requerimientos de potencia hidráulica de la bomba.

Artículo 6.53. Cuando el sistema de distribución de agua esté provisto de cisterna y tanque elevado, la capacidad del equipo de bombeo deberá ser tal que permita llenar el tanque elevado en un tiempo máximo de cuatro horas, según se estableció en el Art. 6.46.

Artículo 6.54. Los diámetros de las tuberías de impulsión de las bombas se determinarán en función al caudal de bombeo y de la carga dinámica total. Los diámetros de las tuberías de succión de las bombas se determinarán de acuerdo a la carga neta de succión requerida de la bomba.

Artículo 6.57 e. Los diámetros de las tuberías de succión serán siempre mayores que los de las tuberías de impulsión.

Artículo 6.58. En la tubería de impulsión, inmediatamente después de la bomba deberá instalarse una válvula de retención (check) y una válvula de compuerta.

Artículo 6.62. Los motores deberán tener su alimentación independiente derivada directamente del tablero de control. El equipo deberá estar dotado de una adecuada protección contra sobrecargas, cortocircuitos, pérdidas de fase, inversión de fase y sobretemperatura.

Artículo 6.63. Los equipos de bombeo para trabajo combinado con las cisternas, tanques elevados, sistema hidroneumático y de extinción de incendios, deberán estar dotados de sistemas automáticos que garanticen su funcionamiento.

Artículo 6.66. Las bombas instaladas en edificaciones, destinadas al abastecimiento de agua, no podrán conectarse directamente a la red pública, sino a través de un tanque de almacenamiento (Chanto, 1995).

### 5.11. Dispositivos Ahorradores de Agua

Los aireadores son elementos que permiten regular la cantidad de agua que sale de un grifo por medio de una mezcla de agua y pequeñas burbujas de aire. Estas burbujas, además de facilitar el efecto de arrastre, dan la sensación al usuario de que el chorro posee más caudal y presión de la que realmente tiene (Palomo, 2010). Un aireador permite ahorrar desde un 25%-50% de agua por grifo (Gracia, 2006).

Imagen 2. Ejemplo de un aireador CASCADE® de Neoperl®



Fuente: [www.neoperl.net](http://www.neoperl.net)

Los reguladores de flujo son elementos que intervienen la tubería de agua para limitar el flujo, por lo tanto, sale menor cantidad de agua por el grifo o ducha. Un limitador puede brindar un ahorro del 40 % al 60 % dependiendo de la presión de la red. Si la presión no es la adecuada puede presentar deficiencias (Ecología y Desarrollo, s.f.).

Imagen 3. Limitador de Caudal



Fuente: [www.aguaflux.es](http://www.aguaflux.es)

### **5.12. Inodoros de Descarga por Gravedad**

Los inodoros de descarga por gravedad son aquellos que utilizan la fuerza de arrastre del agua al caer. Dicha agua se encuentra almacenada en un tanque en la parte posterior del inodoro. Este tipo de inodoro es muy común de encontrar y su uso es principalmente doméstico (Ecología y Desarrollo, s.f.).

El inodoro, por descarga, más eficiente, en ahorro de agua a nivel mundial, es el inodoro ecológico SALVAGUA II. Este posee una capacidad de descarga de solo 3 litros; mejor que la competencia más cercana de 4.8 litros por descarga. La eficiencia se debe a que el tanque de llenado atrapa aire y lo transfiere el sifón, por lo tanto, se crea un vacío a la hora de la descarga logrando así succionar los sólidos de forma ultra eficiente (Productos, 2016).

Imagen 4. Inodoro de Descarga por Gravedad Modelo Salvagua II



Fuente: [www.acualogica.com](http://www.acualogica.com)

### 5.13. Leadership in Energy and Environmental Design

Leadership in Energy and Environmental Design (LEED®) es una certificación desarrollada por U.S. Green Building Council (USGBC®) para identificar, implementar y medir parámetros para definir si las fases de diseño, construcción, operación y mantenimiento se desarrollan de la manera más sostenible posible. LEED es una herramienta que busca optimizar el uso de recursos naturales, promover el bienestar de los usuarios del espacio y minimizar el impacto negativo que producen la industria de la construcción (U.S. Green Building Council, Inc, 2013).

LEED divide los proyectos en cinco categorías generales: *Building Design and Construction (BD+C)*, *Interior Design and Construction (ID+C)*, *Building Operation and Maintenance (O+M)*, *Neighborhood Development (ND)* y *Homes*. Seguidamente, dentro de cada una de estas categorías, previamente mencionadas, se encuentran tipos de proyectos más específicos como *New Construction* (Nueva Construcción), creado en 1998 para nuevas construcciones y remodelaciones mayores, *Core and Shell* (Núcleo y Envoltorio), *Schools* (Escuelas), *Healthcare*

(Hospitales) dentro de BD+C o *Commercial Interiors, Retail* dentro de ID+C; por mencionar algunos (U.S. Green Building Council, Inc, 2013).

LEED posee cuatro posibles grados de certificación: 40 a 49 puntos para ser LEED Certified (Certificado), 50 a 59 para ser LEED Silver (Plata), 60 a 79 puntos para ser LEED Gold (Oro) y 80 o más puntos para ser LEED Platinum (Platino). Los puntos se obtienen al lograr con éxito créditos dentro de las siguientes ocho categorías: Location and Transportation (Ubicación y Transporte), Sustainable Sites (Sitios Sustentables), Water Efficiency (Uso Eficiente del Agua), Energy and Atmosphere (Energía y Atmósfera), Materials and Resources (Materiales y Recursos), Indoor Environmental Design (Calidad Ambiental Interior), Innovation (Innovación) y Regional Priority (Prioridad Regional). Dependiendo del tipo de proyecto, los subtotales dentro de las categorías anteriores varían, pero el total continúa siendo 110 puntos (U.S. Green Building Council, Inc, 2013).

La Figura 9 es un ejemplo de todos los rubros cubiertos por la certificación *LEED versión cuatro para O+M: Centros Educativos* con sus respectivos puntajes por categoría. El *checklist* se utiliza para determinar qué parámetros y metas se ha propuesto el equipo de trabajo para conocer el grado de certificación por el cual se podría optar.

Figura 9. Ejemplo de Checklist de Proyecto LEED v4 O+M: Centros Educativos

SÍ		?		NO			
0		0		0		<b>Ubicación y Transporte</b> 15	
Orédito		Orédito		Orédito		Transporte Alternativo 15	
0		0		0		<b>Sitios Sustentables</b> 10	
SÍ		Prereq1		Políticas de Manejo del Sitio		Obligatorio	
Orédito		Orédito		Desarrollo del Sitio - Protección o Restauración del Hábitat		2	
Orédito		Orédito		Manejo de Aguas Pluviales		2	
Orédito		Orédito		Reducción del Efecto Isla de Calor		2	
Orédito		Orédito		Reducción de la Contaminación Lumínica		1	
Orédito		Orédito		Manejo del Sitio		1	
Orédito		Orédito		Plan de Mejora del Sitio		1	
Orédito		Orédito		Uso Conjunto de las Instalaciones		1	
0		0		0		<b>Uso Eficiente del Agua</b> 12	
SÍ		Prereq1		Reducción del Consumo de Agua en el Interior		Obligatorio	
SÍ		Prereq2		Medición del Consumo de Agua por Edificio		Obligatorio	
Orédito		Orédito		Reducción del Consumo de Agua en el Exterior		2	
Orédito		Orédito		Reducción del Consumo de Agua en el Interior		5	
Orédito		Orédito		Consumo de Agua de la Torre de Enfriamiento		3	
Orédito		Orédito		Medición del Consumo de Agua		2	
0		0		0		<b>Energía y Atmósfera</b> 38	
SÍ		Prereq1		Mejores Prácticas de Gestión de la Eficiencia Energética		Obligatorio	
SÍ		Prereq2		Desempeño Energético Mínimo		Obligatorio	
SÍ		Prereq3		Medición del Consumo de Energía por Edificio		Obligatorio	
SÍ		Prereq4		Gestión Básica de Refrigerantes		Obligatorio	
Orédito		Orédito		Retrocomisionamiento - Análisis		2	
Orédito		Orédito		Retrocomisionamiento - Implementación		2	
Orédito		Orédito		Comisionamiento Continuo		3	
Orédito		Orédito		Optimización del Desempeño Energético		20	
Orédito		Orédito		Medición de Energía Avanzada		2	
Orédito		Orédito		Respuesta a la Demanda		3	
Orédito		Orédito		Energías Renovables y Compensaciones de Carbono		5	
Orédito		Orédito		Gestión Avanzada de Refrigerantes		1	
0		0		0		<b>Materiales y Recursos</b> 8	
SÍ		Prereq1		Política de Compras y Desechos Continuos		Obligatorio	
SÍ		Prereq2		Política de Mantenimiento y Renovación de Instalaciones		Obligatorio	
Orédito		Orédito		Compras - Continuas		1	
Orédito		Orédito		Compras - Lámparas		1	
Orédito		Orédito		Compras - Gestión y Renovación de Instalaciones		2	
Orédito		Orédito		Gestión de Desechos Sólidos - Continuos		2	
Orédito		Orédito		Gestión de Desechos Sólidos - Gestión y Renovación de Instalaciones		2	
0		0		0		<b>Calidad Ambiental Interior</b> 17	
SÍ		Prereq1		Desempeño Mínimo de la Calidad del Aire Interior		Obligatorio	
SÍ		Prereq2		Control del Humo Ambiental del Tabaco		Obligatorio	
SÍ		Prereq3		Política de Limpieza Ecológica		Obligatorio	
Orédito		Orédito		Programa de Gestión de la Calidad del Aire Interior		2	
Orédito		Orédito		Estrategias Avanzadas de Calidad del Aire Interior		2	
Orédito		Orédito		Confort Térmico		1	
Orédito		Orédito		Iluminación Interior		2	
Orédito		Orédito		Iluminación Natural y Vistas de Calidad		4	
Orédito		Orédito		Limpieza Ecológica - Evaluación de la Efectividad de la Limpieza		1	
Orédito		Orédito		Limpieza Ecológica - Productos y Materiales		1	
Orédito		Orédito		Limpieza Ecológica - Equipo		1	
Orédito		Orédito		Manejo Integrado de Plagas		2	
Orédito		Orédito		Encuesta de Confort de los Ocupantes		1	
0		0		0		<b>Innovación</b> 6	
Orédito		Orédito		Innovación		5	
Orédito		Orédito		LEED Accredited Professional		1	
0		0		0		<b>Prioridad Regional</b> 4	
Orédito		Orédito		Prioridad Regional: Crédito Específico		1	
Orédito		Orédito		Prioridad Regional: Crédito Específico		1	
Orédito		Orédito		Prioridad Regional: Crédito Específico		1	
Orédito		Orédito		Prioridad Regional: Crédito Específico		1	
0		0		0		<b>TOTALES</b> Puntos posibles: 110	
Certificado:		de 40 a 49 puntos,		Plata:		de 50 a 59 puntos,	
Oro:		de 60 a 79 puntos,		Platino:		más de 80 puntos	

Fuente: www.usgbc.com

### 5.14. Water Efficiency (Uso Eficiente del Agua)

La sección de *Water Efficiency* (WE) de la certificación LEED se centra en los usos internos, usos externos, usos específicos y de medición del agua en el proyecto. Los prerrequisitos buscan el uso racional y eficiente de agua potable, y reutilización de esta, ya que solo el 3 % del agua del mundo es fresca y dos tercios de esta se encuentra en los glaciares. Además, la cantidad de energía requerida para tratar y transportar el agua es muy alta, y no se contabiliza en el medidor del edificio. Un estudio mostró que el 19 % de la energía total de los Estados Unidos es utilizada para tratar y bombear agua (U.S. Green Building Council, Inc, 2013).

Las tablas que se muestran a continuación se utilizan para calcular el ahorro de agua que tendría el proyecto al compararlo con la línea base propuesta por LEED. La Tabla 3 contiene los consumos máximos de los diferentes accesorios y la Tabla 4 presenta los usos, según el tipo de usuario, para proyectos escolares. Para obtener la certificación, se debe cumplir con todos los prerequisites establecidos por el sistema de puntuación. La reducción de usos del agua en interiores (*Indoor Water Use Reduction*) pide como mínimo un ahorro del 20 % entre el modelo base (*baseline*) y el modelo de diseño (*proposed*) (U.S. Green Building Council, Inc, 2013).

Tabla 3. Línea base de consumos de diferentes accesorios

<b><i>Fixture or fitting</i></b>	<b><i>Baseline (Unidades IP)</i></b>	<b><i>Baseline (Unidades SI)</i></b>
<b>Inodoros</b>	1,6 gpf	6 lpf
<b>Orinales</b>	1,0 gpf	3,8 lpf
<b>Lavatorios públicos (baños)</b>	0,5 gpm at 60 psi	1,9 lpm a 415 kPa
<b>Lavatorios privados</b>	2,2 gpm a 60 psi	8,3 lpm a 415 kPa
<b>Lavado cocina</b>	2,2 gpm a 60 psi	8,3 lpm a 415 kPa
<b>Duchas</b>	2,5 gpm a 80 psi por ducha	9,5 lpm a 550 kPa por ducha

gpf = galones por descarga gpm = galones por minuto psi = libras por pulgada cuadrada

lpf = litros por descarga lpm = litros por minuto kPa = kilopascales

Fuente: U.S. Green Building Council, Inc. (2013).

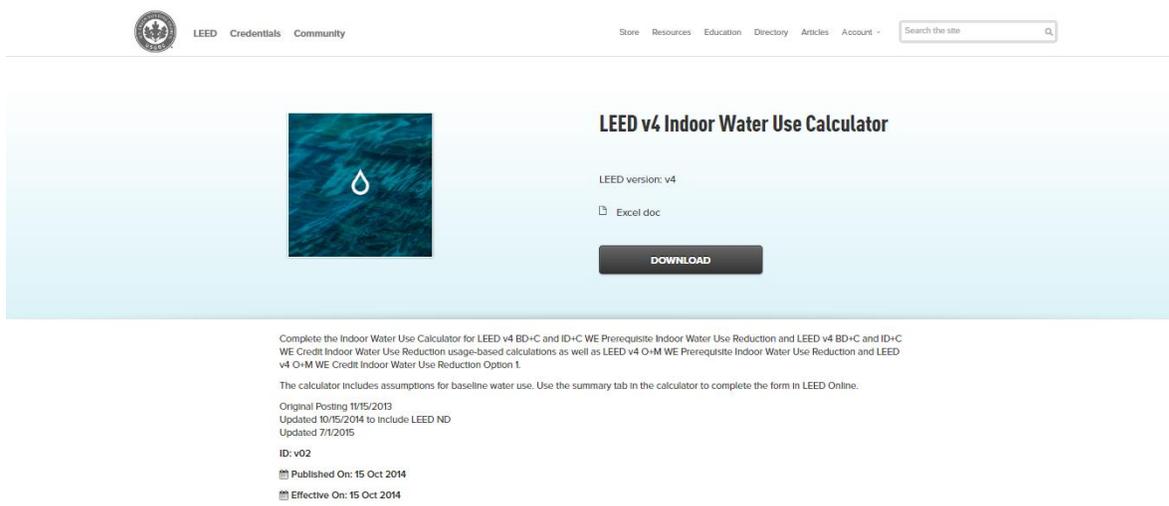
Tabla 4. Línea base de accesorios cuyos usos se dan en escuelas

<b>Tipo de accesorio</b>	<b>Usuarios (FTE)</b>	<b>Estudiantes</b>	<b>Visitantes</b>
<b>Inodoro (mujer)</b>	3	3	0,5
<b>Inodoro (hombre)</b>	1	1	0,1
<b>Mingitorio (mujer)</b>	0	0	0
<b>Mingitorio (hombre)</b>	2	2	0,4
<b>Lavatorio público</b>	3	3	0,5
<b>Ducha</b>	0,1	0	0
<b>Lavado cocina</b>	1	0	0

Fuente: U.S. Green Building Council, Inc. (2013).

La página oficial de USGBC posee gran cantidad de información para comprender y completar con éxito los prerrequisitos y los créditos del sistema de evaluación. En la Figura 10, se muestra un ejemplo de los recursos disponibles en internet. La calculadora que se presenta a continuación es un archivo Excel que permite realizar los cálculos de *Indoor Water Use Reduction* para determinar dónde se encuentra el proyecto en términos de ahorro. Una vez completada esta calculadora, es un documento oficial que se sube en línea, para que los encargados de revisar todos los documentos de la certificación acepten, pidan mayor información sobre la documentación subida en línea o rechacen el prerrequisito.

Figura 10. Recurso digital para el realizar el prerequisite de *Indoor Water Use Reduction v4*



Fuente: [www.usgbc.com](http://www.usgbc.com)

Figura 11. Tabla de puntuación por reducción de consumo de agua en interiores

TABLE 1. Points for reducing calculated water use beyond the prerequisite level		
Additional percentage reduction	Points (except Data Centers)	Points (Data Centers)
10%	1	1
15%	2	2
20%	3	3
25%	4	4
30%	5	

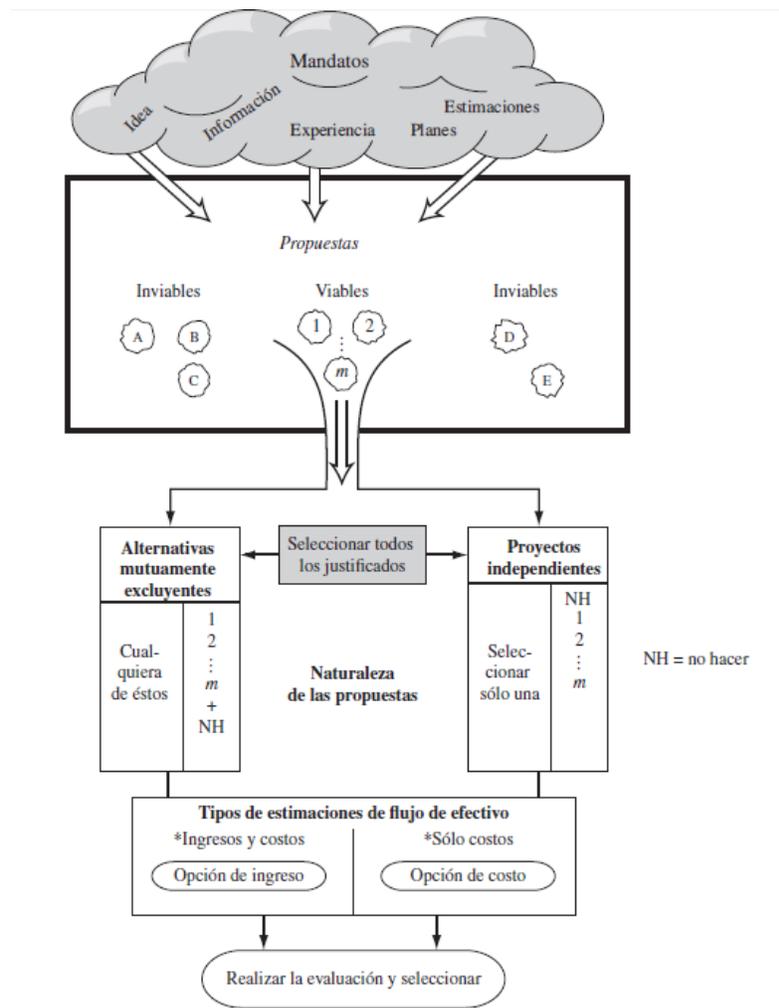
Fuente: U.S. Green Building Council, Inc. (2013)

## **5.15. Análisis Económico**

La ingeniería económica es una herramienta muy importante en la toma de decisiones, ya que permite discernir entre diferentes alternativas para llegar a la opción que logra agregar valor a la empresa o que tiene menor costo en el tiempo.

“Fundamentalmente la ingeniería económica implica formular, estimar y evaluar los resultados económicos cuando existen alternativas disponibles para llevar a cabo un propósito definido. Las técnicas matemáticas simplifican la evaluación económica de las alternativas” (Blank & Tarquin, 2012). Esto se refiere a que, luego de un correcto análisis de ingeniería económica, se tomará una decisión definitiva para llevar a cabo o no el proyecto según el rendimiento que presenta. Para lograr una estimación y una decisión se debe conocer el flujo de efectivo, tiempo en que ocurren los flujos de efectivo, tasas de interés relacionadas con el valor del dinero en el tiempo y medición del beneficio económico. El criterio para elegir una de las alternativas para un conjunto específico de estimaciones se llama medida de valor, la cual incluye el Valor Presente (VP), Valor Futuro (VF), Valor Anual (VA), Tasa de Retorno (TR), Beneficio/Costo (B/C), Costo Capitalizado (CC), Periodo de Recuperación, Valor Económico Agregado (VEA) y Eficiencia del Costo.

Figura 12. Guía de cómo seleccionar y justificar un proyecto por análisis económico



Fuente: (Blank & Tarquin, 2012)

Existen dos tipos de posibles proyectos y son necesarios para alternativas mutuamente excluyentes, que son aquel grupo de alternativas donde solo se puede seleccionar un proyecto a realizar. Las alternativas mutuamente excluyentes compiten entre sí y se analizan por pares.

Los proyectos independientes son aquel grupo de alternativas donde se puede seleccionar más de un proyecto. Los proyectos independientes se evalúan una a la vez y solo compiten contra el proyecto No Hacer (NH). La opción NH se entiende como otra opción en el momento de la evaluación. Si se decide no hacer

implica mantener el estado actual, por lo tanto, no se generarían nuevos gastos, ingresos ni ahorros (Blank & Tarquin, 2012).

El flujo de efectivo determina si las alternativas se basan en el ingreso o el costo. Por lo tanto, entiéndase “De Ingreso” que cada alternativa genera costos e ingresos y posibles ahorros que también se consideran ingresos y “De Costo” donde cada alternativa solo tiene costos estimados en el flujo de efectivo. Los ahorros o ingresos se consideran por igual para todas las alternativas; su selección no depende de ellos (Blank & Tarquin, 2012).

Para realizar la comparación de alternativas se utiliza el método de valor presente (VP). Lo que se realiza con el VP es transformar los gastos o ingresos a unidades monetarias equivalentes del día de hoy; todos los flujos de efectivo futuros se convierten a cantidad del presente. Por lo tanto, si se tiene un proyecto mutuamente excluyente, solo una alternativa, con un  $VP \geq 0$  se dice que alcanza o excede la tasa mínima atractiva de rendimiento requerida y la alternativa se justifica económicamente. Si se posee con dos o más alternativas, la selección de uno de los proyectos es por medio de la alternativa que posea el VP mayor (menos negativo o más positivo) se traduce al que genera mayores ingresos o menor costo. Para proyectos independientes, simplemente se compara con el proyecto NH que tiene un VP de igual a cero. Por lo tanto, para dicho caso, se eligen todos los proyectos con un  $VP \geq 0$ . (Blank & Tarquin, 2012)

Figura 13. Ejemplo de cómo seleccionar una alternativa para un proyecto mutuamente excluyente

$VP_A$	$VP_B$	Alternativa seleccionada
\$-2 300	\$-1 500	B
-500	+1 000	B
+2 500	+2 000	A
+4 800	-400	A

Fuente: (Blank & Tarquin, 2012)

El valor actual neto (VAN) es el valor anual uniforme equivalente de todos los ingresos durante el ciclo de vida del proyecto y se expresa en unidades monetarias

anuales. Al igual que el valor presente (VP), mencionado anteriormente, el VAN permite determinar la alternativa que traerá mayor beneficio económico. Por lo tanto, si se trata de una sola alternativa y el  $VAN \geq 0$ , se justifica económicamente el proyecto. Si se trata de dos o más alternativas, en formato mutuamente excluyentes, el proyecto que posea un mayor VAN (menos negativo o más positivo) es la alternativa por la que se debería optar; económicamente hablando (Blank & Tarquin, 2012).

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=0}^n F_t(P/F, i, n) \quad (9)$$

Donde:

$I_0$  = inversión inicial

$F_t$  = flujo de efectivo por periodo

$i$  = rendimientos mínimo aceptable (costo de recurso)

$n$  = periodos (Jiménez Boulanger, Espinoza Gutiérrez, & Fonseca Retana, 2007).

La tasa interna de rendimiento (TIR) es “la tasa de descuento ( $i$ ) que hace que el valor actual de los flujos de beneficios (positivos) sea igual al valor actual de los flujos de inversión (negativos)” (Jiménez Boulanger *et al.*, 2007). Esto quiere decir que, cuando se utiliza una tasa de descuento ( $i$ ) igual al TIR, se obtiene en qué periodo el valor de los flujos son iguales a cero. El cálculo se realiza con la siguiente ecuación:

$$I_0 = \sum_{t=0}^n F_t(P/F, TIR, n) \quad (10)$$

Donde:

$I_0$  = inversión inicial

$F_t$  = flujo de efectivo por periodo

TIR = tasa interna de rendimiento

$n$  = número de periodos (Jiménez Boulanger *et al.*, 2007).

Cuando se trabaja con la TIR, si la tasa de rendimiento excede el costo de los fondos usados para financiar el proyecto, es beneficioso el proyecto ya que agrega valor a

la empresa. Si, por el contrario, la TIR del proyecto es inferior al costo del capital, arriesgarse a realizar el proyecto provoca una reducción del valor de la empresa (Jiménez Boulanger et al., 2007).

## 6. Metodología

Primeramente, se efectuó un viaje a la escuela La Palma, en Puerto Jiménez de Puntarenas, para conocer las instalaciones donde se realizaría el proyecto. Una vez allí, se recopiló información sobre la cantidad de estudiantes, la cantidad y la ubicación de inodoros, la identificación de llaves de paso, las áreas de techo, condiciones climatológicas, la topografía del terreno y las distancias entre puntos de interés.

Seguidamente, se procedió a la realización de cálculos matemáticos para determinar diámetros de tubería de agua, altura y volumen de los tanques elevados, y volumen del tanque cisterna. Dichos cálculos se realizaron a partir de caudales esperados en cada tramo de tubería, longitudes equivalentes, velocidades recomendadas, número de Reynolds, pérdidas por fricción, presiones mínimas de trabajo, ecuación de Colebrook-Weisbach modificada y cantidad de agua para abastecer la escuela por un día completo. La guía para la realización correcta del modelo matemático fue el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, y la Guía de Referencia LEED para Nuevas Construcciones y Renovaciones Mayores como texto para el modelo sostenible.

Una vez culminada la fase de diseño, se continuó con la selección de equipo. Por lo tanto, se efectuó una lista, con los diferentes componentes que satisfacen las necesidades del proyecto, especificando la cantidad requerida de tubería, válvulas, codos, reducciones, bomba y tanques; cada uno con su respectivo detalle sea diámetro, SDR, material, presión, caudal o capacidad volumétrica. Posteriormente, se realizó la cotización de dichos elementos para conocer el costo de ejecución.

Finalmente, se desarrolló un modelo por computadora con el *software* REVIT® por Autodesk® como elemento de ayuda visual. La realización del isométrico permite, a fundaciones como Earth Equilibrium, convencer, mediante una presentación, a futuros voluntarios o inversionistas para que se integren al proyecto. Adicionalmente, se creó un algoritmo de control eléctrico como alternativa a un control mecánico tradicional, ya que permite duplicar el proyecto con facilidad, sin necesidad de tener conocimiento sobre sistemas hidráulicos, y como elemento de protección de la bomba ante eventualidades.

## 7. Resultados

Tabla 5. Resumen de capacidades y alturas para los diferentes casos.

<b>Caso</b>	<b>Tanque</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Volumen (Litros)</b>
Accesorios Eficientes	Lluvia	3,91	1.750
	Potable	3,51	450
	Cisterna	-	2.500
Accesorios Actuales	Lluvia	4,81	2.500
	Potable	3,46	1.750
	Cisterna	-	4.200

Fuente: Rojas, 2016

Tabla 6. Resumen de calculadora LEED de consumo anual de agua

<b>Caso</b>	<b>Línea Base (litros/año)</b>	<b>Propuesto (litros/año)</b>	<b>Ahorro</b>
Accesorios eficientes	1.566.340,8	687.422,7	56,11%
Accesorios actuales	1.566.340,8	1.718.444,7	-9,71%

Fuente: Rojas, 2016

Tabla 7. Ahorro al incluir agua de lluvia recolectada

<b>Caso</b>	<b>Línea Base (litros/ año)</b>	<b>Propuesto (litros/año)</b>	<b>Ahorro</b>
Accesorios eficientes	1.566.340,8	474.080,7	69,73%
Accesorios actuales	1.566.340,8	1.505.102,7	3,91%

Fuente: Rojas, 2016

Tabla 8. Resumen de costos totales en materiales

<b>Caso</b>	<b>Costo Total</b>
Nuevos accesorios	¢1.791.623,30
Accesorios actuales	¢1.415.917,89

Fuente: Rojas, 2016

Tabla 9. Costo anual de consumo de agua potable municipal

<b>Caso</b>	<b>Cobro Anual</b>	<b>Ahorro Anual</b>
Nuevos accesorios y tanque agua de lluvia	₪183.787,93	49%
Accesorios actuales y tanque de agua de lluvia	₪315.593,47	13%
Mantener sistema actual (N.H.)	₪361.462,00	-

Fuente: Rojas, 2016

Tabla 10. Cálculo de periodo de retorno al utilizarse nuevos accesorios actuales y tanque de recolección de agua de lluvia

<b>Datos</b>	<b>Periodo</b>
-₪1.791.623,30	0
₪178.562,44	1
₪179.455,25	2
₪180.352,53	3
₪181.254,29	4
₪182.160,56	5
₪183.071,37	6
₪183.986,72	7
₪184.906,66	8
₪185.831,19	9
₪186.760,35	10
TIR	0,348%
VAN (Tasa = TIR)	(₪0,00)

Fuente: Rojas, 2016

Tabla 11. Cálculo de periodo de retorno al utilizarse accesorios actuales y tanque de recolección de agua de lluvia

<b>Datos</b>	<b>Periodo</b>
-C\$1.415.917,89	0
C\$46.097,87	1
C\$46.328,36	2
C\$46.560,00	3
C\$46.792,80	4
C\$47.026,77	5
C\$47.261,90	6
C\$47.498,21	7
C\$47.735,70	8
C\$47.974,38	9
C\$48.214,25	10
C\$48.455,32	11
C\$48.697,60	12
C\$48.941,09	13
C\$49.185,79	14
C\$49.431,72	15
C\$49.678,88	16
C\$49.927,28	17
C\$50.176,91	18
C\$50.427,80	19
C\$50.679,94	20
C\$50.933,34	21
C\$51.188,00	22
C\$51.443,94	23
C\$51.701,16	24
C\$51.959,67	25
C\$52.219,47	26
C\$52.480,56	27
C\$52.742,97	28
C\$53.006,68	29
TIR	0,09%
VAN (Tasa = TIR)	(C\$0,00)

Fuente: Rojas, 2016

## 8. Análisis de Resultados

Se realizó dos casos de estudio, uno con accesorios eficientes y otro con los accesorios actuales de la escuela; ambos posean tanque de captación de agua de lluvia. Los cálculos correspondientes, relacionados con pérdidas de presión, velocidades en tubería, caudales de trabajo, tamaños de tubería y presiones mínimas requeridas, permitieron definir que para el caso de accesorios eficientes se requiere una altura mínima 3,91 m y 3,51 m para los tanques de agua de lluvia y potable, respectivamente. Para el caso que mantiene los accesorios, se determinó una altura de 4,81 m para el tanque de lluvia y 3,46 m para el tanque de agua potable. El volumen de los tanques también varía debido a la diferencia en el consumo de cada accesorio, por lo tanto, si se mantienen dichos elementos y no se buscan mejores eficiencias, los tanques serán más grandes; esto se traduce en mayor costo y peso para la estructura de soporte.

La calculadora de consumos de agua en accesorios, utilizando piezas de baño nuevas, presentó un ahorro del 56,11 %, al ser comparado con la línea base establecida por LEED. Por lo tanto, al ser superior al mínimo de ahorro permitido, del 20 %, la posible certificación del proyecto continúa en proceso. Además, al superar los porcentajes establecidos en la Figura 11, aparte de otorgarse 5 puntos, se otorga 1 punto extra por haber superado los límites establecido en una categoría; para efectos de LEED, esto se le denomina *exemplary performance*. El punto extra está ubicado bajo la categoría llamada Innovación; ver Figura 9. Finalmente, es importante rescatar que el ahorro es mayor debido a que al 56,11 % le hace falta agregar el ahorro en agua potable proveniente del almacenamiento de agua de lluvia para uso en inodoros; el porcentaje final de ahorro es de un 69,73 %.

La calculadora de consumo de agua en accesorios, utilizando las piezas de baño actuales, presentó un ahorro del -9,71 %. Al no cumplir con el prerrequisito de eficiencia en accesorios de consumo de agua en interiores, el proceso de certificación está por terminado.

La Tabla 8 incluye los diferentes costos para cada uno de los casos de estudio. Nuevos accesorios y accesorios actuales tienen un costo total de ₡1.791.623,30 y ₡1.415.917,89; respectivamente. La diferencia se debe a que cada uno reúne características específicas para el funcionamiento del sistema propuesto. Por ejemplo, el caso de nuevos accesorios tiene un costo mayor, ya que se debe instalar 6 inodoros de elevado precio comparado con los tradicionales, pero al realizar este cambio, se reduce en tamaño del sistema provocando que los materiales sean más baratos. Los tanques para el modelo con solo recolección de agua de lluvia salen en ₡836.772,99 a diferencia de los ₡469.555,80 por utilizarse inodoros más eficientes; esto representa un ahorro del 43,8 %.

La Tabla 9 muestra cuánto dinero se gasta en pagos de facturas por consumo agua. A partir de estos datos, se determina que el caso que utiliza nuevos accesorios y la implementación de recolección de agua de lluvia provoca mayor ahorro económico, el cual representa un 49 %; al compararse con el cobro anual de ₡361.462,00 del sistema de abastecimiento sin cambios. El ahorro económico por solo utilizar tanque de lluvia representa un ahorro del 13 %; muy por debajo del sistema alternativo con el que compete.

El cálculo del periodo de retorno se determinó utilizando la TIR. A partir de dicha fórmula y por los ahorros obtenidos en cada caso, tal como se muestra en la Tabla 6, se requiere de un periodo de 10 o 29 años para recuperar la inversión utilizando accesorios más eficientes y tanque de lluvia o solo utilizando tanque de recolección; respectivamente. La brecha en años, entre casos, es elevada y se debe a que utilizar accesorios más eficientes provoca un ahorro económico importante; por lo tanto, se dispone de mayor dinero reduciendo el tiempo de retorno de la inversión.

## **9. Recomendaciones**

- Implementar más estrategias sostenibles en la escuela; por ejemplo, iluminación natural.
- Planear visitas al centro educativo para que conozcan el proyecto, con el fin de que las personas cuiden y le den la importancia que tiene el agua.
- Extender el conocimiento a los padres de los niños para que estos implementen estrategias sostenibles y sencillas (cerrar el grifo cuando no se está usando, cambiar a un inodoro más eficiente, utilizar aireadores o reductores de flujo, reducir el tiempo al ducharse, etc.).
- Corregir cualquier fuga existente en las tuberías del centro de estudio.
- Incrementar el área techo para la recolección de agua de lluvia.
- Enterrar las tuberías expuestas ya que son propensas a daños.

## **10. Conclusiones**

- El uso de accesorios más eficientes, provoca ahorros a la hora de realizar compra de material ya que son de capacidades o tamaños menores.
- La implementación de una estrategia sostenible, como lo es el ahorro de agua potable, permite que el centro educativo tenga mayor capacidad económica para realizar nuevos proyectos.
- Al ser de bajo costo el agua en Costa Rica, provoca que el tiempo de retorno de la inversión se extienda a periodos económicamente no atractivos.
- Cuanta más agua potable se ahorre, más rápido es el periodo de retorno de la inversión.
- El uso de accesorios hídricamente eficientes provocó un mayor ahorro en el consumo de agua potable que la implementación de solo tanques de recolección de lluvia.
- El sistema que utiliza ambas estrategias para ahorrar agua potable es la alternativa más factible ejecutar.

## 11. Bibliografía

- Acerca de nosotros: Earth Equilibrium.* (1 de octubre de 2016). Obtenido de Earth Equilibrium: [www.earthequilibrium.org](http://www.earthequilibrium.org)
- Balcells, J., & Romeral, J. L. (1997). *Autómatas Programables.* Barcelona: Marcombo.
- Blank, L., & Tarquin, A. (2012). *Ingeniería Económica.* México: McGraw-Hill.
- Ecología y Desarrollo. (s.f.). *Catálogo de Tecnologías Ahorradoras: documento técnico de tecnologías ahorradoras de agua para viviendas y edificios de uso público.*
- Gracia, A. M. (2006). *Disminución de costes energéticos en la empresa: tecnologías y estrategias para el ahorro y la eficiencia energética.* FC Editorial.
- IEC 61131 Standards.* (10 de octubre de 2016). Obtenido de PLCopen: <http://www.plcopen.org>
- IEC 61131-3: Un Recurso de Programación Estandar. (s.f.). (Á. d. Automática, Trad.) Gijón, España. Recuperado el 11 de octubre de 2016, de <http://www.plcopen.org>
- Jiménez Boulanger, F., Espinoza Gutiérrez, C. L., & Fonseca Retana, L. (2007). *Ingeniería Económica.* Cartago : Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Luis Fernando Chanto, D. M. (1995). *Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones.* San José.
- Mott, R. (2006). *Mecánica de Fluidos.* México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Munguía Páiz, Y., & Zúñiga Gamboa, S. (2013). *Caracterización del Cantón de Golfito, Corredor Fronterizo Zona Sur.*
- Palomo, J. N. (2010). *Instalaciones de fontanería : teoría y orientación práctica.* Editorial Paraninfo.
- Peña, J. D. (2003). *Introducción a los Autómatas Programables.* Editorial UOC.
- Productos.* (15 de setiembre de 2016). Obtenido de Acualógica: <http://www.acualogica.com/>
- U.S. Green Building Council, Inc. (2013). *Reference Guide for Building Design and Construction.* Washington.

U.S. Green Building Council, Inc. (2013). *Reference Guide for Building Operations and Maintenance*. Washington.

Vazquez, S. G. (2013). *Técnicas y Procesos en Instalaciones Domóticas y Automáticas*. Madrid: Ediciones Paraninfo, S.A.

## 12. Apéndices

Foto 1. Patio interno donde irían instalados los tanques elevados y subterráneos.



Foto 2. Pila afuera de los baños.



Foto 3. Área de techo disponible para captación de agua de lluvia.



Foto 4. Comedor de la Escuela



Foto 5. Configuración de baños del Pabellón 1



Foto 7. Configuración de baños en el Pabellón 2



Foto 6. Configuración de baños en el Pabellón 2

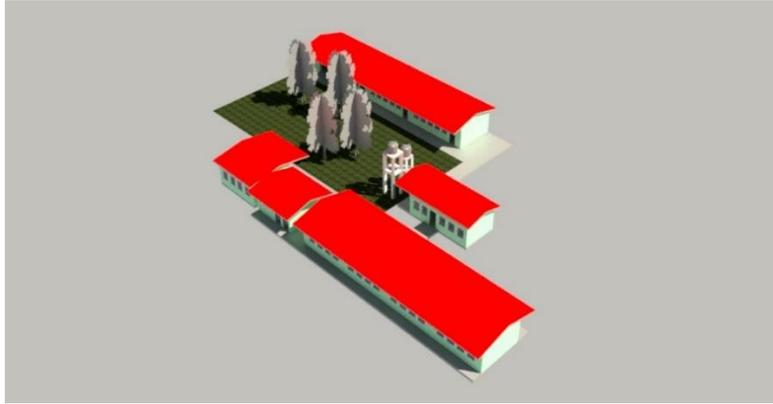


Foto 8. Área de techo disponible para recoger agua de lluvia.



Fuente: Rojas, 2016

Imagen 5. *Renders* de la Escuela La Palma



Fuente: Rojas, 2016

Tabla 12. Tabla de Cálculos para Tubería para Sistema con Accesorios Eficientes y Tanques

TRAMO	Longitud Tubería Equivalente (m)	Caudal (GPM)	Diámetro (in)	Velocidad (m/s)	Núm. Reynolds	Colebrook-Weisbach Factor de Fricción (Izq)	Colebrook-Weisbach Factor de Fricción (Derecha)	Factor de Fricción	Pérdidas (m/100m)	SDR	Diám int. (mm)	Caída Presión (mca)	Presión mínima (mca)	Altura geométrica (m)	Tramos Críticos (mca)	Ruta Crítica
T.Lluvia																
B-D	65,3	3,2	1,00	0,395	9977	5,6979	5,6776	0,030802	0,963176	26	23,53	0,63	2,00	0,50	3,85	
C-B	21,5	6,3	1,00	0,790	19954	6,2207	6,1955	0,025842	3,232329	26	23,53	0,69	2,00	0,50	3,91	C-B
A-B	10,9	9,5	1,00	1,184	29931	6,5238	6,4989	0,023496	6,612561	26	30,36	0,72				-
Impulsión E-F	6,3	5,0	0,75	1,107	20982	6,2527	6,2278	0,025578	8,385168	17	23,53	0,53		6,83		-
Succión F-G	4,2	5,0	0,75	1,107	20982	6,2509	6,2281	0,025592	8,389831	17	23,53	0,36		2,04		-
T.Potable																
I-K	4,0	1,0	0,50	0,498	6295	5,3519	5,3287	0,034912	3,476491	13,5	23,53	0,14	2,00	1,00	3,30	
I-J	9,9	1,0	0,50	0,498	6295	5,3519	5,3287	0,034912	3,476488	13,5	23,53	0,34	2,00	1,00	3,51	B-C
H-I	9,8	2,0	0,75	0,443	8393	5,5740	5,5451	0,032186	1,688239	17	30,36	0,17				

Fuente: Rojas, 2016

Tabla 13. Pérdidas por Fricción en Longitudes Equivalentes con Accesorios Eficientes y Tanques

	Sección	Diámetro (in)	CODO/TE (m)	V.CHECK (m)	TUBERIA (m)	Válvula de Control (m)	Reducción (m)	TOTAL (m)
T.Lluvia	B-D	1,00	4,8	0	60,0	0,3	0,2	65,3
	C-B	1,00	6	0	15,0	0,3	0,2	21,5
	A-B	1,00	3,9	0	6,7	0,3	0,0	10,9
	Impulsión E-F	0,75	2,4	2,7	1,0	0,2	0,0	6,3
	Succión F-G	0,75	1,2	0	3,0	0,0	0,0	4,2
T.Potable	I-K (Freg Afuera)	0,50	2,4	0	1,5	0,1	0,0	4,0
	I-J (Freg Adentro)	0,50	4,8	0	5,0	0,1	0,0	9,9
	H-I	0,75	3,9	0	5,5	0,2	0,2	9,8

Fuente: Rojas, 2016

Tabla 14. Accesorios para cada Tramo para Caso con Accesorios Eficientes

Tanque	Tramo	Diámetro (in)	Accesorios
T.Lluvia	B-D	1,00	Se asumen 4 codos de 90°, válvula compuerta
	C-B	1,00	Se asumen 4 codos de 90°, válvula compuerta
	A-B	1,00	Se asumen 1 codo de 90, una Tee, una válvula compuerta
	Impulsión	0,75	Se asumen 2 codos de 90°, válvula check, válvula compuerta
	Succión	0,75	Se asume 1 codo de 90°
T.Potable	I-K (Freg Afuera)	0,50	Se asume 2 codos de 90°, válvula compuerta
	I-J (Freg Adentro)	0,50	Se asume 4 codos de 90°, válvula compuerta
	H-I	0,75	Se asume 1 codo de 90°, una Tee, válvula compuerta

Fuente: Rojas, 2016

Tabla 15. Cabeza Necesaria por Bomba para Caso con Accesorios Eficientes

TRAMO	H <sub>ED</sub> (mca)	H <sub>DD</sub> (mca)	H <sub>TD</sub> (mca)	H <sub>ES</sub> (mca)	H <sub>DS</sub> (mca)	H <sub>TS</sub> (mca)	H <sub>T</sub> (mca)
hacia C-B	7,36	0,06114199	<b>7,42</b>	2,40	0,061141993	<b>2,46</b>	<b>9,88</b>

Fuente: Rojas, 2016

Tabla 16. NPSH Disponible para la bomba a seleccionar para Caso con Accesorios Eficientes.

H <sub>atm</sub> (Puerto Jiménez)	10,20 mca
H <sub>vapor</sub>	0,25 mca
H <sub>geométrica</sub>	2,04 m
H <sub>succión</sub>	0,36 m
NPSH Disponible	7,55 m
	24,78 ft

Fuente: Rojas, 2016

Tabla 17. Resumen de Bomba para Caso con Accesorios Eficientes.

Caudal de Trabajo	5 gpm
	0,31 L/s
Head	9,88 mca
	32,39 ft
	96,89 kPa

Fuente: Rojas, 2016

Tabla 18. Tabla de Cálculos para Tubería para Sistema de Sólo Tanques.

TRAMO	Longitud Tubería Equivalente (m)	Caudal (GPM)	Diámetro (pulg)	Velocidad (m/s)	Núm. Reynolds	Colebrook-Weisbach Factor de Fricción (Izq)	Colebrook-Weisbach Factor de Fricción (Derecha)	Factor de Fricción	Pérdidas (m/100m)	SDR	Diám int. (mm)	Caída Presión (mca)	Presión mínima (mca)	Altura geométrica (m)	Tramos Críticos (mca)	Ruta Crítica
T.Lluvia																
B-D	66,5	5,3	1,00	0,658	16618	6,0382	6,0649	0,027428	2,379414	26	30,36	1,58	2,00	0,50	4,81	B-D
C-B	23,6	10,6	1,25	0,842	26588	6,3911	6,4207	0,024482	2,783777	26	38,90	0,66	2,00	0,50	3,89	
A-B	12,8	15,8	1,25	1,262	39883	6,6949	6,7248	0,022310	5,707940	26	38,90	0,73				-
Impulsión E-F	8,1	10,0	1,00	1,245	31473	6,5214	6,5416	0,023514	7,316946	26	30,36	0,59		6,83		-
Succión F-G	9,9	10,0	1,25	0,797	25178	6,3509	6,3797	0,024793	2,528064	26	38,90	0,25		2,04		-
T.Potable																
I-K	4,3	2,5	0,75	0,553	10491	5,7356	5,7118	0,030398	2,491340	17	23,53	0,11	2,00	1,00	3,32	
I-J	10,2	2,5	0,75	0,553	10491	5,7356	5,7118	0,030398	2,491305	17	23,53	0,25	2,00	1,00	3,46	B-C
H-I	9,9	5,0	1,00	0,623	15737	6,0419	6,0179	0,027393	2,131070	26	30,36	0,21				

Fuente: Rojas, 2016

Tabla 19. Pérdidas por Fricción en Longitudes Equivalentes para Sistema de Sólo Tanques

	Sección	Diámetros in	CODO/TE (m)	V.CHECK (m)	TUBERIA (m)	Válvula de Control (m)	Reducción (m)	TOTAL (m)
T.Lluvia	B-D	1	6	0	60,0	0,3	0,2	66,5
	C-B	1,25	8	0	15,0	0,4	0,2	23,6
	A-B	1,25	5,5	0	6,7	0,4	0,2	12,8
	Impulsión E-F	1	3	3,8	1,0	0,3	0,0	8,1
	Succión F-G	1,25	2	4,9	3,0	0,0	0,0	9,9
T.Potable	I-K (Freg Afuera)	0,75	2,4	0	1,5	0,2	0,2	4,3
	I-J (Freg Adentro)	0,75	4,8	0	5,0	0,2	0,2	10,2
	H-I	1	3,9	0	5,5	0,3	0,2	9,9

Fuente: Rojas, 2016

Tabla 20. Accesorios para cada Tramo para Caso con Sólo Recolección de Agua de Lluvia

Tanque	Tramo	Diámetro (in)	Accesorios
T.Lluvia	B-D	1	Se asumen 4 codos de 90°, válvula compuerta
	C-B	1,25	Se asumen 4 codos de 90°, válvula compuerta
	A-B	1,25	Se asumen 1 codo de 90, una Tee, una válvula compuerta
	Impulsión	1	Se asumen 2 codos de 90°, válvula check, válvula compuerta
	Succión	1,25	Se asume 1 codo de 90°
T.Potable	I-K (Freg Afuera)	0,75	Se asume 2 codos de 90°, válvula compuerta
	I-J (Freg Adentro)	0,75	Se asume 4 codos de 90°, válvula compuerta
	H-I	1	Se asume 1 codo de 90°, una Tee, válvula compuerta

Fuente: Rojas, 2016

Tabla 21. Cabeza Necesaria por Bomba para Caso con Sólo Tanques

TRAMO	H <sub>ED</sub> (mca)	H <sub>DD</sub> (mca)	H <sub>TD</sub> (mca)	H <sub>ES</sub> (mca)	H <sub>DS</sub> (mca)	H <sub>TS</sub> (mca)	H <sub>T</sub> (mca)
hacia C-B	7,42	0,07738283	<b>7,50</b>	2,29	0,031696009	<b>2,32</b>	<b>9,82</b>

Fuente: Rojas, 2016

Tabla 22. NPSH Disponible para la bomba a seleccionar para Sistema de Sólo Tanques

Hatm (Puerto Jiménez)	10,20 mca
Hvapor	0,25 mca
Hgeométrica	2,04 m
Hfsucción	0,25 m
NPSH Disponible	7,66 m
	25,12 ft

Fuente: Rojas, 2016

Tabla 23. Resumen de Bomba para Sistema de Sólo Tanques.

Caudal de Trabajo	10 gpm
	0,63 L/s
Head	9,82 mca
	32,22 ft
	96,30 kPa

Fuente: Rojas, 2016

Tabla 24. Costos por Materiales para Sistema con Accesorios Eficientes.

Cantidad	Materiales	Comentario	Precio Unitario	Descuento	Subtotal	Impuesto Venta	Total
6,5	Metros de tubería de PVC de 1/2 pulgada, SDR 13,5	12 metros (Tomando un 10% de Desperdicio y Tuberías de 6 m)	¢2.800,00				¢5.600,00
9,5	Metros de tubería de PVC de 3/4 pulgada, SDR 17	12 metros (Tomando un 10% de Desperdicio y Tuberías de 6 m)	¢4.200,00				¢8.400,00
81,7	Metros de tubería de PVC de 1 pulgada, SDR 17	90 metros (Tomando un 10% de Desperdicio y Tuberías de 6 m)	¢3.800,00				¢57.000,00
2,0	Válvulas Compuerta de 1/2 pulgada		¢4.085,00				¢8.170,00
3,0	Válvulas Compuerta de 1 pulgada		¢7.974,00				¢23.922,00
2,0	Válvulas Compuerta de 3/4 pulgada		¢5.322,00				¢10.644,00
1,0	Válvula Antiretorno (Check) de 3/4 pulgada		¢4.244,00				¢4.244,00
2,0	Electro-válvulas		¢25.000,00				¢50.000,00
1,0	Tanque Cisterna de 2500 L	ECOTANK CI2500	¢212.475,00		¢212.475,00	¢27.621,75	¢240.096,75
1,0	Tanque Elevado de 1750 L	ECOTANK TRICAPA TA1750	¢147.095,26		¢147.095,26	¢19.122,38	¢166.217,64
1,0	Tanque Elevado de 450 L	ECOTANK TRICAPA TA450	¢55.965,85		¢55.965,85	¢7.275,56	¢63.241,41
10,0	Codos de 90° de 1 pulgada, PVC		¢530,00				¢5.300,00
5,0	Codos de 90° de 3/4 pulgada, PVC		¢260,00				¢1.300,00
6,0	Codos de 90° de 1/2 pulgada, PVC		¢130,00				¢780,00
1,0	Tee de 1 pulgadada, PVC		¢660,00				¢660,00
1,0	Tee de 3/4 pulgadada, PVC		¢280,00				¢280,00
2,0	Reducción de 1 a 1/2 pulgada		¢320,00				¢640,00
2,0	Reducción de 3/4 pulgada a 1/2		¢160,00				¢320,00
1,0	Bomba Franklin Electric, FPS 4400 10 GPM / 0.5 HP		¢222.709,90				¢222.709,90
6,0	Inodoro Salvagua II		¢149.900,00	¢179.880,00	¢719.520,00	¢93.537,60	¢813.057,60
3,0	Grifería Lavamanos		¢2.000,00				¢6.000,00
3,0	Aireadores		¢2.000,00				¢6.000,00

3,0	Uniones 1/2 pulgada		€100,00			€300,00
2,0	Uniones 3/4 pulgada		€170,00			€340,00
15,0	Uniones 1 pulgada		€360,00			€5.400,00
1,0	PLC LOGO!		€91.000,00			€91.000,00
<b>TOTAL</b>						<b>€1.791.623,30</b>

Fuente: Rojas, 2016

Tabla 25. Costos por Materiales para Sistema con Sólo Tanques.

Cantidad	Materiales	Comentario	Precio Unitario	Subtotal	Impuesto Venta	Total
6,5	Metros de tubería de PVC de 3/4 pulgada, SDR 17	12 metros (Tomando un 10% de Desperdicio y Tuberías de 6 m)	€4.200,00	€8.400,00		€8.400,00
66,5	Metros de tubería de PVC de 1 pulgada, SDR 17	78 metros (Tomando un 10% de Desperdicio y Tuberías de 6 m)	€3.800,00	€49.400,00		€49.400,00
24,7	Metros de tubería de PVC de 1 1/4 pulgada, SDR 17	30 metros (Tomando un 10% de Desperdicio y Tuberías de 6 m)	€11.600,00	€58.000,00		€58.000,00
2,0	Válvulas Compuerta de 3/4 pulgada		€5.322,00	€10.644,00		€10.644,00
3,0	Válvulas Compuerta de 1 pulgada		€7.974,00	€23.922,00		€23.922,00
2,0	Válvulas Compuerta de 1 1/4 pulgada		€17.496,00	€34.992,00		€34.992,00
1,0	Válvula Antiretorno (Check) de 1 pulgada		€6.517,00	€6.517,00		€6.517,00
2,0	Electro-válvulas		€25.000,00	€50.000,00		€50.000,00
1,0	Tanque Cisterna de 4200 L	ECOTANK CI4200	€416.349,21	€416.349,21	€54.125,40	€470.474,61
1,0	Tanque Elevado de 1750 L	ECOTANK TRICAPA TA1750	€147.095,26	€147.095,26	€19.122,38	€166.217,64
1,0	Tanque Elevado de 2500 L	ECOTANK TRICAPA TA2500	€177.062,60	€177.062,60	€23.018,14	€200.080,74
6,0	Codos de 90° de 3/4 pulgada, PVC		€260,00	€1.560,00		€1.560,00

7,0	Codos de 90° de 1 pulgada, PVC		₡530,00	₡3.710,00		₡3.710,00
6,0	Codos de 90° de 1 1/4 pulgada,PVC		₡970,00	₡5.820,00		₡5.820,00
1,0	Tee de 1 1/4 pulgadada, PVC		₡1.200,00	₡1.200,00		₡1.200,00
1,0	Tee de 1 pulgadada, PVC		₡660,00	₡660,00		₡660,00
2,0	Reducción de 1 1/4 a 1 pulgada		₡580,00	₡1.160,00		₡1.160,00
2,0	Reducción de 1 pulgada a 1/2		₡320,00	₡640,00		₡640,00
1,0	Reducción de 1 a 3/4 pulgada		₡570,00	₡570,00		₡570,00
2,0	Reducción de 3/4 a 1/2 pulgada		₡160,00	₡320,00		₡320,00
1,0	Bomba Franklin Electric, FPS 4400 10 GPM / 0.5 HP		₡222.709,90	₡222.709,90		₡222.709,90
1,0	PLC LOGO!		₡91.000,00	₡91.000,00		₡91.000,00
2,0	Uniones 3/4 pulgada		₡170,00	₡340,00		₡340,00
13,0	Uniones 1 pulgada		₡360,00	₡4.680,00		₡4.680,00
5,0	Uniones 1-1/4 pulgada		₡580,00	₡2.900,00		₡2.900,00
<b>TOTAL</b>						<b>₡1.415.917,89</b>

Fuente: Rojas, 2016

Tabla 26. Población del Centro Educativo

Tipo de Usuario	Cantidad
Estudiantes	295
Profesores	18

\* Mínimo crecimiento es esperado en la Escuela

Fuente: Rojas, 2016

Tabla 27. Agua de Lluvia Recolectada

Mes	Precipitación Mensual (mm/mes)	Volumen Disponible (litros/m2)	Área de Techo (m2)	Agua de Lluvia (litro/mes)
Febrero	46,1	46,1	60	2.766
Marzo	88,6	88,6	60	5.316
Abril	199,1	199,1	60	11.946
Mayo	434	434	60	26.040
Junio	353,4	353,4	60	21.204
Julio	373,1	373,1	60	22.386
Agosto	449,3	449,3	60	26.958
Septiembre	510,7	510,7	60	30.642
Octubre	706,4	706,4	60	42.384
Noviembre	395	395	60	23.700
<b>Total (litros)</b>				213.342

Fuente: Rojas, 2016

Tabla 28. Consumo de Agua Potable Mensual Previo al Proyecto

<b>Facturación de Agua 2014</b>	
Mes	m3
Agosto	146
Setiembre	156
Octubre	100
Noviembre	140
Diciembre	105
Promedio	129,4
Días de uso por mes	22
<b>Consumo diario promedio</b>	<b>5,9</b>

Fuente: Rojas, 2016

Tabla 29. Costos de Operación para Caso con Accesorios Eficientes

Mes	Agua de Lluvia Disponible (litro/mes)	Consumo Inodoros (litro/mes) 200 días lectivos	Balance Consumo de Agua potable para inodoros (litros/mes) 200 días lectivos	Consumo de Agua potable para Cocina (litros/mes) 200 días lectivos	Consumo Total (litros/mes)	Consumo Total (m3/mes)	Tarifa Fija	Tarifa por Consumo	Total
Enero	-	-	-	-	-	10,0	¢8.335,00	¢1.850,00	¢10.185,00
Febrero	2.766	56.340	53.574	4.140	57.714	57,7	¢8.335,00	¢11.831,37	¢20.166,37
Marzo	5.316	56.340	51.024	4.140	55.164	55,2	¢8.335,00	¢11.308,62	¢19.643,62
Abril	11.946	56.340	44.394	4.140	48.534	48,5	¢8.335,00	¢9.949,47	¢18.284,47
Mayo	26.040	56.340	30.300	4.140	34.440	34,4	¢8.335,00	¢7.060,20	¢15.395,20
Junio	21.204	56.340	35.136	4.140	39.276	39,3	¢8.335,00	¢8.051,58	¢16.386,58
Julio	22.386	56.340	33.954	4.140	38.094	38,1	¢8.335,00	¢7.809,27	¢16.144,27
Agosto	26.958	56.340	29.382	4.140	33.522	33,5	¢8.335,00	¢6.872,01	¢15.207,01
Septiembre	30.642	56.340	25.698	4.140	29.838	29,8	¢8.335,00	¢6.116,79	¢14.451,79
Octubre	42.384	56.340	13.956	4.140	18.096	18,1	¢8.335,00	¢3.528,72	¢11.863,72
Noviembre	23.700	56.340	32.640	4.140	36.780	36,8	¢8.335,00	¢7.539,90	¢15.874,90
Diciembre	-	-	-	-	-	10,0	¢8.335,00	¢1.850,00	¢10.185,00
<b>TOTAL</b>	<b>213.342</b>	<b>563.400</b>		<b>41.400</b>	<b>391.458</b>				<b>¢183.787,93</b>

Fuente: Rojas, 2016

Tabla 30. Costos de Operación para Caso con Accesorios Actuales

Mes	Agua de Lluvia Disponible (litro/mes)	Consumo Inodoros (litro/mes) 200 días lectivos	Balance Consumo de Agua potable para inodoros (litros/mes) 200 días lectivos	Consumo de Agua potable para Cocina (litros/mes) 200 días lectivos	Consumo Total (litros/mes)	Consumo Total (m3/mes)	Tarifa Fija	Tarifa por Consumo	Total
Enero						10,0	₡8.335,00	₡1.850,00	₡10.185,00
Febrero	2.766	93.900	91.134	25.980	117.114	117,1	₡8.335,00	₡25.179,51	₡33.514,51
Marzo	5.316	93.900	88.584	25.980	114.564	114,6	₡8.335,00	₡24.631,26	₡32.966,26
Abril	11.946	93.900	81.954	25.980	107.934	107,9	₡8.335,00	₡23.205,81	₡31.540,81
Mayo	26.040	93.900	67.860	25.980	93.840	93,8	₡8.335,00	₡20.175,60	₡28.510,60
Junio	21.204	93.900	72.696	25.980	98.676	98,7	₡8.335,00	₡21.215,34	₡29.550,34
Julio	22.386	93.900	71.514	25.980	97.494	97,5	₡8.335,00	₡20.961,21	₡29.296,21
Agosto	26.958	93.900	66.942	25.980	92.922	92,9	₡8.335,00	₡19.978,23	₡28.313,23
Septiembre	30.642	93.900	63.258	25.980	89.238	89,2	₡8.335,00	₡19.186,17	₡27.521,17
Octubre	42.384	93.900	51.516	25.980	77.496	77,5	₡8.335,00	₡16.661,64	₡24.996,64
Noviembre	23.700	93.900	70.200	25.980	96.180	96,2	₡8.335,00	₡20.678,70	₡29.013,70
Diciembre						10,0	₡8.335,00	₡1.850,00	₡10.185,00
<b>Total</b>	<b>213.342</b>	<b>939.000</b>		<b>259.800</b>	<b>985.458</b>				<b>₡315.593,47</b>

Fuente: Rojas, 2016

Tabla 31. Costos de Operación Previos a la Realización del Proyecto

Mes	Agua de Lluvia Disponible (litro/mes)	Consumo Inodoros (litro/mes) 200 días lectivos	Balance Consumo de Agua potable para inodoros (litros/mes) 200 días lectivos	Consumo de Agua potable para Cocina (litros/mes) 200 días lectivos	Consumo Total (litros/mes)	Consumo Total (m3/mes)	Tarifa Fija	Tarifa por Consumo	Total
Enero						10,0	¢8.335,00	¢1.850,00	¢10.185,00
Febrero	0	93.900	93.900	25.980	119.880	119,9	¢8.335,00	¢25.774,20	¢34.109,20
Marzo	0	93.900	93.900	25.980	119.880	119,9	¢8.335,00	¢25.774,20	¢34.109,20
Abril	0	93.900	93.900	25.980	119.880	119,9	¢8.335,00	¢25.774,20	¢34.109,20
Mayo	0	93.900	93.900	25.980	119.880	119,9	¢8.335,00	¢25.774,20	¢34.109,20
Junio	0	93.900	93.900	25.980	119.880	119,9	¢8.335,00	¢25.774,20	¢34.109,20
Julio	0	93.900	93.900	25.980	119.880	119,9	¢8.335,00	¢25.774,20	¢34.109,20
Agosto	0	93.900	93.900	25.980	119.880	119,9	¢8.335,00	¢25.774,20	¢34.109,20
Septiembre	0	93.900	93.900	25.980	119.880	119,9	¢8.335,00	¢25.774,20	¢34.109,20
Octubre	0	93.900	93.900	25.980	119.880	119,9	¢8.335,00	¢25.774,20	¢34.109,20
Noviembre	0	93.900	93.900	25.980	119.880	119,9	¢8.335,00	¢25.774,20	¢34.109,20
Diciembre						10,0	¢8.335,00	¢1.850,00	¢10.185,00
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>939.000</b>		<b>259.800</b>	<b>1.198.800</b>				<b>¢361.462,00</b>

Fuente: Rojas, 2016

Imagen 6. Captura de Pantalla de Calculadora LEED para Caso con Accesorios Actuales.

**Summary for Operations and Maintenance Rating Systems**  
 Note: Baseline and design volumes are READ-ONLY. To edit, see the previous tab(s).

---

Unrenovated percentage of fixtures installed before 1995 (%)

Renovated percentage of fixtures installed in 1995 or later (%)

---

Group Name	Baseline Case (liters/year)			Design Case (liters/year)		
	Annual Flush Volume	Annual Flow Volume	Annual Consumption	Annual Flush Volume	Annual Flow Volume	Annual Consumption
Esc La Palma Solo Tanque	1.126.800,00	178.484,00	1.305.284,00	939.000,00	779.444,70	1.718.444,70
Annual baseline water consumption (liters/year)						1.305.284,00
Annual design water consumption (liters/year)						1.718.444,70
Baseline multiplier (%)						120,00%
Water consumption maximum (liters/year)						1.566.340,80
Percentage below water consumption maximum (%)						-9,71%

Fuente: Rojas, 2016

Imagen 7. Captura de Pantalla de Calculadora LEED para Caso con Accesorios Eficientes.

**Summary for Operations and Maintenance Rating Systems**  
 Note: Baseline and design volumes are READ-ONLY. To edit, see the previous tab(s).

---

Unrenovated percentage of fixtures installed before 1995 (%)

Renovated percentage of fixtures installed in 1995 or later (%)

---

Group Name	Baseline Case (liters/year)			Design Case (liters/year)		
	Annual Flush Volume	Annual Flow Volume	Annual Consumption	Annual Flush Volume	Annual Flow Volume	Annual Consumption
Esc La Palma Acc Eficientes	1.126.800,00	178.484,00	1.305.284,00	563.400,00	124.022,70	687.422,70
Annual baseline water consumption (liters/year)						1.305.284,00
Annual design water consumption (liters/year)						687.422,70
Baseline multiplier (%)						120,00%
Water consumption maximum (liters/year)						1.566.340,80
Percentage below water consumption maximum (%)						<b>56,11%</b>

Fuente: Rojas, 2016

Tabla 32. Entradas y Salidas para el Control Eléctrico por parte del PLC

<b>Entradas</b>	
<b>Terminal de Entrada</b>	<b>Nombre</b>
I1	Arranque
I2	Pare
I3	Sobrecarga
I4	Tanque Elevado 100%
I5	Tanque Elevado 50%
I6	Tanque Cisterna 100%
I7	Tanque Cisterna 15%
I8	Sensor de Flujo de Agua Potable
I9	Sensor de Flujo de Agua de Lluvia
<b>Salidas</b>	
<b>Terminal de Salida</b>	<b>Nombre</b>
Q1	Arranque Bomba
Q2	Pare Bomba
Q4	Cerrar Electroválvula Agua de Lluvia
Q5	Abrir Electroválvula Agua Potable
M1	Marcha General
M2	Tanque Cisterna 100%
M3	Tanque Cisterna 15%
M4	No Hay Agua para Trabajar
M5	Tanque Cisterna 99-16%
M6	Desactivar Electroválvula de Agua de Lluvia por 20 min
M9	Tanque Elevado 100%
M10	Tanque Elevado 99-51%
M11	Tanque Elevado 50%
T001	Temporizador 1
T002	Temporizador 2
T003	Temporizador 3

Fuente: Rojas, 2016

### 13. Anexos

Imagen 8. Captura de Pantalla de Página Web Utilizada como Guía de Precios



Fuente: [www.contruplaza.com](http://www.contruplaza.com)

Imagen 9. Captura de Pantalla de Página Web Utilizada como Guía de Precios

**COLEGIO FEDERADO DE INGENIEROS Y ARQUITECTOS DE COSTA RICA**  
**DEPARTAMENTO DE REGISTRO DE RESPONSABILIDAD PROFESIONAL**

**Lista de Materiales de Construcción**  
 AL 03/08/2007

DESCRIPCION	FECHA ACT.	UNIDAD	PRECIO ACTUAL
ACCESORIOS PARA BAÑO	14/03/2007	Unidad	₡5,681.00
ACCESORIOS PARA BAÑO ESPECIAL	14/03/2007	Unidad	₡5,681.00
ACEITE	14/03/2007	Lts	₡833.85
ACERO REF. OBRAS CONCRETO (\$1350/TON)	14/03/2007	Ton	₡0.00
ACETONA	14/03/2007	litro	₡0.00
ACETONA	14/03/2007	Lits	₡0.00
ACIDO MURIÁTICO	14/03/2007	Galón	₡1,569.10
ADAPTADOR 100MM HEMBRA PVC POTABLE	14/03/2007	Un	₡2,894.90
ADITIVO ACELERANTE DE FRAGUA NORMAL	14/03/2007	S500cc	₡2,211.55

Fuente: [http://www.cfia.or.cr/descargas/precios\\_materiales.pdf](http://www.cfia.or.cr/descargas/precios_materiales.pdf)

Imagen 10. Datos Climáticos Mensuales para Puerto Jiménez.

PROMEDIOS MENSUALES DE DATOS CLIMATICOS  
(estaciones automáticas)

ESTACION : 100 633 FINCA EL PATIO, PUERTO JIMENEZ Latitud: 08 ° 36 ' N Longitud: 83 ° 25 ' O Altitud. 8 m.s.n.m

Elementos	Períodos		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom.	Total
	2004	2014														
LLUVIA	2004	2014	53.2	46.1	88.6	199.1	434.0	353.4	373.1	449.3	510.7	706.4	395.0	188.4	<b>316.4</b>	<b>3797.3</b>
TEM.MAX.	2004	2014	32.5	33.2	33.8	32.9	32.0	31.7	31.6	31.5	31.2	30.0	30.6	31.5	<b>31.9</b>	
TEM.MIN.	2004	2014	22.2	22.1	22.9	23.4	23.5	23.4	23.1	23.1	23.0	23.0	23.0	22.5	<b>22.9</b>	
TEM.MED.	2004	2014	27.3	27.7	28.3	28.2	27.7	27.6	27.3	27.3	27.1	26.5	26.8	27.0	<b>27.4</b>	
HUMEDAD	2004	2014	83.2	80.4	80.7	84.3	86.9	87.1	87.4	87.9	88.1	90.1	89.5	86.4	<b>86.0</b>	
VIENTO VEL.	2004	2014	3.0	3.3	3.4	3.2	3.2	3.1	3.1	3.1	3.0	2.8	2.9	2.9	<b>3.1</b>	
RADIACION	2004	2014	15.6	16.2	18.5	14.3	12.9	12.3	13.6	13.3	13.9	10.1	11.8	14.2	<b>13.9</b>	

VIENTO DIR. PREDOMINANTE	9	2	2	9	9	1	1	1	8	8	9	9	
Promedio días con lluvia >= 0.1 mm.	13	9	13	18	27	25	26	29	28	28	28	22	<b>265</b> Total

Lluvia en milímetros: 1mm = 1 litro de agua por m<sup>2</sup>. Radiación Solar global en Megajulios(MJ/m<sup>2</sup>)  
 Temperatura en Grados Celsius (°C). Evaporación en mm. Viento en km/h. Humedad Relativa en Porcentaje (%).  
 VIENTO DIR PREDOM : 1 Norte, 2 Noreste , 3 Este, 4 Sureste, 5 Sur, 6 Suroeste, 7 Oeste, 8 Noreste, 9 Variable  
 Brillo Solar en horas y décimas de horas. Presión hPa.

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional

Imagen 11. Válvula Solenoide BACENG 1”

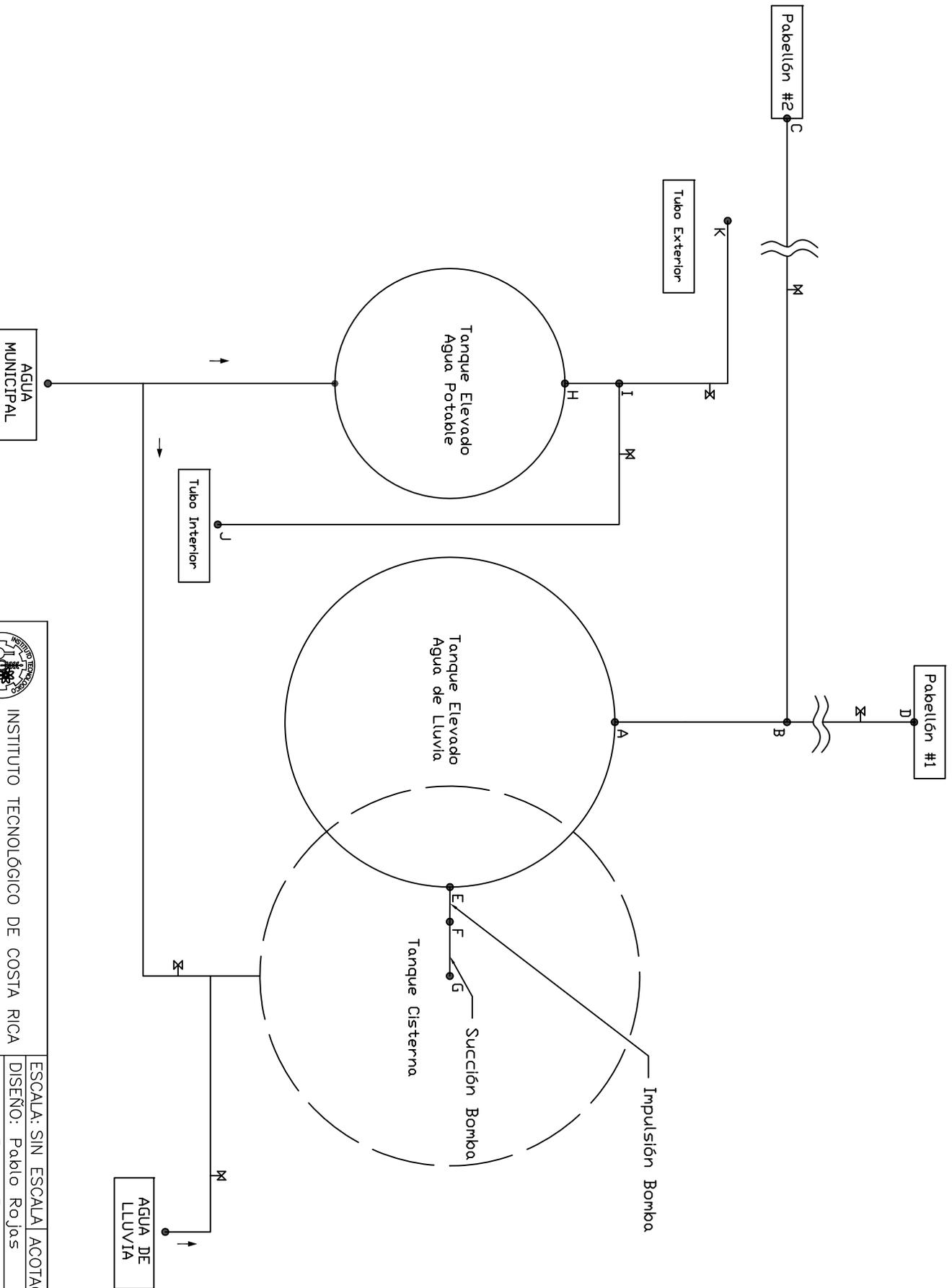


Fuente: [www.amazon.com](http://www.amazon.com)

Imagen 12. PLC Siemens LOGO!



Fuente: [www.amazon.com](http://www.amazon.com)



Pabellón #1

Pabellón #2

Tanque Elevado Agua Potable

Tanque Elevado Agua de Lluvia

Tanque Cisterna

Succión Bomba

Impulsión Bomba

Tubo Exterior

Tubo Interior

AGUA MUNICIPAL

AGUA DE LLUVIA



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
 ESCUELA DE INGENIERIA ELECTROMECANICA

ESCALA: SIN ESCALA | ACOTACIÓN:

DISEÑO: Pablo Rojas

DIBUJO: Pablo Rojas

PLANO: Croquis de Distribución de Tuberías

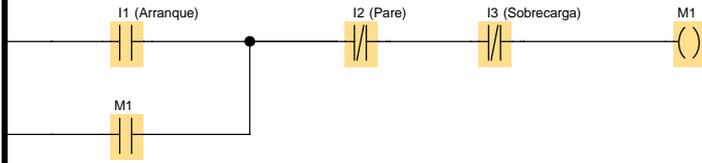
PROYECTO: ESCUELA LA PALMA

LÁMINA

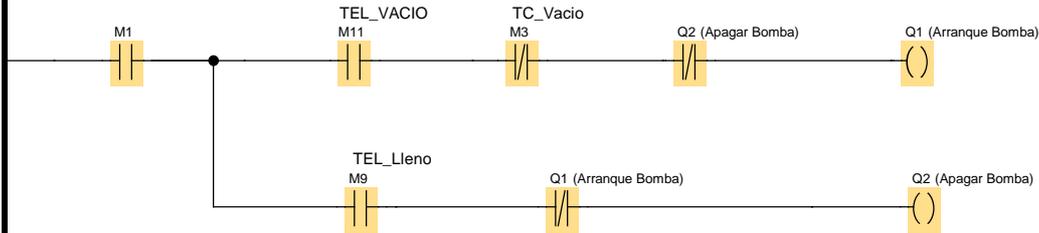
1

1

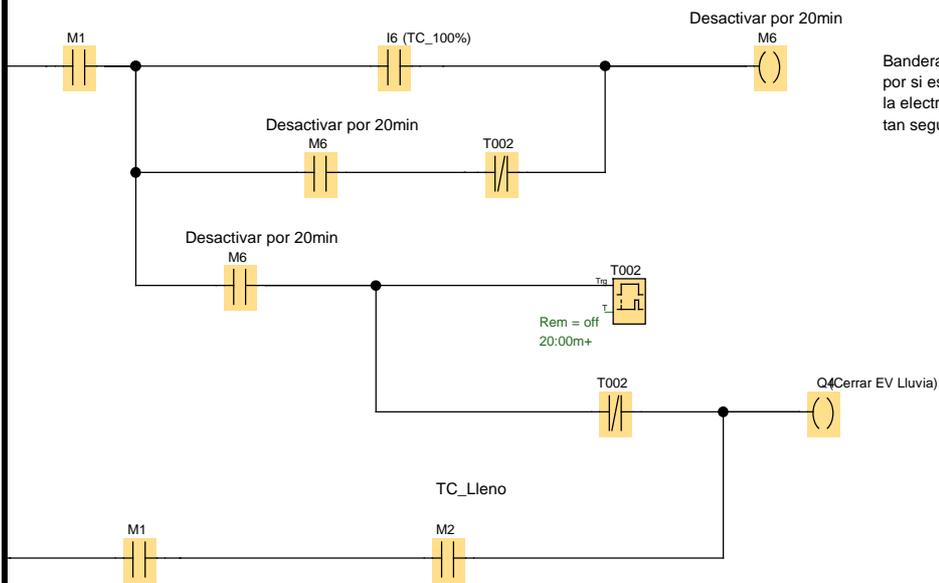
## MARCHA GENERAL



## CONTROL BOMBA DE TANQUE ELEVADO



## CONTROL DE ELECTROVÁLVULAS AGUA LLUVIA



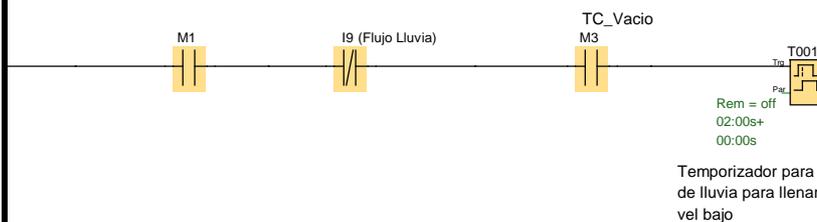
Bandera para Cerrar Electroválvula de agua de lluvia por si está lloviendo mucho y el tanque está lleno, la electroválvula no esté abriendo y cerrando tan seguido

Válvula Solenoide normalmente abierta; se cierra cuando es energizada.

Bandera para cerrar electroválvula de agua de lluvia para evitar un sobrellenado del tanque; mantiene cerrada electroválvula mientras esté completamente lleno.

Si el tanque cisterna llega al límite inferior (Tanque Cisterna Vacío), sistema da un tiempo, temporizador T001, para verificar si realmente no hay flujo en la tubería de agua de lluvia para continuar llenando el Tanque Cisterna

De no ser así, continúa con Agua Potable

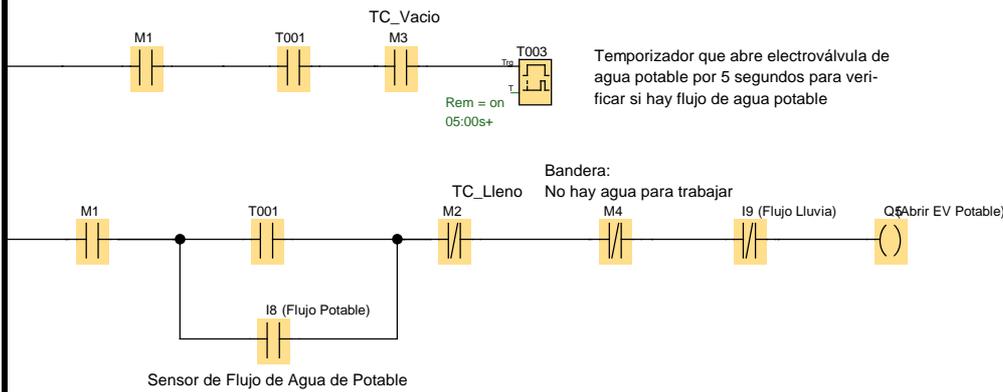


Temporizador para verificar flujo de agua de lluvia para llenar tanque cisterna en nivel bajo

Nota: Válvula Solenoide de Agua Potable se abre y Agua de Lluvia se cierra al ser energizada

Creator:	Pablo Rojas Nielsen	SPHERA S.A.	Project:	Centro Educativo La Palma	Customer:	
Checked:			Installation:		Diagram No.:	
Date:	8/21/16 3:44 PM/10/23/16 6:27 PM		File:	20160917_Sistema de	Page:	1 / 4

# CONTROL ELECTROVÁLVULAS AGUA POTABLE

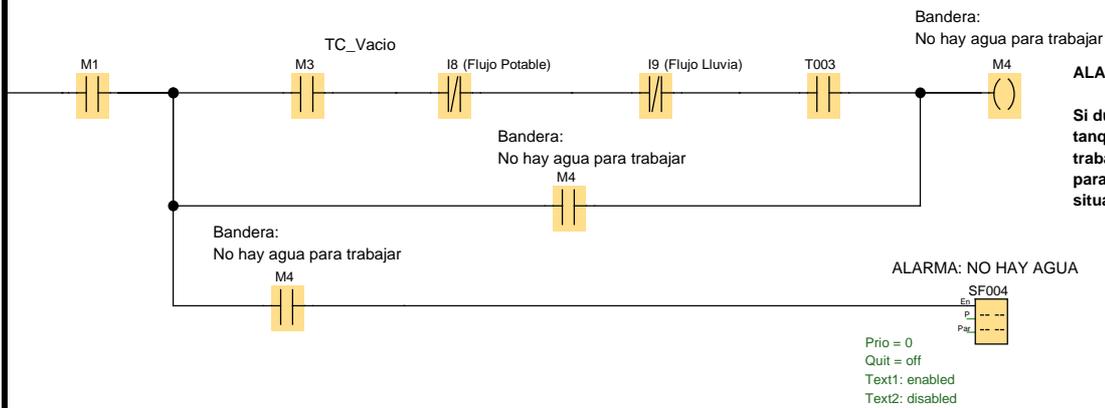


Si el tanque cisterna no se llenó con agua de lluvia, el sistema continúa con agua potable. En este paso, el sistema verifica si hay agua potable para terminar la tarea de llenar el tanque cisterna.

Si no hay agua potable, el sistema arroja una alarma y no continúa.

Si durante el proceso de llenado, comienza un flujo de agua de lluvia, se detiene el llenado con agua potable y vuelve a verificar si hay flujo de lluvia.

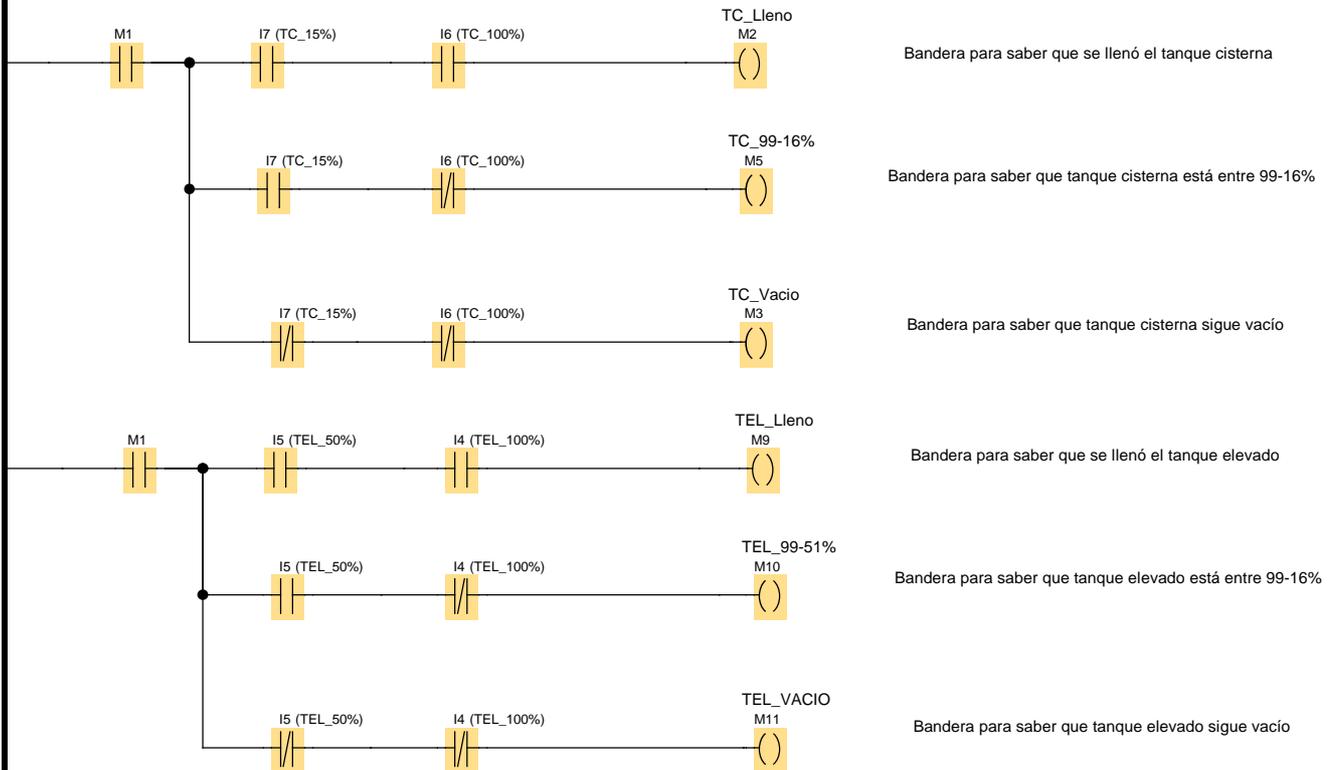
Se mantiene en este proceso hasta que se llene con alguna agua o arroja la alarma de que no hay presencia de ninguna.



## ALARMA

Si durante el proceso de llenado del tanque cisterna no hay agua para trabajar, el sistema lanza una alarma para avisar a los usuarios de la situación actual.

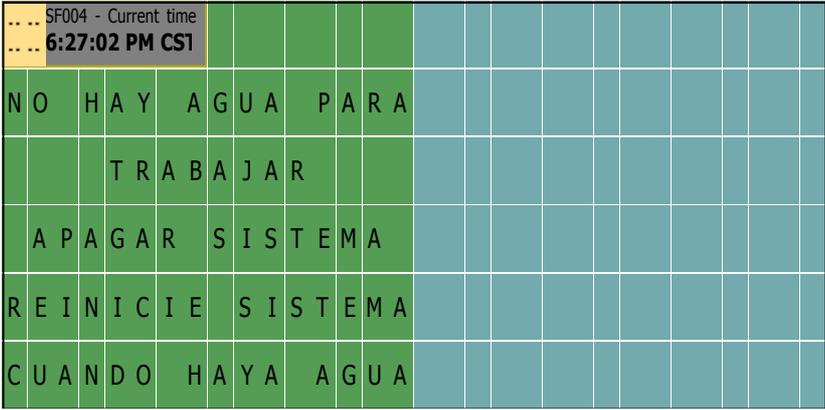
## BANDERAS



Nota: Válvula Solenoide de Agua Potable se abre y Agua de Lluvia se cierra al ser energizada

Creator:	Pablo Rojas Nielsen	Project:	Centro Educativo La Palma	Customer:	
Checked:		Installation:		Diagram No.:	
Date:	8/21/16 3:44 PM/10/23/16 6:27 PM	File:	20160917_Sistema de	Page:	2 / 4

Block Number (Type)	Parameter
M2(Relay coil) : TC_Lleno	
M2(Break contact) : TC_Lleno	
M2(Make contact) : TC_Lleno	
M3(Break contact) : TC_Vacio	
M3(Relay coil) : TC_Vacio	
M3(Make contact) : TC_Vacio	
M3(Make contact) : TC_Vacio	
M3(Make contact) : TC_Vacio	
M4(Relay coil) : Bandera: No hay agua para trabajar	
M4(Make contact) : Bandera: No hay agua para trabajar	
M4(Break contact) : Bandera: No hay agua para trabajar	
M4(Make contact) : Bandera: No hay agua para trabajar	
M5(Relay coil) : TC_99-16%	
M6(Relay coil) : Desactivar por 20min	
M6(Make contact) : Desactivar por 20min	
M6(Make contact) : Desactivar por 20min	
M9(Make contact) : TEL_Lleno	
M9(Relay coil) : TEL_Lleno	
M10(Relay coil) : TEL_99-51%	

Block Number (Type)	Parameter
M11(Make contact) : TEL_VACIO	
M11(Relay coil) : TEL_VACIO	
SF004(Message texts) : ALARMA: NO HAY AGUA   Line1.1 SF004-Time	Prio = 0 Quit = off Text1: enabled Text2: disabled  --> Ticker setting - CBC - Line1: N - Line2: N - Line3: N - Line4: N Message Destination - LOGO! Display
T001(On-/Off-Delay) :	Rem = off 02:00s+ 00:00s
T002(On-Delay) :	Rem = off 20:00m+
T003(On-Delay) :	Rem = on 05:00s+

Cédula Jurídica: 3-102-657067  
Tel: (506) 2267-18.40  
info@acualogica.com  
www.acualogica.com  
Del Inbioparque 800 oeste  
Ofibodega Santa Rosa filial #34  
Santo Domingo, Heredia. Costa Rica.

**COTIZACION:****001052****FECHA:** 09/27/2016**Vendedor:** NO DEFINIDO**CLIENTE:** Sphera S.A.**CONTACTO:****TELEFONO:**

CODIGO	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNI.	SUBTOTAL	DESCUENTO	TOTAL
00071	Inodoro Ultraeficiente Salvagua II,	4.00	149,900.00	599,600.00	89,940.00	509,660.00

**Cuentas Bancarias para Pagos por Transferencia****BAC SAN JOSE****Colones**Cta Corriente: 914968227  
Cta Cliente: 10200009149682270**BAC SAN JOSE****Dólares**Cta Corriente: 914968235  
Cta Cliente: 10200009149682353

Enviar comprobante de deposito al correo : info@acualogica.com

Sub-Total: 509,660.00  
Impuesto Venta 66,255.80  
Descuento : 89,940.00

**Total General: 575,915.80****Fecha de Entrega:** 09/27/2016**Observaciones:**

Esta cotización es válida por 30 días, la Fecha de Vencimiento es: 10/27/2016



Los especialistas en tanques

# LA CASA DEL TANQUE S.A.

Cédula Jurídica: 3101191210

Teléfono: 22273722 - Fax: 22265218

<b>Cliente</b>	PABLO ROJAS
<b>Atención</b>	PABLO ROJAS
<b>Teléfonos</b>	- Fax

<b>FECHA</b>	04/10/2016
<b>Nº cotización</b>	28162
<b>Cotizador</b>	VALENZUELA GONZALEZ DANIEL

Cantidad	Código	Descripción	I.V.A	Precio Unitario	Precio Total
1.00	02-004201	CISTERNA ECOTANK 4200 LTS AZUL	N	416,349.21	416,349.21
1.00	01-002501	TANQUE ECOTANK 2500 LTS AZUL TRICAPA	N	177,062.60	177,062.60
1.00	01-001754	TANQUE ECOTANK 1750 LTS VERDE	N	147,095.26	147,095.26

Monto en Letras	<b>Subtotal</b>	740,507.07
Ochocientos treinta y seis mil setecientos setenta y dos colones con 99/100	<b>Descuento</b>	0.00
	<b>I.V.</b>	96,265.92
	<b>Total</b>	836,772.99

## Condiciones

**Plazo de entrega:** 1 DIA( Salvo Imprevistos o Previa Venta)

**Validez de la oferta:** 8 DIAS.

**Plazo de pago:** 0 DIAS.

**Forma de pago:** C O N T A D O

Precios Sujetos a Cambio sin Previo Aviso

### Observaciones

Garantía de 5 años contra defectos de manufactura en tanque Ecotank. Forma de pago efectivo, transferencia, cheque (con esta última la mercadería será entregada después de acreditado el cheque)

### Aprobación por parte del cliente

**Fecha:** \_\_\_\_\_  
**Aprobado por:** \_\_\_\_\_  
**Cargo:** \_\_\_\_\_  
**Firma:** \_\_\_\_\_



Los especialistas en tanques

# LA CASA DEL TANQUE S.A.

Cédula Jurídica: 3101191210

Teléfono: 22273722 - Fax: 22265218

Cliente	PABLO ROJAS
Atención	PABLO ROJAS
Teléfonos	- Fax

FECHA	04/10/2016
Nº cotización	28161
Cotizador	VALENZUELA GONZALEZ DANIEL

Cantidad	Código	Descripción	I.V.A	Precio Unitario	Precio Total
1.00	01-000451	TANQUE ECOTANK 450 LTS AZUL TRICAPA	N	55,965.85	55,965.85
1.00	02-002501	CISTERNA ECOTANK 2500 LTS AZUL	N	212,475.00	212,475.00
1.00	01-001754	TANQUE ECOTANK 1750 LTS VERDE	N	147,095.26	147,095.26

Monto en Letras	<b>Subtotal</b>	415,536.11
Cuatrocientos sesenta y nueve mil quinientos cincuenta y cinco colones con 81/100	<b>Descuento</b>	0.00
	<b>I.V.</b>	54,019.69
	<b>Total</b>	469,555.81

## Condiciones

**Plazo de entrega:** 1 DIA( Salvo Imprevistos o Previa Venta)

**Validez de la oferta:** 8 DIAS.

**Plazo de pago:** 0 DIAS.

**Forma de pago:** C O N T A D O

Precios Sujetos a Cambio sin Previo Aviso

### Observaciones

Garantía de 5 años contra defectos de manufactura en tanque Ecotank. Forma de pago efectivo, transferencia, cheque (con esta última la mercadería será entregada después de acreditado el cheque)

### Aprobación por parte del cliente

Fecha: \_\_\_\_\_  
Aprobado por: \_\_\_\_\_  
Cargo: \_\_\_\_\_  
Firma: \_\_\_\_\_