



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Automatización de planta de  
tratamiento de aguas con  
microcontrolador y servicio WEB**

**INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES**

Que para obtener el título de  
**Ingeniero eléctrico electrónico**

**P R E S E N T A**

**Martín Adauta Murueta**

**ASESOR DE INFORME**

M. en C. Edgar Baldemar Aguado Cruz



**Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019**

**ÍNDICE.**

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN.</b>	<b>5</b>
	1.1 PROPUESTAS PARA EL MANEJO SUSTENTABLE.	6
	1.2 PRESENTACIÓN DEL PROYECTO.	7
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>PROBLEMÁTICA SOCIAL DEL AGUA.</b>	<b>8</b>
	4.1 CANTIDAD DE AGUA DISPONIBLE EN EL MUNDO.	9
	4.2 GRADO DE PRESIÓN SOBRE EL RECURSO HÍDRICO.	10
	4.3 REUTILIZACIÓN DE AGUA EN LA INDUSTRIA.	10
<b>5</b>	<b>MARCO TEÓRICO DEL TRATAMIENTO DE AGUAS.</b>	<b>11</b>
	5.1 TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES.	12
	5.1.1 ETAPA DE TRATAMIENTO PRIMARIO.	12
	5.1.2 ETAPA DE TRATAMIENTO SECUNDARIO.	14
	5.1.3 ETAPA DE TRATAMIENTO TERCARIO.	15
	5.2 TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS.	17
	5.3 TRATAMIENTO DE POTABILIZACIÓN.	18
	5.4 TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES.	19
<b>6</b>	<b>AUTOMATIZACIÓN.</b>	<b>20</b>
	6.1 AUTOMATIZACIÓN APLICADA AL TRATAMIENTO DE AGUAS.	20
	6.2 EQUIPO ELECTROMECAÁNICO.	20
	6.2.1 BOMBAS HIDRÁULICAS.	21
	6.2.2 DOSIFICADORES.	22
	6.2.3 MEZCLADORES MECÁNICOS.	23
	6.2.4 AIREADORES.	24
	6.2.5 ELECTROVÁLVULAS.	24
	6.2.6 CONTACTORES.	25
	6.2.7 INTERRUPTOR DE NIVEL.	25
	6.3 EQUIPO DE INSTRUMENTACIÓN.	26
	6.3.1 POTENCIÓMETRO.	26
	6.3.2 TURBIDÍMETRO.	27
	6.4 CONTROLADORES Y PLCs.	27
	6.4.1 PARTES DE UN PLC.	27
	6.4.2 PROGRAMACIÓN DE PLCs.	29
	6.4.3 GRAFCET.	29
	6.4.4 LENGUAJE ESTRUCTURADO.	30
	6.5 SISTEMAS SCADA.	30

---

6.5.1	SISTEMAS DE CONTROL DISTRIBUIDO.	31
6.5.2	ARQUITECTURA DE LOS SISTEMAS SCADA.	32
6.5.3	TERMINALES REMOTAS RTU.	32
6.5.4	TERMINAL CENTRAL MTU.	33
7	MICROCONTROLADORES.	33
7.1	MICROCONTROLADORES AVR.	34
7.2	PLATAFORMA DE DESARROLLO ARDUINO.	35
8	SERVICIOS WEB.	38
8.1	HTML.	38
8.2	HTTP.	39
8.3	JAVASCRIPT.	39
8.4	CSS.	40
8.5	SERVICIOS WEB EN LABVIEW.	40
9	ANTECEDENTES DEL PROYECTO.	41
9.1	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.	41
9.2	AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO.	44
10	JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	45
11	DEFINICIÓN TÉCNICA DEL PROBLEMA.	46
12	DESARROLLO DEL SISTEMA PROPUESTO.	49
12.1	METODOLOGÍA DE PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR.	50
12.2	METODOLOGÍA DE PROGRAMACIÓN EN LABVIEW.	57
12.3	METODOLOGÍA DE PROGRAMACIÓN WEB.	59
13	PARTICIPACIÓN PROFESIONAL.	60
14	RESULTADOS.	60
15	RECOMENDACIONES.	62
16	CONCLUSIONES.	63
17	REFERENCIAS.	64
18	GLOSARIO.	66
19	ANEXOS.	69
19.1	CÓDIGO LABVIEW.	69
19.2	CÓDIGO ARDUINO.	77
19.3	CÓDIGO WEB.	84
19.4	EVIDENCIA FOTOGRÁFICA.	89

---

### Acrónimos usados en este documento.

ALU	Unidad lógica aritmética.
API	Interfaz de programación de aplicaciones.
CSS	Hojas de estilo en cascada.
DBO	Demanda biológica de oxígeno.
DSC	Datalogging and supervisory control.
EDAR	Estación de depuración de aguas residuales.
GRAF CET	Grafico funcional de transición de etapas.
HMI	Interfaz humano a máquina.
HTML	Lenguaje de marcado de hipertexto.
HTTP	Protocolo de transferencia de hipertexto.
ICSP	Programación serial en circuito.
IDE	Ambiente de desarrollo integrado.
JSON	Notación de objetos Java-Script.
MCU	Unidad microcontroladora.
MTU	Unidad terminal maestra.
NTU	Unidades de turbiedad Nefelométricas.
PH	Potencial de hidrogenación.
PLC	Controlador lógico programable.
PTAR	Planta de tratamiento de aguas residuales.
ROM	Memoria de sólo lectura.
PWM	Modulación por ancho de pulsos.
RISC	Computadora de set reducido de instrucciones.
RTU	Unidad terminal remota.
SCADA	Sistema de control y adquisición de datos.
SCD	Sistema de control distribuido.
UART	Transmisor-Receptor Asíncrono Universal.
URL	Localizador de recursos uniforme.

## 1 INTRODUCCIÓN.

El agua es uno de los recursos más importantes para la supervivencia y el progreso del ser humano, pero su manejo durante los últimos siglos ha sido catastrófico para los ecosistemas y para la sustentabilidad de la población en el futuro. El Programa Nacional Hídrico PNH 2014-2018 establece: “La disponibilidad y calidad del agua es uno de los pilares del desarrollo nacional, una condición necesaria para mantener el bienestar y salud de nuestra población y uno de los elementos indispensables para un medio ambiente sano.”

La principal fuente de agua potable en México son los acuíferos subterráneos, lamentablemente la velocidad a la que se extrae el líquido es mayor a la velocidad a la cual el agua se filtra de manera natural hasta estos acuíferos, como consecuencia el volumen de los cuerpos subterráneos de agua disminuye continuamente. Esta fuente se ve amenazada por las filtraciones contaminantes que generan los ríos de aguas negras y los rellenos sanitarios. Por lo tanto es una fuente limitada y amenazada, su explotación desmedida no es sustentable y en la zona de la ciudad de México es especialmente complicada.

Otra fuente importante de agua en el país son las aguas superficiales, es decir los ríos y lagos, siempre y cuando no se encuentren contaminados. Esta fuente presenta varias desventajas comparada con la extracción en pozos. De manera natural, pero sobre todo por las actividades humanas, esta agua se encuentra contaminada, por lo que es necesario un proceso de potabilización antes de su uso, lo cual conlleva mayores costos de producción comparados con las aguas subterráneas. Su volumen es variable a lo largo del año. La ubicación de las cuencas explotables está lejos de los centros urbanos, y genera tensiones sociales entre los habitantes de las regiones geográficas donde se toma el agua que normalmente tendría otro uso, como puede ser el riego agrícola.

El tratamiento de aguas es el conjunto de tecnologías que nos permiten reutilizar cierta cantidad de agua en actividades que no requieran un agua potable y reintroducir de manera segura al ambiente el agua que ya hemos usado. Esto mejora la limpieza de los cuerpos de agua tanto superficiales como subterráneos y aumenta la disponibilidad de agua potable de primer uso. El tratamiento de aguas es una de las acciones más importantes que nos permitirán continuar disponiendo de una cantidad de agua suficiente. Es un proceso que debemos conocer y fomentar.

## 1.1 PROPUESTAS PARA EL MANEJO SUSTENTABLE.

Aunque reconocemos el valor del agua, el manejo que hacemos del recurso hídrico deja mucho que desear: El recurso está mal distribuido, es escaso y cada vez se encuentra más contaminado. Para mitigar este problema debemos realizar las siguientes acciones:

- Disminuir la cantidad de agua de primer uso que consumimos.
- Disminuir la cantidad de agua residual generada.
- Aumentar la cantidad de agua tratada usada en actividades que no requieren agua potable.
- Disminuir el nivel de polución en los cuerpos de agua.
- Procura la recarga de los mantos acuíferos con reforestación e infiltración.
- Mejorar el abasto público de agua potable en cantidad y calidad.

El plan nacional hídrico PNH 2007-2012 establece que el tratamiento de las aguas residuales es esencial para garantizar el ciclo del agua, por lo que establece una serie de políticas prioritarias:

- Consolidar el re-uso del agua residual tratada, así como su intercambio por agua de primer uso en aquellas actividades en que esta opción es factible.
- Reactivar las plantas que están fuera de operación o que funcionen con bajas eficiencia, con el fin de aprovechar la capacidad instalada.
- Los municipios e industrias deben cumplir con la normatividad establecida en México en lo que se refiere a las descargas que son vertidas a los cuerpos de agua nacionales.

Son muchas las tecnologías involucradas en la búsqueda de estos objetivos; En este documento abordaremos el tratamiento de aguas, en especial el tratamiento de aguas grises por su utilidad en ayudar a disminuir el problema del agua y por las oportunidades de aplicar la automatización que nos presenta.

En un país en desarrollo como México, aún queda mucho por hacer. Como ingenieros tenemos la oportunidad de aplicar todas las tecnologías que conocemos al mejoramiento de los procesos de tratamiento.

## 1.2 PRESENTACIÓN DEL PROYECTO

En consecuencia con la importancia del agua y la necesidad de mejorar su manejo, en este informe se describe el diseño y la implementación de un prototipo de un sistema SCADA sencillo basado en microcontrolador para el control del tren de filtración (tratamiento primario) de una planta de depuración de aguas grises.

Se ha procurado usar tecnologías económicas y de fácil manejo. Sobre todo se ha buscado incluir la conectividad con Internet, para hacer más flexible el control del sistema, ya que por los volúmenes de agua que se manejan, los equipos deben funcionar continuamente durante largo tiempo y la automatización y telemetría pueden ayudar a supervisar la operación del equipo durante estos largos periodos y actuar justo en el momento que se requiera una acción.

Este proyecto nace de observaciones en campo, sobre las necesidades de control en plantas de tratamiento de aguas grises. La estructura propuesta se muestra en la figura 1.

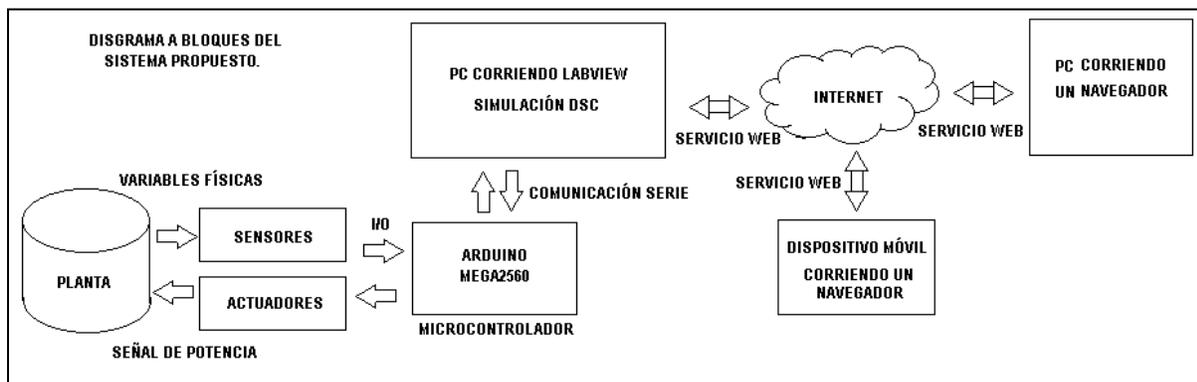


Figura 1. Diagrama a bloques del sistema propuesto.

El sistema consiste en un microcontrolador que ejecuta el algoritmo de control del proceso. El microcontrolador permite dotar a la planta de funciones con las que actualmente no cuenta y darle al sistema las características propias de un sistema SCADA pues se ha dotado al microcontrolador de conectividad para el intercambio de datos con una PC lo cual facilita las funciones de visualización y control por internet.

## 2 OBJETIVOS.

- Reportar el diseño de un sistema SCADA basado en microcontrolador y PC para el control de la etapa de filtrado en una planta de tratamiento de aguas grises industriales para re-uso en riego y limpieza.
- Documentar la aplicación de la automatización en el campo del tratamiento de aguas.
- Dotar al sistema propuesto de la capacidad de controlar y monitorear el proceso vía Internet.
- Documentar el marco teórico del tratamiento de aguas.
- Reportar algunas de las actividades profesionales realizadas.

## 3 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.

Este proyecto se realizó dentro del marco de una empresa dedicada a la construcción de plantas de tratamiento de agua municipal e industrial para su reutilización o disposición. Además realiza otros servicios relacionados con la industria de la distribución de agua como:

- Purificación de agua para consumo.
- Redes y sistemas de distribución de agua potable.
- Pozos de extracción.
- Vasos reguladores.
- Tanques elevados.
- Cárcamos y drenajes.
- Sistemas hidroneumáticos de velocidad variable.
- Sistemas contra incendio.
- Sistemas de riego.

## 4 PROBLEMÁTICA SOCIAL DEL AGUA.

El agua es un recurso finito indispensable para la vida, la salud pública, la biodiversidad, la producción de alimentos, la industria, la generación de energía, el desarrollo económico, y en general para el bienestar del ser humano. Por ello el gobierno la considera un factor estratégico de seguridad nacional, que mantiene la estabilidad política y social de la nación. Los empresarios nacionales e internacionales la reconocen como una fuente de desarrollo económico, alrededor de la cual se desarrollan todas las industrias. La sociedad conoce su importancia para la subsistencia de la población.

La carencia de servicios de agua potable y saneamiento es factor de pobreza y también de riesgo para la salud de la población. Cuando se cuenta con buenos servicios la población goza de mejor salud y bienestar; se reduce la mortalidad, sobre todo en la población infantil. Por ello,

los avances nacionales en materia de potabilización de agua y de tratamiento de aguas residuales son importantes, por lo que significan en el objetivo de incrementar y mejorar los servicios, pero también porque se constituyen hoy día, en factor de cumplimiento del derecho humano al agua. Nuestro país lo ha adoptado como mandato constitucional, y que se deriva de la declaración de la ONU que establece: “El derecho al agua potable y el saneamiento es un derecho humano esencial para el pleno disfrute de la vida y de todos los otros derechos humanos” [11]

#### 4.1 CANTIDAD DE AGUA DISPONIBLE EN EL MUNDO.

En la tierra existen 1386 millones de km<sup>3</sup> de agua de los cuales el 97.5% es agua salada, el 2.5% es agua dulce, de esta cantidad casi el 70% no está disponible para consumo humano porque se encuentra en glaciares. Del agua que técnicamente está disponible para consumo humano, sólo una pequeña porción se encuentra en lagos, ríos y depósitos subterráneos y además comúnmente se encuentra lejos de las zonas pobladas, lo cual dificulta o vuelve imposible su utilización. Solamente el 0.77% del total se encuentra como agua dulce accesible al ser humano. [13]

Veamos la cantidad de agua que consumimos: Una de las formas de medir el impacto de las actividades humanas en los recursos hídricos es la denominada huella hídrica. En la siguiente tabla se muestra la huella hídrica promedio registrada para varios países, En estos datos se incluye tanto el agua extraída de los acuíferos, como el agua de lluvia que alimenta los cultivos de temporal.

Comparación de la huella hídrica per-cápita a nivel mundial de 1996 a 2005.	
País.	Consumo de agua en m <sup>3</sup> por persona.
Promedio mundial	1 385
Estados Unidos	2 842
México	1 978
China	1 071

Tabla 1. Huella hídrica mundial [13].

Consumir tal cantidad de agua no resulta sustentable, el nivel de los mantos freáticos en el mundo disminuye inevitablemente cada año. Otra forma de medir el impacto de la población en la cantidad de agua disponible es el Grado de presión.

## 4.2 GRADO DE PRESIÓN SOBRE EL RECURSO HÍDRICO.

El grado de presión sobre los recursos hídricos se determina al dividir la extracción del recurso entre el agua renovable recargada. Por su baja disponibilidad, los países del Medio Oriente sufren la presión más alta, como puede verse en el mapa, mientras que México se encuentra en el lugar 53 conforme a este indicador.

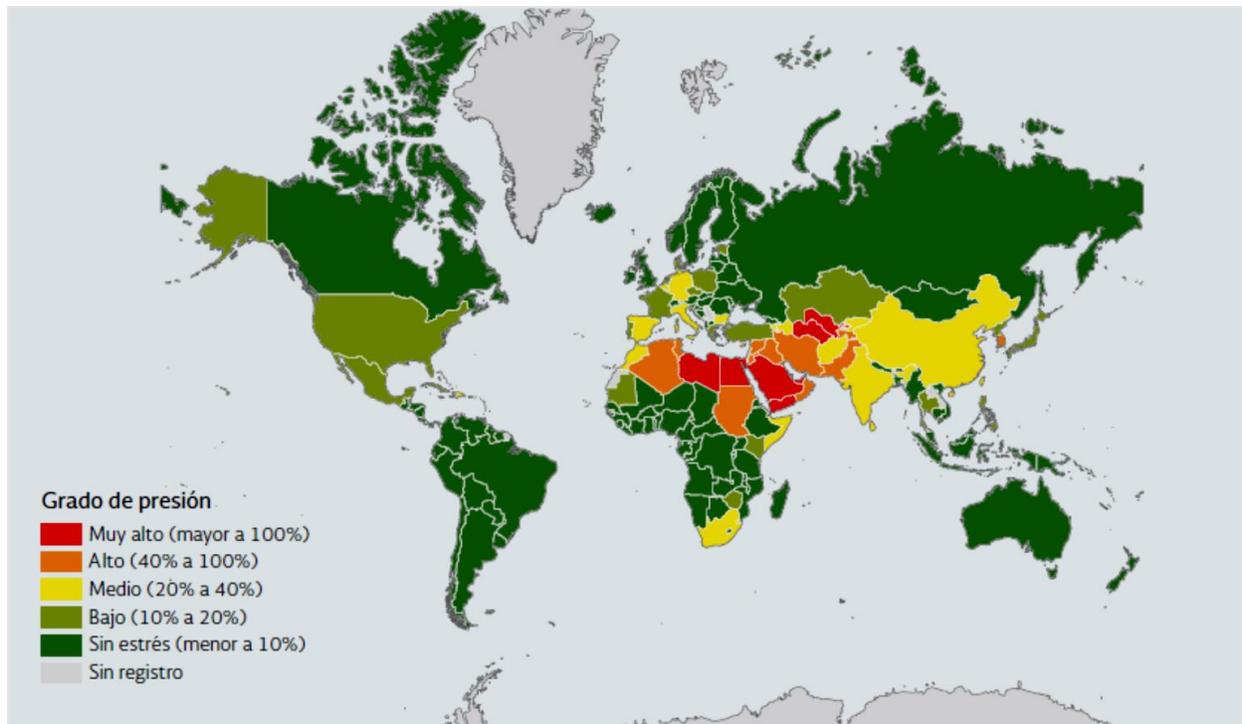


Figura 2. Grado de presión sobre los recursos hídricos del mundo. [13]

## 4.3 REUTILIZACIÓN DE AGUA EN LA INDUSTRIA.

A nivel mundial alrededor del 19% del agua extraída se emplea en la industria. De esta cantidad, más de la mitad se utiliza en las centrales termoeléctricas para sus procesos de enfriamiento. Entre los mayores consumidores del agua bajo este rubro, se encuentran las industrias metálicas, papeleras, madereras, las plantas petroleras, el procesamiento de alimentos y las manufactureras. [13].

Las industrias en el país pueden obtener agua para sus actividades tomándola de las redes municipales o extrayendo por sí mismas aguas subterráneas o superficiales. La industria autoabastecida es aquella que cuenta con medios propios para obtener su agua, en forma independiente de la red de abastecimiento público. De un total de 34,723 unidades económicas (empresas) registradas en el país, el 89.7% no aplican algún tratamiento a las aguas residuales

que generan, la mayor parte es descargada directamente en cuerpos de agua. Del 10.3% que sí aplica tratamiento a sus aguas residuales, 1203 establecimientos la reutilizan en jardinería y limpieza, 981 la ocupan en su proceso de producción, 239 la utilizan en sus sistemas de enfriamiento y 80 no reportaron un uso específico. [16]

Como podemos ver solo una parte pequeña de las aguas residuales industriales son tratadas, la mayoría se descarga en los drenajes municipales. Se está dejando pasar una oportunidad económica ya que el agua de re-uso puede satisfacer la demanda de actividades en las que no se requiere agua de calidad potable y tiene un menor costo económico, además disminuye la presión sobre las fuentes convencionales.

Según CONAGUA en 2015 se reutilizaron 19.8 m<sup>3</sup>/s de agua tratada por las industrias logrando intercambiar 5.1 m<sup>3</sup>/s de agua de primer uso por agua tratada. La cantidad de aguas residuales que se tratan por parte de la industria es pequeña y en muchas ocasiones el tratamiento aplicado no es el adecuado, generando un aumento en la contaminación y perdiéndose una oportunidad económica para estas industrias.

En el año 2015, la industria trató 70.5 m<sup>3</sup>/s de aguas residuales, en 2 832 plantas en operación a nivel nacional. En el siguiente cuadro se muestra la cantidad de aguas residuales municipales e industriales que se generan en el país.

Centros urbanos (descargas municipales):		
<b>Volumen</b>		
Aguas residuales municipales	7.23	miles de hm <sup>3</sup> /año (229.1 m <sup>3</sup> /s)
Se recolectan en alcantarillado	6.69	miles de hm <sup>3</sup> /año (212.0 m <sup>3</sup> /s)
Se tratan	3.81	miles de hm <sup>3</sup> /año (120.9 m <sup>3</sup> /s)
<b>Carga contaminante</b>		
Se generan	1.95	millones de toneladas de DBO <sub>5</sub> al año
Se recolectan en alcantarillado	1.81	millones de toneladas de DBO <sub>5</sub> al año
Se remueven en los sistemas de tratamiento	0.84	millones de toneladas de DBO <sub>5</sub> al año
Usos no municipales, incluyendo a la industria:		
<b>Volumen</b>		
Aguas residuales no municipales	6.77	miles de hm <sup>3</sup> /año (214.6 m <sup>3</sup> /s)
Se tratan	2.22	miles de hm <sup>3</sup> /año (70.5 m <sup>3</sup> /s)
<b>Carga contaminante</b>		
Se generan	10.15	millones de toneladas de DBO <sub>5</sub> al año
Se remueven en los sistemas de tratamiento	1.49	millones de toneladas de DBO <sub>5</sub> al año

Tabla 2. Descargas de aguas municipales y residuales en 2015. [11]

## 5 MARCO TEÓRICO DEL TRATAMIENTO DE AGUAS.

Tratamiento de aguas es el conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de los contaminantes o características no deseables en las aguas potables, superficiales, subterráneas, residuales industriales o

residuales municipales. La finalidad de estas operaciones es obtener un agua con las características adecuadas al uso que se le pretende dar, por lo que la combinación y naturaleza exacta de tales operaciones aplicadas, depende de las condiciones del influente de entrada y de los límites permisibles de contaminantes aceptables en el efluente de salida, para el uso que se ha destinado.

Esta definición general de tratamiento incluye potabilización, purificación, desalinización y depuración aunque en la práctica se suele referir como tratamiento a la depuración de aguas negras municipales para reutilización. Debido a las mayores exigencias de calidad en el agua para consumo humano, el tratamiento se suele dividir, para su estudio, en tratamientos de potabilización y tratamientos de depuración, aunque ambos comparten muchas operaciones.

## **5.1 TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES**

Este proyecto se realizó sobre una planta de tratamiento de aguas grises industriales. Se mencionan otros tratamientos solamente para obtener un contexto de la tecnología usada. Se denominan grises a las aguas servidas (usadas) que no contienen desechos humanos, se generan por actividades domésticas y contienen principalmente detergentes y pequeñas cantidades de materia orgánica. También se les suele llamar aguas jabonosas. Su depuración es más sencilla que la de las aguas negras aunque se aplican las tres etapas básicas del tratamiento.

### **5.1.1 ETAPA DE TRATAMIENTO PRIMARIO**

La materia en suspensión presente en el agua usada puede ser de muy diversa índole, desde partículas de varios centímetros y muy densas, hasta suspensiones coloidales muy estables y con tamaños de partícula de unos pocos nanómetros. La eliminación de esta materia en suspensión se suele hacer mediante operaciones mecánicas. Sin embargo, en muchos casos, para favorecer la separación, se utilizan aditivos químicos. El término tratamiento primario se refiere a estas operaciones, pues se realizan al principio del proceso.

**CRIBADO O DESBASTE.** Es la eliminación de los sólidos flotantes de mayor tamaño. Suele ser la primera operación realizada para evitar que se dañen equipos posteriores en el proceso. Se usan rejas metálicas o láminas perforadas que es necesario limpiar rastrillándolas periódicamente cuando se han acumulado demasiados sólidos. Eliminan partículas de tamaño mayor a 2 o 3 mm. Si el tipo de sólidos presentes lo requiere, se utilizan trituradoras.

**SEDIMENTACIÓN** Operación física que aprovecha la fuerza de gravedad que hace que una partícula densa se hunda depositándose en el fondo de un tanque sedimentador. A esta operación se le suele llamar decantación, es la forma de tratamiento más sencilla y una de las más antiguas.

En aguas industriales, es habitual encontrar partículas poco densas no aptas para sedimentarse, entonces es necesario un método más eficaz, por lo que se realiza una

coagulación-floculación previa, la cual consiste en la adición de ciertos reactivos químicos para favorecer la agregación y el aumento de densidad de las partículas.

**FILTRACIÓN** Es una operación en la que se hace pasar el agua a través de un medio poroso, para retener la mayor cantidad posible de materia. El medio poroso tradicionalmente es un lecho de arena, dispuesta en capas de distinto tamaño de grano, siendo la superior la más fina, de entre 0.15 y 0.3 mm. Es la operación más utilizada en la potabilización, así como en el tratamiento de aguas industriales para reutilización, donde elimina la materia que no se ha eliminado después de una sedimentación. Para aguas industriales hay una variedad de materiales filtrantes utilizados, siendo habitual el uso de tierra de diatomeas y zeolita. La filtración se clasifica en:

- Filtración por gravedad o pasiva: El agua circula a través del filtro por simple gravedad. Dentro de este tipo, podemos hablar de dos formas de operar, La filtración lenta, apenas utilizados actualmente, y la filtración rápida.
- Filtración por presión o activa. Se usan tanques cerrados, donde el agua se ve forzada a atravesar el medio filtrante, con presión por bombeo. En la superficie del filtro se desarrolla una torta filtrante que mejora la filtración pero debe removerse periódicamente. Esta filtración a presión es la más usada en aguas industriales.

**FLOCULACIÓN-COAGULACIÓN.** Cuando la materia en suspensión está formada por partículas muy pequeñas (alrededor de  $1 \times 10^{-9}$  m) la solución resulta muy estable, es decir la materia no sedimenta pues las interacciones eléctricas de repulsión entre partículas evitan que estas se unan. Por tanto tienen una velocidad de sedimentación extremadamente lenta, lo que haría inviable un tratamiento mecánico clásico. Una forma de mejorar la eficacia de eliminación de materia en suspensión es la adición de ciertos reactivos químicos que, en primer lugar, desestabilizan la suspensión coloidal y a continuación favorecen la floculación para obtener partículas fácilmente sedimentables.

La floculación-coagulación es el proceso más importante en una planta de filtración rápida; de ella depende la eficiencia de todo el sistema. No importa que los demás procesos siguientes sean adecuados; si la coagulación es defectuosa, la eficiencia final del sistema será baja. Es una operación que se utiliza a menudo en el tratamiento de aguas residuales urbanas, potables e industriales. (Industria de la alimentación, pasta de papel, textiles, etc.)

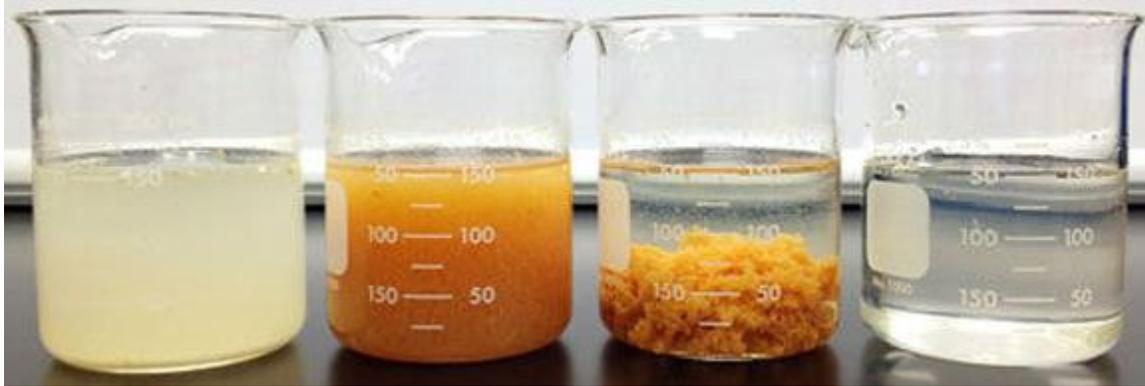


Figura 3. Floculación-Coagulación. [34]

El proceso se lleva a cabo en dos etapas. En la primera, (floculación) se agregan reactivos apropiados que reaccionan químicamente con las impurezas neutralizando su carga eléctrica a nivel molecular. Al reducir o anular las cargas las fuerzas de repulsión entre partículas de impurezas disminuyen considerablemente posibilitando que las partículas se acerquen. Es un proceso físico-químico que ocurre en milisegundos. Se recomienda realizarlo con una mezcla rápida.

En la segunda, (coagulación) las colisiones entre las partículas ya neutralizadas favorecen el crecimiento de los flóculos, los cuales pueden ser eliminados por sedimentación o filtración. Es un proceso físico que tarda varios minutos. Se recomienda usar una agitación de mezcla lenta.

**COAGULANTES Y FLOCULANTES.** Los floculantes son compuestos químicos que en solución aportan carga eléctrica contraria a la del coloide a tratar. Habitualmente se utilizan sales metálicas con cationes de alta relación carga/masa ( $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ). Los más usados son:

- Sulfato de Aluminio.
- Cloruro de Aluminio.
- Aluminato de Sodio.
- Cloruro Férrico.
- Sulfato Férrico.
- Sulfato Ferroso.

Los coagulantes son polímeros naturales o sintéticos, también llamados polielectrolitos. Las cantidades a dosificar son menores que para las sales, suelen ser más eficaces y menos costosos. Se clasifican en tres tipos

- No iónicos
- Aniónicos
- Catiónicos

La eficiencia de la coagulación depende de la dosificación, del pH, del caudal y de la mezcla rápida. Suelen usarse solos o acompañados de un floculante.

### 5.1.2 ETAPA DE TRATAMIENTO SECUNDARIO

Son una serie de procesos que utilizan microorganismos, principalmente bacterias, para llevar a cabo la eliminación de componentes biodegradables indeseables del agua, al aprovechar la

actividad metabólica de los microorganismos para digerir esos componentes. La materia orgánica constituye la fuente de energía y de carbono que necesitan los microorganismos para su crecimiento. También es necesaria la presencia de nutrientes que contengan nitrógeno y fósforo. Se dividen en tres casos: procesos aerobios, anaerobios y anóxicos.

**SISTEMAS AEROBIOS:** La digestión aeróbica es un proceso bacteriano que ocurre en presencia del oxígeno. Bajo estas condiciones las especies bacterianas usan el  $O_2$  como aceptor de electrones y consumen rápidamente la materia orgánica convirtiéndola en dióxido de carbono  $CO_2$ . La fórmula general de la digestión aerobia es la siguiente:

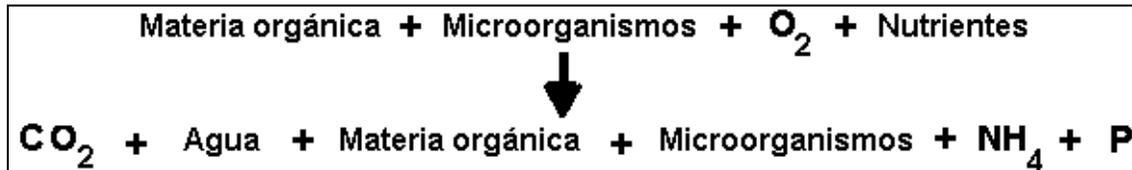


Figura 4. Respiración aeróbica. [17]

Los gastos económicos son típicamente mayores en procesos con digestión aeróbica debido a los costos energéticos, dada la inyección de aire necesaria para agregar el oxígeno al proceso.

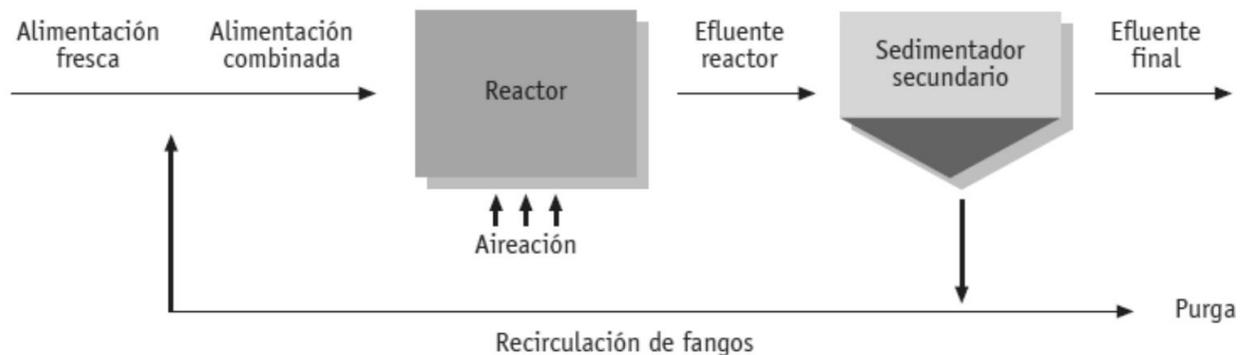


Figura 5. Proceso aerobio. [6]

**SISTEMAS ANAEROBIOS:** En este caso el aceptor de electrones puede ser el  $CO_2$  o parte de la propia materia orgánica, obteniéndose como producto de esta reacción el carbono en su estado más reducido,  $CH_4$

El tratamiento anaerobio es un proceso biológico ampliamente utilizado en el tratamiento de aguas residuales. Cuando éstas tienen una alta carga orgánica, se presenta como la única alternativa. El tratamiento anaerobio se caracteriza por la producción de biogás, formado fundamentalmente por metano (60-80%) y dióxido de carbono (40-20%) y susceptible de ser utilizado como combustible para la generación de energía térmica y/o eléctrica. La lentitud del proceso anaerobio obliga a trabajar con altos tiempos de residencia, por lo que es necesario diseñar reactores o digestores con una alta concentración de microorganismos. Entre sus ventajas cabe destacar la alta eficacia en aguas residuales de alta carga, el bajo consumo de energía y pequeña producción de fangos. Como desventajas están la baja efectividad en la eliminación de nutrientes y patógenos, generación de malos olores y la necesidad de un post-

tratamiento, generalmente aerobio, para alcanzar los niveles de depuración demandados, así como los largos periodos de puesta en marcha.

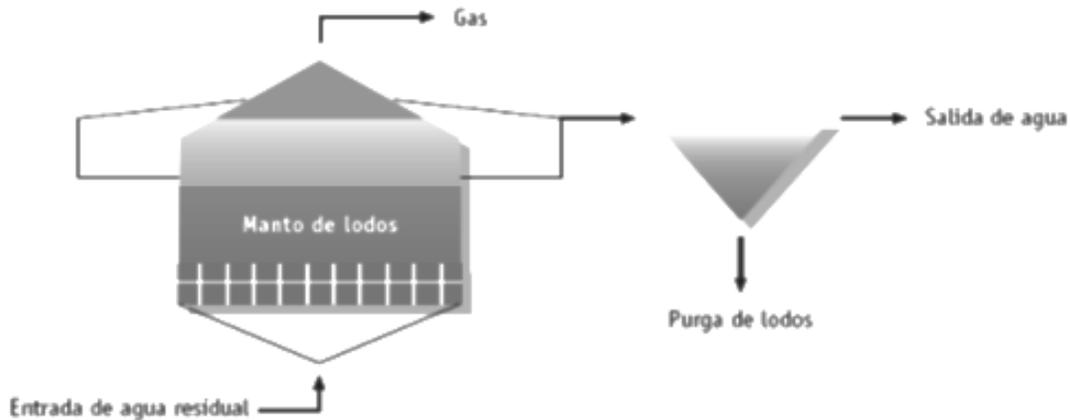


Figura 6. Proceso anaerobio. [6]

### 5.1.3 ETAPA DE TRATAMIENTO TERCIARIO.

Son operaciones que mejoran la calidad del efluente al que ya se le han aplicado tratamientos previos. Sirven para tratar impurezas de difícil eliminación, que no se han podido remover en la etapa primaria y secundaria. Esta etapa de mejoramiento de la calidad, permite obtener un agua reciclada segura, de características adecuadas para usos donde hay contacto directo o indirecto con usuarios.

**ABSORCIÓN EN CARBÓN ACTIVADO.** El proceso de adsorción consiste en la captación de sustancias en la superficie de un sólido. Es considerado como un tratamiento de refinado, y por lo tanto se realiza al final de los sistemas de tratamientos más usuales.

El sólido universalmente utilizado en el tratamiento de aguas es el carbón activo, siguiéndole las zeolitas, arcillas como montmorillonita, sepiolita, bentonita, etc. Las propiedades del carbón activo se deterioran con el uso, por lo que es necesario reponer todo o parte del mismo por carbón nuevo periódicamente. La adsorción es recomendada para un amplio abanico de sustancias orgánicas como colorantes, fenol, mercaptanos y metales pesados en todos sus estados de oxidación.

**DESINFECCIÓN.** La desinfección es la destrucción o desactivación de microorganismos que pueden causarnos enfermedades; Los organismos causantes de enfermedades pueden ser bacterias, virus, protozoos o parásitos. La desinfección es imprescindible para la protección de la salud pública, sobre todo si el agua a tratar tiene como finalidad el consumo humano. En el caso de aguas residuales industriales, el propósito también es desactivar los patógenos, para reutilizar el agua. También preserva la calidad bacteriológica de la red de distribución.

Para llevar a cabo la desinfección se pueden utilizar distintos métodos: calor, radiación, ácidos, bases, ozono, oxígeno puro, foto catálisis, etc. Pero destaca el gas cloro  $Cl_2$  y algunos de sus derivados. Los reactivos más utilizados son los siguientes:

- **DESINFECCIÓN CON GAS CLORO  $\text{Cl}_2$ :** Es el oxidante más utilizado para desinfectar grandes caudales. Hay una serie de factores que influyen en su eficacia: Naturaleza y concentración de organismos a destruir, cantidad de sustancias disueltas o en suspensión en el agua así como la concentración de cloro y el tiempo de contacto utilizado. En presencia de sustancias orgánicas, el poder desinfectante es menor. La presencia de amonio consume cloro formando cloraminas.
- **OTROS COMPUESTOS CLORADOS:** El hipoclorito sódico, fabricado a partir del  $\text{Cl}_2$  es también utilizado como desinfectante en sistemas con menores caudales de trabajo. Otro compuesto con posibilidades de utilización es el  $\text{ClO}_2$ , más oxidante que el cloro, no reacciona con amonio y por tanto no forma cloraminas
- **OZONIFICACIÓN.** El ozono es un gas fuertemente oxidante que se produce por la descarga de alto voltaje de un campo eléctrico sobre moléculas de oxígeno. Es más reactivo que el cloro y más rápido para inactivar microorganismos. Oxida hierro, manganeso, sulfuros, nitritos, compuestos orgánicos como pesticidas. A diferencia del cloro, el ozono no reacciona con el agua para formar especies desinfectantes, sino que se descompone en oxígeno y radicales hidroxilos libres, teniendo una vida media en agua de aproximadamente 10 a 30 minutos, por lo cual debe ser generado "in situ". Generalmente el ozono se aplica junto con otro desinfectante debido a su alto costo y en la mayoría de los casos se aplica con fines adicionales a la desinfección como son el control de olor, color y sabor. Un sistema de ozonización consta del sistema de alimentación de aire u oxígeno, una fuente de electricidad de alto voltaje, el generador de ozono, un reactor y el destructor de ozono residual.
- **RADIACIÓN UV.** La mayoría de las plantas de potabilización a nivel mundial utilizan cloro como desinfectante por su simplicidad de aplicación y bajo costo. Sin embargo, tiene la desventaja de generar productos secundarios denominados órgano-clorados. Como alternativa existe la luz ultravioleta UV, la cual es efectiva para inactivar organismos patógenos sin generar subproductos. La radiación UV es una radiación electromagnética que penetra la pared celular de los organismos y es absorbida por el ADN y el ARN, alterando su composición, Tiene una energía inferior a los rayos X pero mayor que la luz visible. Requiere tiempos de contacto mínimos, minutos o segundos pero sólo es efectiva en aguas claras con muy baja turbiedad. La radiación ultravioleta es generada por una lámpara germicida, muy similar a una lámpara fluorescente común. La longitud de onda utilizada es de 254 nm. Su uso se ha incrementado incluso en plantas de tratamiento de aguas residuales.

## 5.2 TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS.

Conforme a la Ley de Aguas Nacionales, se define a las aguas residuales como las aguas de composición variada provenientes de las descargas de uso público urbano, doméstico, industrial, comercial, de servicios, agrícola, pecuario, de las plantas de tratamiento, y en general de cualquier uso, así como la mezcla de ellas. La clasificación más común distingue

entre aguas residuales municipales y aguas residuales industriales. Pero la separación de las aguas residuales en aguas grises y aguas negras se está haciendo cada vez más conocida, la diferencia es que las aguas grises no contienen desechos humanos. Es importante conocer las características del agua a tratar, pues de su composición depende el tipo de reutilización que se le puede dar, el tratamiento necesario y el costo de este.



Figura 7. EDAR Atotonilco. [24]

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes presentes en el agua, que son resultado de la actividad humana principalmente. El proceso de tratamiento suele tener tres etapas:

- Tratamiento primario o pretratamiento: Es una etapa de separación física de impurezas. Tiene por objeto la eliminación de sólidos flotantes y en suspensión como por ejemplo: coloides, metales pesados, aceites y grasas. Incluye operaciones como: cribado, neutralización, coagulación-floculación, sedimentación, filtración, floculación, desarenado, desnatado y desengrasado.
- Tratamiento secundario Es la descomposición biológica de materia orgánica biodegradable presente en el agua residual, transformándola en sólidos suspendidos que se eliminan más fácilmente. Incluye: lodos activados, reactores anaerobios, filtros percoladores, lagunaje, etc.
- Tratamiento terciario Es la eliminación de contaminantes que perduran después de aplicar los tratamientos primario y secundario; son tratamientos específicos y costosos que usan tecnologías avanzadas, se usan cuando se requiere un efluente final de mayor calidad. Microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración, absorción en carbón activado, osmosis inversa, electrocoagulación y desinfección.

El tratamiento de aguas residuales comienza por la separación física inicial de sólidos grandes (basura) empleando un sistema de rejillas, aunque también pueden ser triturados con equipos especiales; posteriormente se realiza un desarenado (separación de sólidos pequeños muy

densos como la arena) seguido de una sedimentación primaria que separa los sólidos suspendidos. A continuación sigue la conversión progresiva de la materia biológica disuelta en una masa biológica sólida usando bacterias adecuadas en un reactor biológico. Una vez que la masa biológica es separada o removida (proceso llamado sedimentación secundaria), el agua tratada puede experimentar procesos adicionales (tratamiento terciario) como desinfección, filtración, etc. El efluente final puede ser descargado o reintroducido de nuevo en una masa de agua natural (corriente, río o bahía) u otro ambiente (terreno superficial, subsuelo, etc.).

Al realizar la descarga, la naturaleza completará el proceso de depuración en el cuerpo receptor donde se vierte. Para ello, el nivel de tratamiento requerido está en función de la capacidad de auto purificación natural del cuerpo receptor. A su vez, esta capacidad natural es función, principalmente, del caudal del cuerpo receptor, de su contenido en oxígeno, y de su "habilidad" para re-oxigenarse. Por lo tanto el objetivo principal del tratamiento de aguas residuales es reintroducir un efluente sano y reutilizable en el ambiente y separar un residuo sólido o fango al que se le aplica una neutralización conveniente para su disposición o reutilización. Adicionalmente esta agua tratada se puede reusar, si el proceso es lo suficientemente efectivo, pero se enfatiza que el propósito original del tratamiento de aguas negras es reintroducir el agua al ambiente de manera segura.

### 5.3 TRATAMIENTO DE POTABILIZACIÓN.

Se denomina agua potable al agua que puede ser usada sin restricción para beber o preparar alimentos. Al proceso de conversión del agua común en agua potable se le denomina potabilización.



Figura 8. Planta potabilizadora Los Berros. [7]

El proceso aplicado dependerá del origen del influente a tratar, generalmente se potabilizan aguas subterráneas, en este caso el tratamiento consiste en cloración, aplicación de radiación ultravioleta y ozonificación, para eliminar patógenos y evitar la contaminación durante su transporte. Si la fuente de agua es superficial, el proceso consta generalmente de: un cribado para eliminar basura y partículas flotantes, una breve etapa de decantación para disminuir los sólidos suspendidos y homogenizar el caudal de entrada a la planta, un aireado para eliminar compuestos volátiles, precipitación de la impurezas con floculación, filtración en arena "sílica" o zeolita y una desinfección con cloro u ozono. En caso de que se cuente con agua salada, se puede potabilizar con filtración y ósmosis inversa.

## 5.4 TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES

Es la depuración de aguas que han sido contaminadas por actividad industrial, para ser liberadas al medio ambiente o re-utilizadas de forma segura. Debido a la gran variedad de industrias existentes, las aguas industriales contienen contaminantes específicos que deben eliminarse con operaciones especiales, por lo tanto, el tipo de tratamiento aplicado varía mucho de una industria a otra. Aun así los tratamientos primario, secundario y terciario, se usan frecuentemente.

El agua tratada generalmente es re-usada en el proceso industrial que la generó aunque también puede destinarse a otros usos por ejemplo procesos de enfriamiento, riego, limpieza o puede ser reintroducida en el ambiente. Sin embargo, muchas industrias siguen produciendo descargas de aguas residuales sin tratar. Estas descargas son especialmente dañinas al ambiente por el tipo de contaminantes químicos que suelen contener y que no pueden ser tratados por las plantas de saneamiento municipal PTAR comunes que están diseñadas para tratar aguas cuyo principal contaminante es materia orgánica biodegradable. Por lo tanto en los casos en que la re-utilización no es posible, es importante ajustar el efluente a los límites de vertido seguro contemplados por la legislación vigente.

## 6 AUTOMATIZACIÓN.

La automatización industrial es el uso de elementos electromecánicos, electrónicos o computarizados para realizar tareas repetitivas, controlar maquinaria o procesos industriales enteros. En la década de 1960 los sistemas computarizados digitales tomaron el control de la mayoría de las tareas tanto simples como especializadas. Algunas ventajas de los sistemas automatizados son: repetitividad, control de calidad, mayor eficiencia, integración con sistemas empresariales, incremento de productividad, y reducción de trabajo humano. Algunas desventajas son requerimientos de gran capital, decremento severo en la flexibilidad, y un incremento en la dependencia del mantenimiento.

## 6.1 AUTOMATIZACIÓN APLICADA AL TRATAMIENTO DE AGUAS.

La automatización de cualquier proceso tiene como finalidad disminuir los costos de operación y mejorar los estándares de calidad; Actualmente la mayoría de las plantas de tratamiento de agua tienen algún grado de automatización, desde el uso de PLCs sencillos para operaciones pequeñas donde sólo se monitorea una o dos variables hasta el control de sistemas distribuidos formados por PTAR municipales, plantas de potabilización y estaciones de bombeo. Aun así es poco el desarrollo que se ha logrado en la automatización de los procesos de tratamiento de aguas; Parte del control se realiza manualmente, lo cual aumenta los costos de operación y da lugar a errores humanos. La mayoría de las plantas cuenta con algún PLC e instrumentos de medición, pero no se realiza una supervisión ni almacenamiento de las variables del proceso, perdiéndose toda esta información.

## 6.2 EQUIPO ELECTROMECAÁNICO.

El elemento más importante a controlar en las aplicaciones de tratamiento modernas son los motores eléctricos de inducción que hacen funcionar el bombeo, Las bombas hidráulicas requieren una instalación eléctrica industrial adecuada, elementos de control para interrumpir la corriente eléctrica durante el funcionamiento normal y durante las labores de mantenimiento. También se requieren dispositivos de protección para prevenir averías e instrumentación adecuada al proceso. La confiabilidad y continuidad del tratamiento depende de la calidad en la construcción y mantenimiento de todos estos equipos.

### 6.2.1 BOMBAS HIDRÁULICAS.

Son componentes que convierten la energía mecánica transmitida por un motor eléctrico en energía hidráulica. El sistema de bombeo es el componente eléctrico más importante de un sistema de tratamiento. Las bombas hidráulicas se clasifican según su construcción física en:

- De paletas
- De engranes
- Peristálticas.
- De pistón
- Tornillo sin fin

O según el principio físico de su funcionamiento en:

- Centrifugas.
- De impulsión directa.
- Tornillo sin fin.

La bomba centrífuga es la máquina más utilizada para mover líquidos en general; Es una máquina rotativa impulsada por un motor eléctrico frecuentemente de inducción. El fluido entra por el centro del impulsor o rodete, que se encuentra girando gracias al motor eléctrico, y dispone de unos álabes para conducir el fluido, éste fluido, por efecto de la fuerza centrífuga es

impulsado hacia el exterior, donde es retenido por la carcasa de la bomba (voluta o caracol). Debido a la geometría de la carcasa, el fluido es dirigido hacia la salida a alta presión.

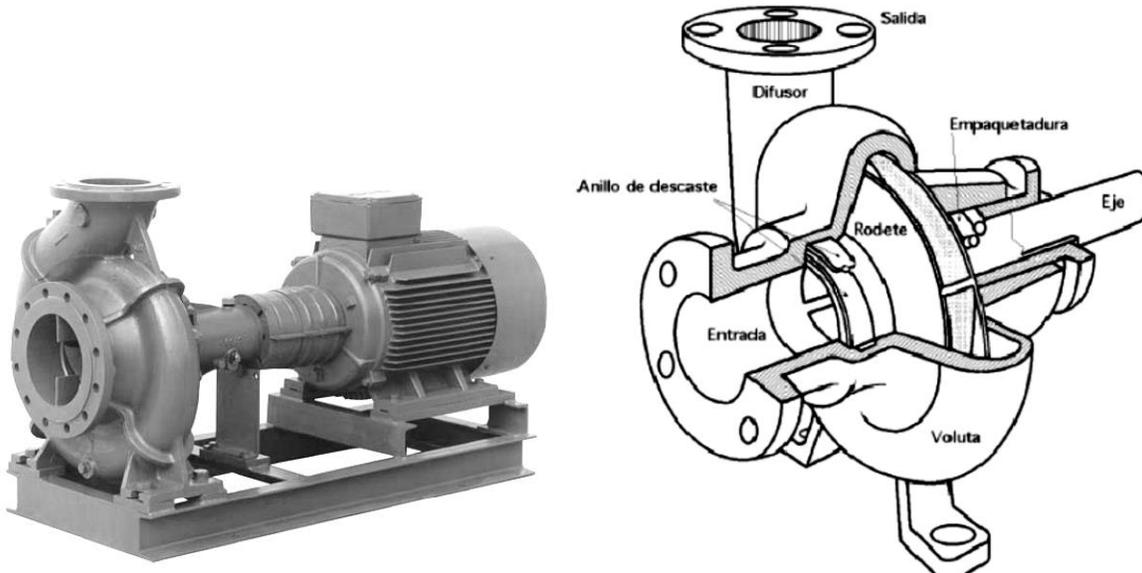


Figura 9 Bomba de cámara dividida. [25]

Los elementos que la conforman son:

- Una tubería de aspiración: Es por donde ingresa el agua a baja presión.
- El impulsor o rodete: Es la parte móvil de la bomba. Va unido solidariamente al eje.
- Difusor: Es el segmento de la carcasa por donde sale el agua a alta presión.
- El eje de la bomba: Es una pieza en forma de barra de sección circular no uniforme que se fija rígidamente al el impulsor y le transmite la fuerza del elemento motor.
- Sello mecánico: Es un aro de cerámica y un empaque de hule que acoplan el eje a la carcasa e impide el paso de agua al interior del motor.
- Carcasa: Es la cubierta de la bomba, generalmente tiene forma de voluta o caracol.

### 6.2.2 DOSIFICADORES.

Los dosificadores son sistemas que se utilizan para aplicar dosis bien controladas de reactivos químicos al agua, por ejemplo:

- Coagulantes y floculantes.
- Soluciones de ácidos o bases para el ajuste del PH.
- Carbón activado en polvo.
- Desinfectantes sólidos o líquidos.
- Fluoruro.
- Otros reactivos con propósitos específicos.

### 6.2.3 MEZCLADORES MECÁNICOS.

La agitación se refiere a forzar un fluido, por medios diversos, para que adquiera un movimiento circulatorio o turbulento en el interior de un recipiente. En el tratamiento de agua los mezcladores se usan principalmente con los siguientes objetivos:

- Mezcla rápida para la dispersión instantánea del coagulante o floculante en toda la masa de agua a tratar. Esta dispersión debe ser lo más rápida y homogénea posible, con el objeto de desestabilizar todas las partículas presentes en el agua y optimizar el proceso de coagulación. En esta operación debe existir una fuerte turbulencia
- Mezcla lenta para mantener los lodos en suspensión dentro de bio-reactores; el proceso de mezclado proporciona a las células, los sustratos necesarios para su crecimiento y reproducción, así las bacterias pueden consumir la totalidad de materia orgánica que ingresa al reactor con el influente. En este caso se debe evitar la turbulencia pues los vértices generados introducen aire a la mezcla. La suspensión de lodos también se puede lograr con bombas de recirculación.
- En algunos sistemas también se recurre a la mezcla lenta para mejorar la floculación, esto es, mantener la mezcla de agua y coagulante con un movimiento lento y suave, que favorezca las colisiones entre flóculos para que estos puedan irse agregando unos con otros hasta formar coágulos lo bastante grandes para que se precipiten al fondo del tanque de floculación.

Existen muchos arreglos mecánicos para lograr la agitación activa, como el uso de aspas, paletas o chorros de agua y aire. El agitador de turbina consta de un disco o eje con aletas, las cuales imparten al líquido el movimiento generado por un motor de inducción. Se clasifican por la dirección del movimiento producido en: turbinas de flujo axial y turbinas de flujo radial

La potencia aplicada al agua por las turbinas depende del volumen y de la forma de la cámara de mezcla, así como de la velocidad de rotación y geometría del impulsor. En la figura 10 se muestra un agitador de baja velocidad que mantiene los sólidos suspendidos en un tanque anaerobio y evita la incorporación de aire al no producir remolinos ni turbulencias.



Figura 10. Agitador radial anóxico. [30]

## 6.2.4 AIREADORES.

Un soplador es un equipo similar a una bomba hidráulica pero diseñado para impulsar un volumen de aire a mayor presión que la atmosférica, este aire es conducido hasta un reactor biológico donde se inyecta al agua por medio de difusores que generan burbujas en el interior del líquido, con el fin de aumentar el área de contacto y permitir que el oxígeno se disuelva en el agua.

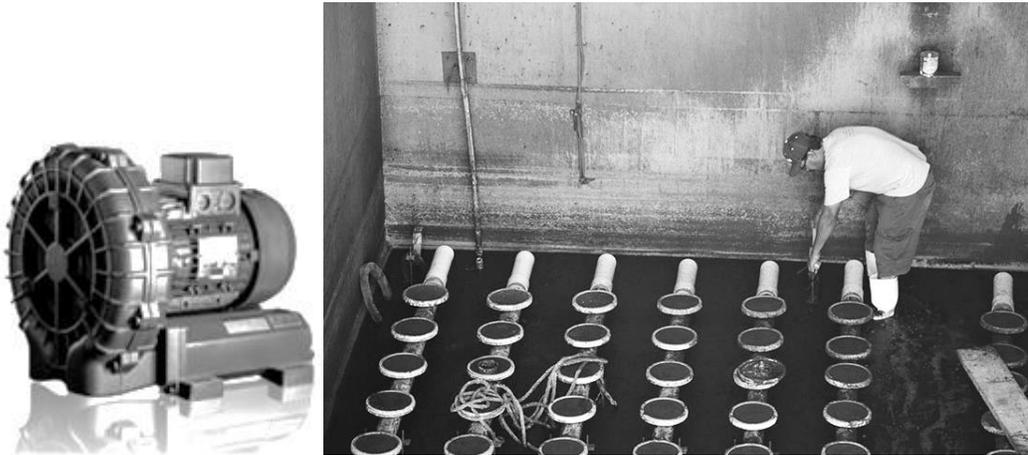


Figura 11. Soplador impulsado por motor de inducción de 4 Hp. Mantenimiento a difusores de disco. Planta tratadora El Crestón. [28]

## 6.2.5 ELECTROVÁLVULAS.

Las válvulas son elementos de control que impiden el flujo de un líquido por una tubería. Se clasifican según el mecanismo de cierre en:

- De vástago.
- De esfera.
- De compuerta.
- De mariposa.
- De diafragma.
- De globo o pistón.

En la figura 23 se muestra una válvula de diafragma de asiento plano. Es de tipo actuada neumáticamente.



Figura 12. Válvula de asiento plano. [23]

Un compresor de aire proporciona la presión necesaria para mover el diafragma, el cual bloquea el paso del agua. Un par equilibrado es lo que mantiene la válvula cerrada. La presión de aire es controlada por una válvula neumática activada por un solenoide. Este sistema forma una electroválvula que es controlada directamente por el PLC.

## 6.2.6 CONTACTORES.

El contactor es un aparato electromagnético de conexión y protección que incluye un relevador trifásico y una protección contra sobrecarga del tipo bimetálico. Cuando la bobina del electroimán está bajo tensión, los contactos se cierran, estableciendo un circuito entre la red de alimentación y la carga. Es fundamental para automatizar el encendido y apagado de las bombas hidráulicas. Además proporciona una capa de seguridad al alejar físicamente a los operadores de las líneas de alta tensión.

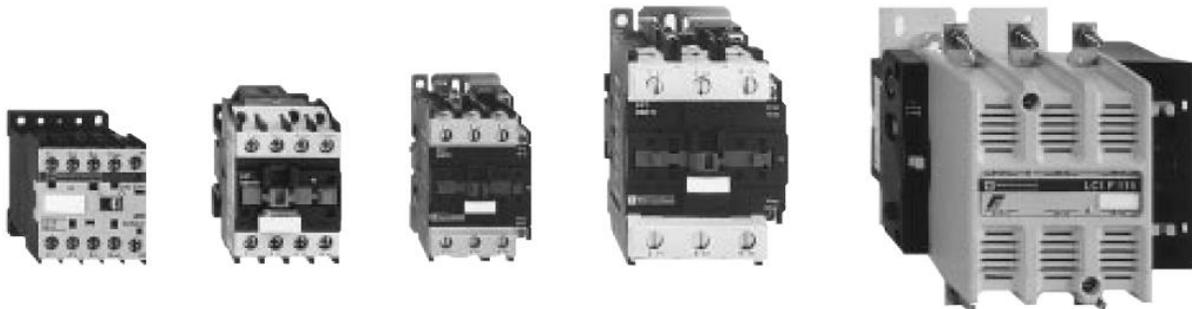


Figura 13. Contactores. [21]

## 6.2.7 INTERRUPTOR DE NIVEL

El interruptor de nivel se utiliza principalmente para controlar el arranque y la parada de grupos de bombas eléctricas y para indicar el nivel de un depósito. Es un interruptor eléctrico sumergible con salida NA y NC que se encuentra sellado dentro de un flotador. Su diseño le permite controlar tanto el punto alto (bomba de desagüe) como el punto bajo (bomba de alimentación).

La señal eléctrica del interruptor puede usarse como entrada para un controlador, un PLC o una tarjeta de adquisición de datos. En la figura se explica su funcionamiento; El interruptor es activado por una esfera metálica que cae sobre el interruptor cuando el flotador se encuentra sumergido y se libera cuando el nivel del agua no llega a hacer flotar la capsula hermética.



Figura 14. Flotante eléctrico. [27]

El contrapeso es necesario para mantener el cable en posición vertical.

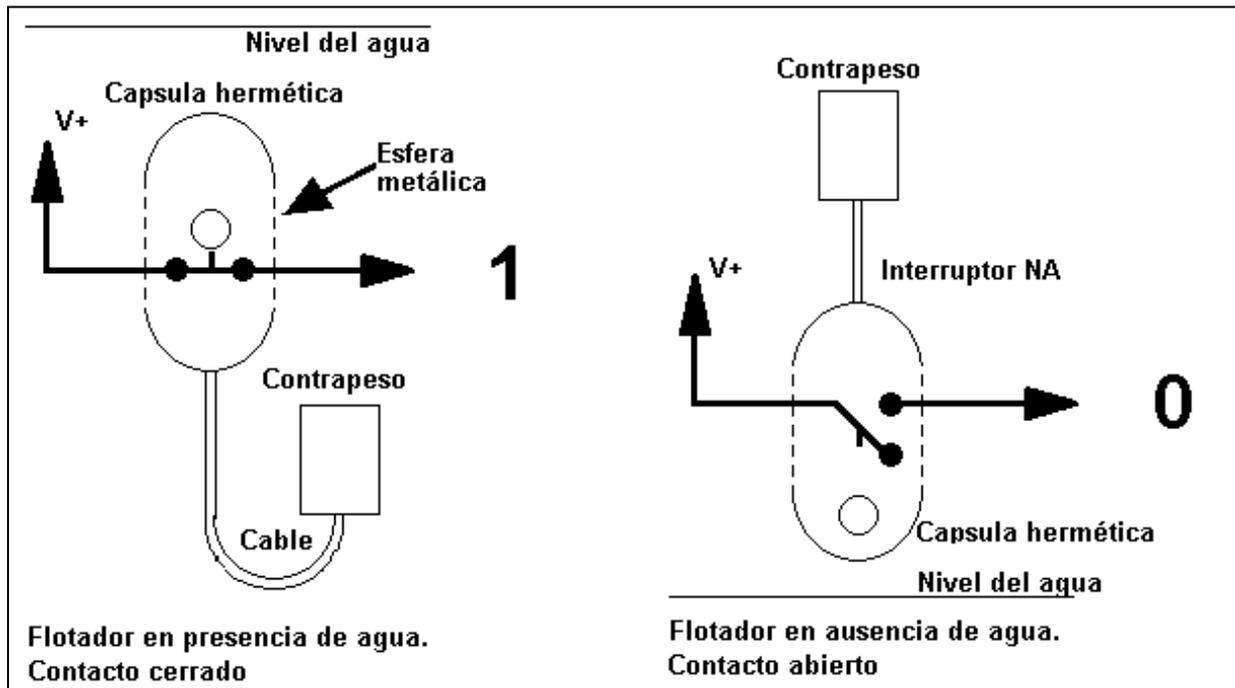


Figura 15. Funcionamiento del interruptor de nivel sumergible.

### 6.3 EQUIPO DE INSTRUMENTACIÓN.

En el proceso de usan instrumentos de medición para monitorear la turbiedad, el pH y la concentración de cloro. Esta instrumentación es especialmente importante cuando el proceso funciona por largos periodos de tiempo sin supervisión.

#### 6.3.1 POTENCIÓMETRO.

El valor del pH se puede medir de forma precisa mediante un potenciómetro, también conocido como pH-metro. Es un instrumento que mide la diferencia de potencial entre dos electrodos: un electrodo de referencia (generalmente de plata o cloruro de plata) y un electrodo de vidrio que es sensible al ion de hidrógeno. El pH de una disolución se puede medir también de manera aproximada empleando indicadores: ácidos o bases débiles que presentan diferente color según el pH.

### 6.3.2 TURBIDÍMETRO.

La turbiedad se define por la Organización Internacional de Normalización (ISO), como: “La reducción de la transparencia de un líquido causada por la presencia de partículas no disueltas de material distinto al propio líquido”. La turbidez es considerada como un buen indicador de la calidad del agua; Cuanto más turbia sea, menor será su calidad; Se mide en Unidades Nefelométricas o NTU. Por lo tanto la turbidez del agua para consumo humano no debe ser mayor a 5 NTU, y estará preferentemente por debajo de 1.0 NTU. El nefelómetro o turbidímetro, es el instrumento que mide la turbiedad, al detectar la intensidad de la luz dispersada a 90 grados cuando un rayo de luz pasa a través de una muestra de agua.

## 6.4 CONTROLADORES Y PLCs

El control de tareas automatizadas puede ser efectuado por un PLC, por controladores especiales o por sistemas de control basados en PC. La decisión de que equipo usar depende de muchos factores que deben ser considerados en cada proyecto.

En un principio el control de procesos industriales se venía haciendo por medio de contactores, interruptores y relés unidos por cables. En grandes procesos se usaban cientos de relevadores que además tienen una vida útil limitada. Cualquier variación en el proceso suponía modificar físicamente gran parte de las conexiones de los tableros de control y de la planta, siendo necesario para ello un gran esfuerzo técnico y un mayor desembolso económico. Una de las tareas que más tiempo tomaba era rehacer y revisar el cableado.

La introducción del circuito integrado en 1959 significó un paso importante en el desarrollo de la automatización. Los controladores fueron los primeros dispositivos en ser empleados para propósitos de control. Se basaban en circuitos lógicos discretos y microprocesadores. Un algoritmo interno grabado en su memoria de tipo ROM les permitía detectar el valor de una variable física y sobre la base de algunas operaciones lógicas sencillas enviar órdenes a actuadores como relevadores, válvulas o motores. Su punto más débil es que son dispositivos de propósito específico, diseñados para realizar sólo una tarea y no pueden ser reconfigurados para trabajar con otro tipo de variable física.

Los PLCs surgieron para corregir esta debilidad de los controladores. Estos dispositivos son también controladores pero tienen la virtud de acoplarse a casi cualquier variable física o situación gracias a que son re-programables.

### 6.4.1 PARTES DE UN PLC.

Un PLC consiste de:

- Fuente de alimentación.
- Memoria de datos y programa.
- Terminal o puerto de programación.
- CPU.
- Entradas y salidas.
- Algoritmo de programación.

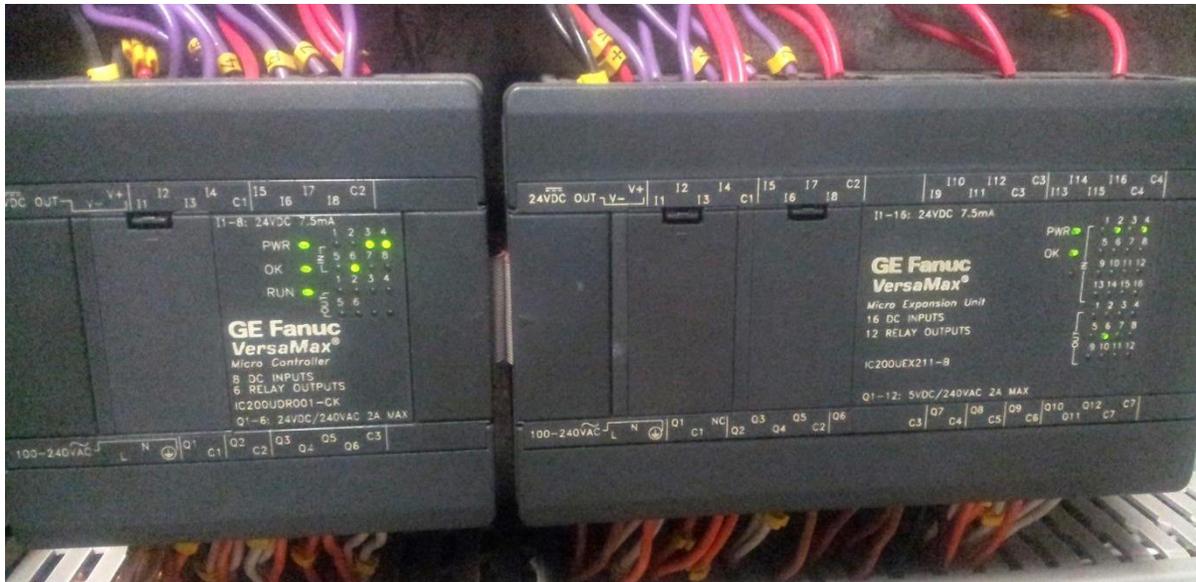


Figura 16. PLC en servicio en la planta.

Opcionalmente puede incluir:

- Bus de datos internos para conectar módulos.
- Batería de respaldo.
- Memoria Flash no volátil para datos y programas.
- HMI integrada.

La estructura básica de un PLC se muestra a continuación en la figura 17.

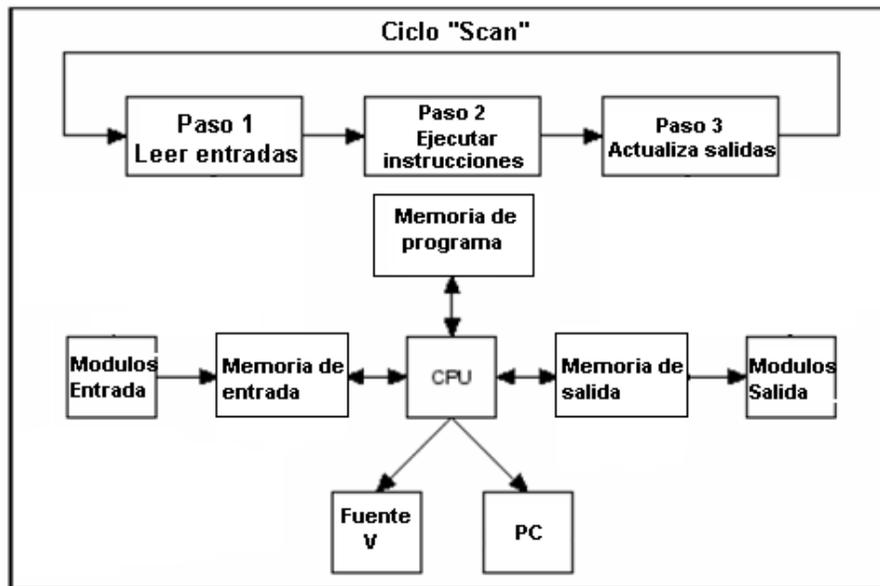


Figura 17. Estructura y ciclo de ejecución de un PLC.

### 6.4.2 PROGRAMACIÓN DE PLCs

Los lenguajes de programación permiten introducir en un autómata todas las instrucciones y datos necesarios para gobernar y controlar una máquina o proceso. Se componen de un juego de instrucciones y se rigen por reglas de sintaxis precisas que definen la forma de escribir, de leer y de modificar un programa. En el campo de la automatización existen varios lenguajes disponibles: Lista de instrucciones IL, diagrama de contactos o escaleras LD, diagrama de bloques funcionales FBD, texto estructurado ST, diagrama de secuencia funcional SFC o Grafcet. Es posible combinarlos en una misma aplicación para aprovechar sus características y encontrar la mejor solución.

### 6.4.3 GRAFCET.

Grafcet significa Grafico funcional de transición de etapas. Es un cuadro que permite representar de manera gráfica y ordenada el funcionamiento de un automatismo secuencial. Describe la forma en que se deben realizar las transiciones entre las distintas etapas del proceso.

Todo proceso secuencial está formado por etapas o estados, por los cuales, el automatismo debe pasar para completar su proceso. Durante cada etapa se tienen activas ciertas salidas.

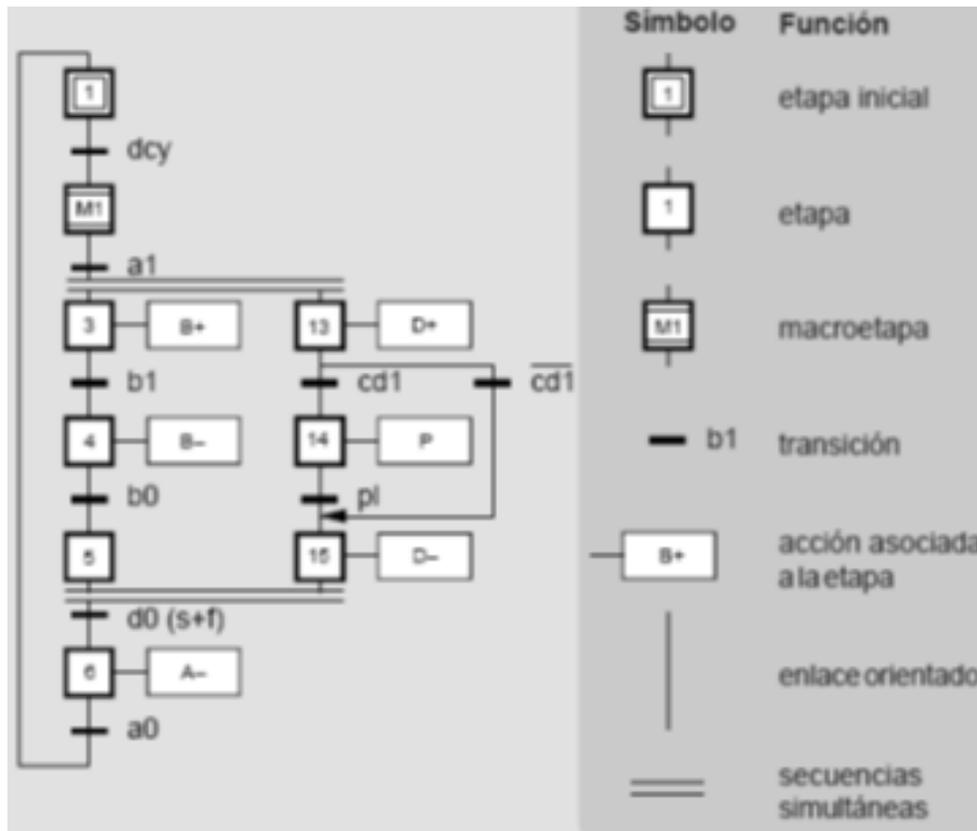


Figura 18. Ejemplo de diagrama Grafcet. [21]

Una transición es la condición que se debe cumplir para pasar a la siguiente etapa, esta transición se da cuando las entradas asumen ciertos valores lógicos establecidos, lo cual ocasiona la desactivación de la etapa actual y la activación de la etapa siguiente.

Los enlaces orientados son los vínculos entre etapas que pasan a través de las transiciones e indican las vías de evolución del Grafset. Una macro-etapa es la representación simplificada de un conjunto de etapas y transiciones.

#### **6.4.4 LENGUAJE ESTRUCTURADO**

El lenguaje literal es un lenguaje evolucionado que ofrece amplias posibilidades de programación de funciones simples, como comprobaciones o acciones sobre bits y palabras; y programación de funciones más complejas, como operaciones lógicas o aritméticas, manipulación de tablas de datos, etc.

El elemento básico de la programación es la instrucción, que puede ser de tres tipos:

- Frase de acción para actuar directamente sobre variables, bits o palabras.
- Frase condicional en la que las acciones dependen del resultado de una o varias comprobaciones (IF, THEN, ELSE, etc.)
- Frase iterativa en la que las acciones están condicionadas al resultado de una comprobación y se ejecutan mientras ésta sea verdadera (WHILE, DO, FOR).

#### **6.5 SISTEMAS SCADA.**

Damos el nombre de SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) Sistema de Supervisión del Control y Adquisición de Datos a cualquier software, con su correspondiente hardware, que permita el acceso remoto a datos de un proceso y el control del mismo, utilizando las herramientas de comunicación disponibles.

Estos sistemas originalmente se diseñaron para cubrir la necesidad de un sistema de control centralizado en un proceso o complejo industrial distribuido sobre un área geográfica muy extensa. Actualmente también se implementan en procesos concentrados en un mismo sitio. El sistema SCADA Consiste en una estación central o unidad terminal maestra MTU y una o varias unidades remotas RTU.

Esquemáticamente consta de las siguientes partes:

- Proceso objeto de control. Es el proceso que se desea supervisar; Es el origen de los datos que se quieren distribuir y puede encontrarse en una locación alejada.
- Adquisición de datos y control. Es el conjunto de instrumentos de medición y control dotados de una interfaz de comunicación que se encuentran instalados sobre el proceso.
- SCADA. Es la combinación de software y hardware que permite la recolección, visualización, modificación y distribución de los datos generados en el proceso.
- Clientes de datos o terminales de visualización. Conjunto de aplicaciones o dispositivos que utilizan los datos obtenidos por el sistema.

Un sistema SCADA cumple con las siguientes especificaciones:

- Funcionalidad completa de control y visualización en sistemas operativos y PC estándares, incluyendo visualización de alarmas.
- Arquitectura abierta que permite una amplia compatibilidad con aplicaciones estándar o propias del usuario.
- Sencillez de instalación, sin exigencias de hardware elevadas, fáciles de utilizar, y con interfaces amigables con el usuario.
- Permitir integración con herramientas de ofimática.
- Fácilmente configurable y escalable.
- Comunicaciones flexibles para poder comunicarse con total facilidad y de forma transparente al usuario con el equipo de planta y con el resto de la empresa.
- Posibilidad de programar acciones y “recetas” predeterminadas.
- Mantener la seguridad e integridad de los datos.

Entre sus características podemos destacar:

**Economía:** Es más fácil ver qué ocurre en la instalación desde la oficina que enviar a un operario a realizar la tarea. Ciertas revisiones se convertirán en innecesarias.

**Mantenibilidad.** La misma aplicación se puede programar de manera que nos avise cuando se aproximen las fechas de revisión o cuando una máquina tenga más fallos de los considerados normales.

**Conectividad:** Se buscan sistemas abiertos, es decir, sin secretos ni sorpresas para el integrador. La documentación de los protocolos de comunicación actuales permite la interconexión de sistemas de diferentes proveedores y evitan la existencia de lagunas informativas que puedan causar fallos en el funcionamiento o la seguridad.

**Escalabilidad.** Es la posibilidad de ampliar y actualizar el sistema debido a aumentos del tamaño del proceso, del volumen de datos, del espacio de almacenamiento disponible, de la capacidad del equipo informático o del equipo de comunicaciones.

**Robustez.** Ante un fallo de diseño, un accidente o una intrusión, el sistema debe de soportar estas situaciones y manejarlas o por lo menos mantener los servicios esenciales mínimos en funcionamiento.

### **6.6.1 SISTEMAS DE CONTROL DISTRIBUIDO.**

Un sistema de control distribuido SCD, es un sistema de control completo que cumple su función de control a través de una serie de módulos independientes distribuidos por toda la planta o proceso. La filosofía de funcionamiento de estos sistemas es evitar que el control de

toda la planta esté centralizado en una sola unidad, que es lo que se busca con el SCADA. De esta forma si una unidad de control falla, el resto de unidades podría seguir funcionando.

Los sistemas SCD se construyen con dispositivos de control como PLCs o controladores específicos para cada parte del proceso, en los que, un programa de control se encarga de tomar las decisiones dependiendo de los datos que recibe en sus entradas.

Actualmente se desea que los componentes del SCADA tengan características de un sistema distribuido para lograr la robustez del sistema.

### 6.6.2 ARQUITECTURA DE LOS SISTEMAS SCADA

La topología de un Sistema SCADA varía adecuándose a las características de cada aplicación. Tradicionalmente se construyen alrededor de una unidad maestra, que se conecta físicamente a los dispositivos de adquisición de datos. La MTU cual funciona como servidor para los clientes de visualización y control interconectados a través de una red de comunicaciones.

### 6.6.3 TERMINALES REMOTAS RTU

Una RTU (Unidad Remota de Telemetría o unidad Terminal Remota) es parte importante de los sistemas SCADA, muchos no conciben un SCADA sin hacer uso de ellas. Un RTU es un equipo instalado en una localidad remota que recopila datos de los transmisores del proceso, los procesa y codifica para transmitirlos hacia una estación central MTU o incluso hacia otra RTU. También recibe datos de la estación central y los dirige hacia los actuadores necesarios.



Figura 19. Ejemplo de RTU.

En la ilustración anterior se muestra un ejemplo del CPU de una RTU que cuenta con un puerto RS-485, un puerto Ethernet, y 11 puertos RS-232; memoria RAM estática para el almacenamiento local de la información durante su procesamiento y memoria Flash no volátil para el almacenamiento de programas y parámetros; Algunas RTU cuentan con módulos de buses de campo o MODEM inalámbrico para comunicaciones; módulos de entradas y salidas digitales y analógicas, reloj de tiempo real, Watchdog timer para asegurar la recuperación después de fallas, fuente de poder interrumpida y protección contra transitorios.

Una RTU puede ser hardware especializado como el mencionado o implementarse sobre un PLC o una PC con tarjetas de adquisición de datos. A menudo las RTUs son dispositivos

especializados fabricados por pequeños proveedores para suplir la demanda de mercados especializados, resultando en modelos económicos que solo incluyen las funciones específicamente necesarias.

En general deben de contar con el siguiente software:

- Sistema operativo en tiempo real o un algoritmo que barra secuencialmente las entradas, actualice las salidas y supervise los puertos de comunicación.
- Un driver para el sistema de comunicaciones, es decir un programa que defina el protocolo de enlace con la unidad maestra del SCADA.
- Programas de auto diagnóstico.

#### **6.6.4 TERMINAL CENTRAL MTU**

La terminal maestra o unidad central es el equipo informático donde se recopilan, almacenan y analizan los datos generados por el sistema. Se encarga de las funciones de:

- Mando hacia las RTUs
- Recopilación de información en una base de datos
- Análisis de los datos generados
- Comunicación con operadores
- Visualización e impresión de datos e informes
- Tareas administrativas del sistema
- Implementar una capa de seguridad en toda la operación

### **7 MICROCONTROLADORES.**

Un microcontrolador es un dispositivo electrónico programable de muy alta escala de integración que contiene las partes fundamentales de un computador:

- CPU Unidad de Procesamiento Central formado por un ALU y control.
- Memoria volátil RAM para datos.
- Memoria no volátil para programa.
- Líneas de entrada y salida para comunicarse con el mundo exterior.
- Buses de dirección, datos y control.
- Software de aplicación almacenado en la memoria.
- Opcionalmente algunos accesorios periféricos (Puertos I/O, comunicación serial, temporizadores, convertidor A/D, Watchdog timer, etc.)

Es decir el microcontrolador es una pequeña computadora auto contenida en un solo encapsulado.

### 7.1 MICROCONTROLADORES AVR.

Son una familia de microcontroladores RISC de 8 bits. Son de arquitectura tipo Harvard, es decir cuentan con memoria separada: Memoria FLASH para el código, Memoria SRAM y EEPROM para los datos.

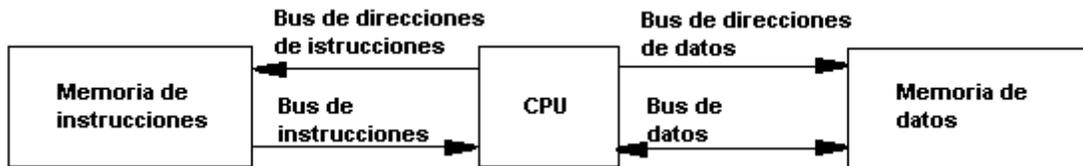


Figura 20. Arquitectura tipo Harvard.

El diseño AVR fue creado para la ejecución eficiente de código C compilado, por lo cual tiene mayor cantidad de registros (32), algunos microcontroladores sólo tienen dos. Esto hace que la arquitectura AVR sea más fácil de programar a nivel de lenguaje ensamblador y que sea fácil de optimizar con un compilador

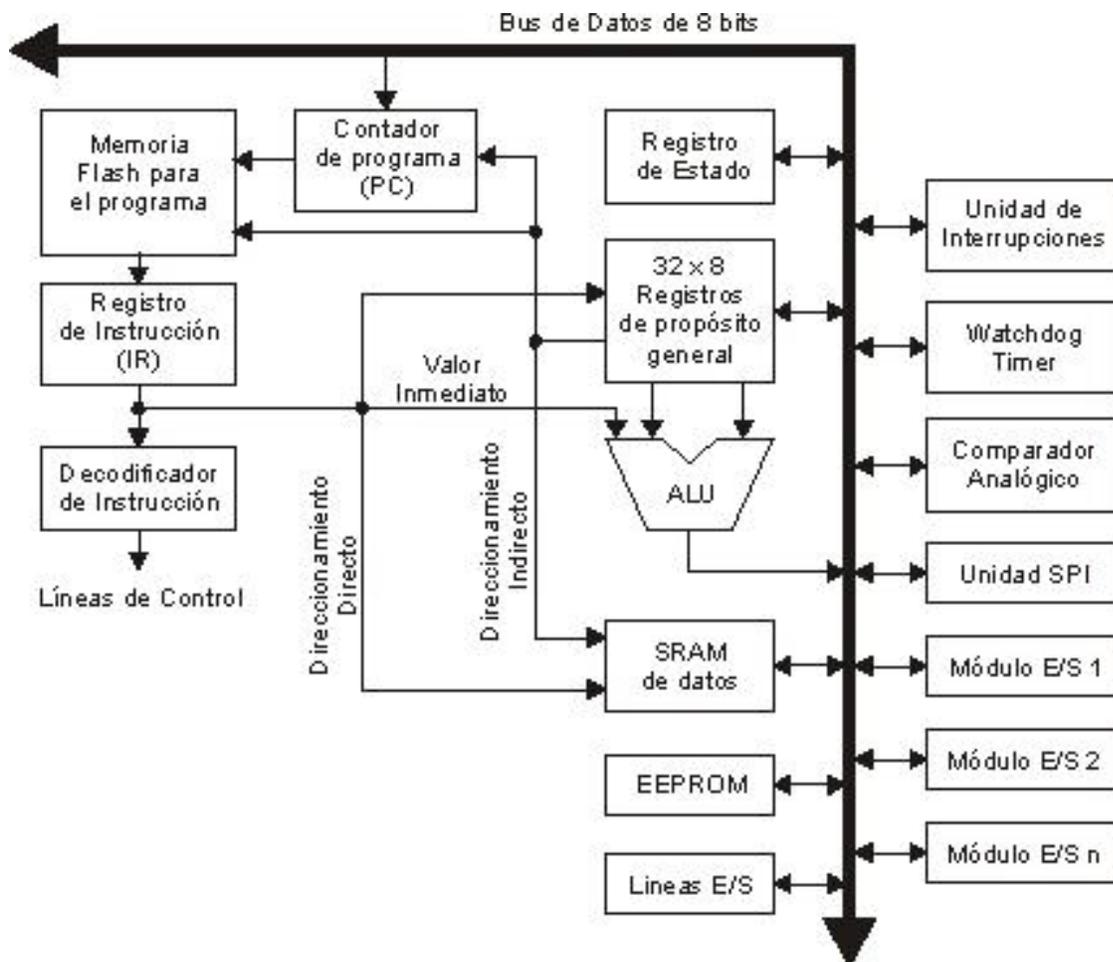


Figura 21. Núcleo de la familia AVR. [3]

Las principales ventajas de esta arquitectura son:

- El tamaño de las instrucciones no está relacionado con el de los datos, y por lo tanto puede ser optimizado para que cualquier instrucción ocupe una sola posición de la memoria de programa, logrando así mayor velocidad de ejecución y menor longitud de programa,
- El acceso a las instrucciones puede hacerse simultáneamente con el de los datos, logrando una mayor velocidad de operación.

## 7.2 PLATAFORMA DE DESARROLLO ARDUINO.

Arduino es una plataforma de desarrollo de sistemas embebidos basada en un microcontrolador AVR. Es un proyecto “open source” y “open hardware”, permitiendo la manufactura de las placas Arduino y la distribución del software por cualquier individuo. El proyecto incluye a una gran comunidad internacional que diseña y manufactura placas de desarrollo para construir dispositivos digitales que pueden interactuar con objetos del mundo real. Arduino se enfoca en acercar y facilitar el uso de la electrónica y programación de sistemas embebidos en proyectos multidisciplinarios.

La mayoría de las placas Arduino pueden ser programadas con un computador a través del puerto Serial o USB, haciendo uso del Bootloader que traen pre-programado. El software de Arduino consiste de dos elementos:

- Un entorno de desarrollo IDE.
- El programa cargador de arranque o bootloader, que es ejecutado de forma automática dentro del microcontrolador en cuanto éste se enciende.

El modelo elegido es la placa Arduino Mega 2560. Esta es una versión ampliada de la tarjeta original de Arduino y está basada en el microcontrolador Atmega2560.

Características obtenidas de la hoja de datos del fabricante.	
Microcontrolador	ATmega2560
Voltaje de operación	5 V
Terminales digitales I/O	54 (15 con salida PWM)
Terminales de entrada analógica	16
Corriente por terminal I/O	40 mA
Memoria Flash	256 KB (8KB reservados bootloader)
SRAM	8 KB
Clock	16 MHz

Tabla 3. Especificaciones del microcontrolador. [2]

La placa dispone de 54 entradas/salidas digitales, 14 de las cuales se pueden utilizar como salidas PWM. Además dispone de 16 entradas analógicas, 4 UARTs (Puertos serie), un oscilador de 16MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un conector ICSP y un pulsador para el reset.

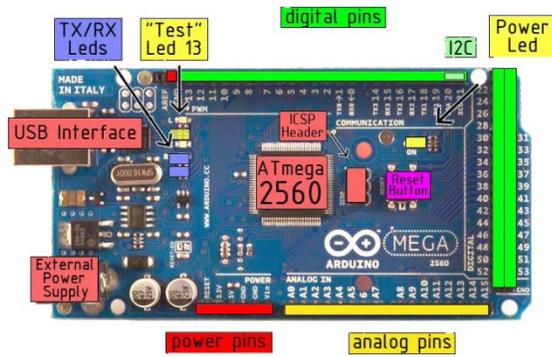


Figura 22. Placa Arduino Mega. [1]

A continuación se muestra el diagrama a bloques interno del microcontrolador.

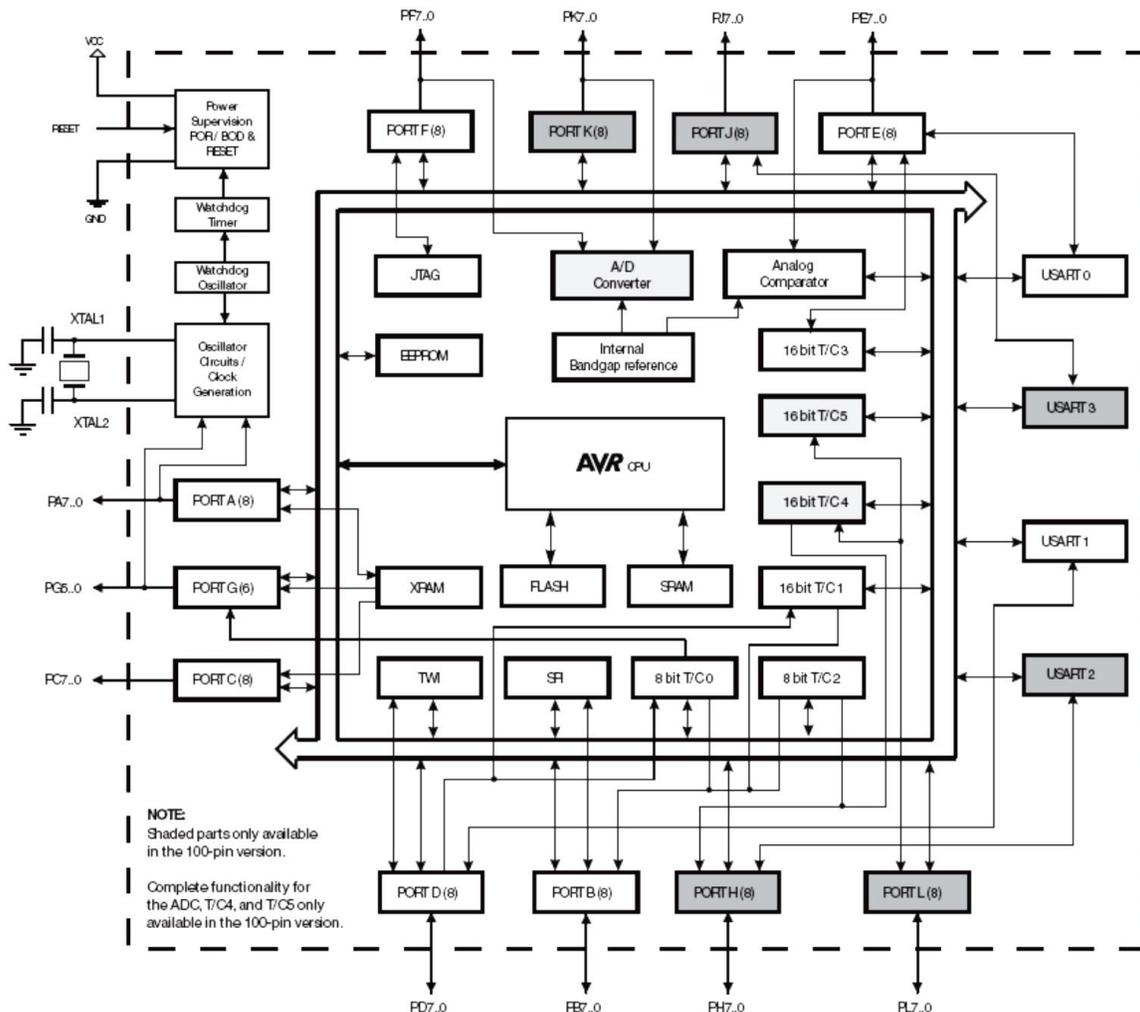


Figura 23. Diagrama a bloques interno de los MCU Atmega 640 1280 1281 2560 y 2561. [3]

Una de las características principales de la tarjeta Arduino MEGA 2560 es que no utiliza el convertidor USB-serie del fabricante FTDI para conectarse al computador. Emplea un microcontrolador Atmega8U2 programado para actuar como convertidor USB a serie. Esta placa debido a su gran poder es utilizada para grandes proyectos.

Las razones por las que se eligió esta plataforma, entre las varias disponibles en el mercado, son las siguientes:

- Es de código abierto, lo cual permite reparar, mantener y modificar el sistema fácilmente pues todos los elementos del sistema son fáciles de obtener y modificar de acuerdo a las necesidades del proyecto.
- Por el bajo costo y la sencillez de su uso. Razón por la cual se ha convertido en una de las herramientas de programación embebida más referenciadas.
- Por la gran cantidad de puertos I/O con los que dispone esta tarjeta de desarrollo.

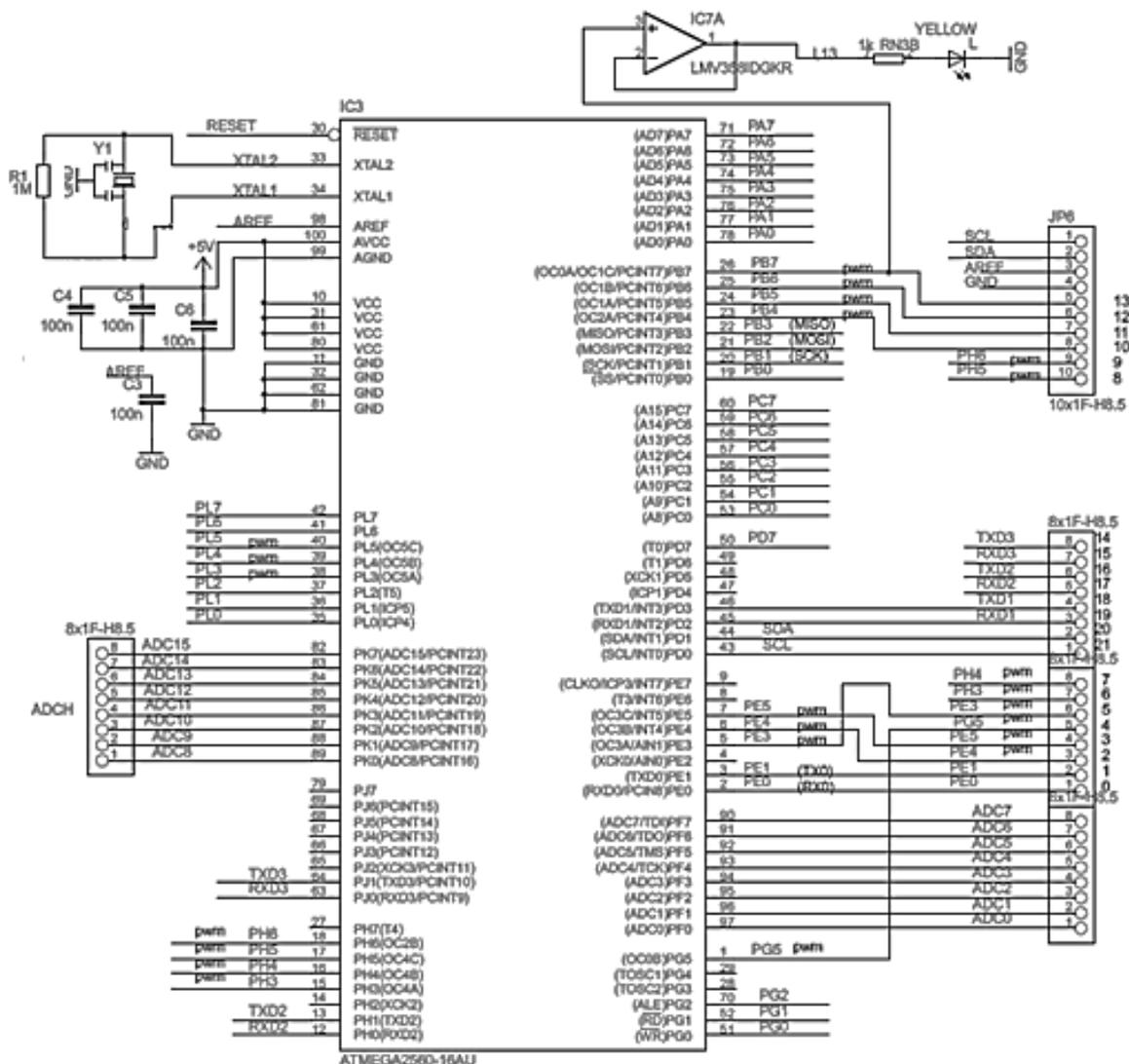


Figura 24. Diseño de referencia de la placa Arduino Mega. [2]

## 8 SERVICIOS WEB.

Un servicio web es una tecnología que utiliza un conjunto de estándares para intercambiar información entre aplicaciones. Los servicios web permiten que aplicaciones de software desarrolladas en lenguajes de programación diferentes, puedan compartir datos a través de Internet de forma sencilla y transparente.

Los servicios Web son muy prácticos por que aportan gran independencia entre la aplicación que consume el servicio Web y el sistema de software que provee el servicio. De esta forma, los cambios a lo largo del tiempo en uno de estos componentes no deben afectar al otro.

En los últimos años se ha popularizado un estilo de arquitectura de Software conocido como REST (Representational State Transfer). Cabe destacar que REST no es un estándar, ya que es tan solo un estilo de arquitectura para implementar servicios Web. Aunque REST no es un estándar, hace uso de varios estándares:

- Protocolo HTTP
- Direcciones URL
- Representación de recursos HTML, JSON, etc.

### 8.1 HTML

Hyper Text Markup Language. Lenguaje de marcado de hipertexto. Es el estándar para la elaboración de páginas web. Define la estructura básica de la página y su contenido; incluyendo una gran variedad de elementos como texto, tablas, controles, imágenes, videos, animaciones, etc.

El programa navegador interpreta las etiquetas HTML y permite visualizar la página web en la forma que el autor de la página quería, sin importar el sistema operativo o navegador usados.

El HTML se basa en etiquetas, rodeadas por corchetes angulares <>. Cada etiqueta representa un elemento de la página. Lo primero que define es la estructura básica de la página de la siguiente forma:

```
<!DOCTYPE HTML>
  <html>
    <head>
      <title>Nombre del ejemplo</title>
    </head>
    <body>
      <p>Texto de ejemplo</p>
      Contenido de la página.
    </body>
  </html>
```

## 8.2 HTTP

Hyper Text Transfer Protocol. Protocolo de transferencia de hipertexto. Es el protocolo de comunicación que permite la transferencia de información en la Internet. Define la sintaxis y la semántica utilizada por servidores y clientes para comunicarse. Los mensajes son texto plano que es legible y fácil de procesar, tienen la siguiente estructura:

- Para las peticiones: La acción requerida por el servidor (método de petición) seguido de la URL del recurso y la versión HTTP que soporta el cliente.
- Para las respuestas: La versión del HTTP usado seguido del código de respuesta (que indica que ha pasado con la petición seguido de la URL del recurso) y por último la frase asociada a dicho retorno.

Las cabeceras del mensaje. Son metadatos. Estas cabeceras le dan gran flexibilidad al protocolo.

Cuerpo del mensaje. Es opcional. Típicamente tiene los datos que se intercambian cliente y servidor. Por ejemplo para una petición podría contener ciertos datos que se quieren enviar al servidor para que los procese. Para una respuesta podría incluir los datos que el cliente ha solicitado.

El protocolo define una serie de métodos, algunas veces referidos como "verbos", que pueden utilizarse. Cada método indica la acción que el cliente desea que se efectúe sobre un recurso. El protocolo tiene flexibilidad para ir añadiendo nuevos métodos y así agregarle nuevas funcionalidades. Por ejemplo el recurso puede corresponderse con un archivo o un registro que reside en el servidor que ha sido solicitado por el cliente.

- POST Crea un recurso en el servidor
- GET Obtener el recurso especificado
- PUT Cambia el estado de un recurso o lo actualiza
- DELETE Elimina un recurso
- CONNECT Se utiliza para saber si se tiene acceso al host
- HEAD Obtener metadatos de los encabezados de una respuesta

El código de respuesta o retorno es un número que indica que ha pasado con la petición. El sistema es flexible y de hecho la lista de códigos ha ido aumentando para así adaptarse a los cambios e identificar nuevas situaciones.

## 8.3 JAVASCRIPT

Es un lenguaje de programación interpretado, Diseñado para agregar funcionalidad, del lado del usuario, a páginas web escritas en HTML. Al incluir funciones JavaScript en una página web se puede lograr:

- Implementar efectos animados con los elementos de la página.
- Realizar comprobaciones de datos en formularios interactivos.
- Realizar llamadas a servicios web ubicados en un servidor.

El código Java Script se ejecuta dentro del navegador y se invoca desde el listado HTML usando la etiqueta `<script></script>`.

## 8.4 CSS

Cascading Style Sheets. Hojas de estilo en cascada. Es un lenguaje de diseño gráfico para definir y crear una presentación grafica visualmente atractiva de un documento HTML como sitios web e interfaces de usuario para aplicaciones web.

Una hoja de estilos consiste en una serie de reglas. Cada regla, consisten en uno o más selectores que identifica a los elementos de la página, y un bloque de declaración que define valores de atributos aplicables a los elementos.

## 8.5 SERVICIOS WEB EN LABVIEW.

LabVIEW publica servicios web como un servidor, usando la metodología REST, un tipo de servicio web donde el usuario accede al servidor escribiendo una URL en su navegador y el servidor responde mandando un documento de texto plano. Es la forma más sencilla de implementar servicios web.

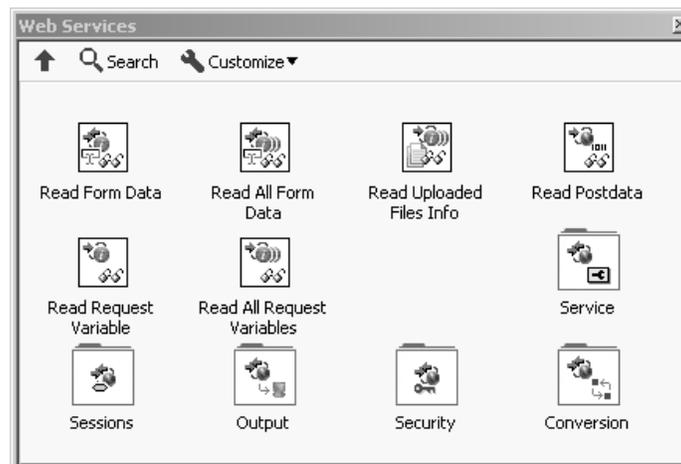


Figura 25. Paleta de funciones de Servicio Web.

Los servicios web en LabVIEW pueden invocarse incluyendo bloques de la API HTTP, ubicada en la paleta de funciones.

## 9 ANTECEDENTES DEL PROYECTO

La planta de tratamiento de aguas grises que se estudió, se encuentra en una plaza comercial que cuenta con gimnasio por lo que genera gran cantidad de agua gris. El agua usada en el servicio de duchas es tratada y se le usa para limpieza, lavamanos, en retretes, mingitorios, lavado de autos, y riego de jardines. Adicionalmente en las instalaciones se cuenta con un sistema de captación de agua pluvial por lo que durante la temporada de lluvia también se trata este tipo de agua.

### 9.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.

El tren de proceso es el siguiente: El agua gris conteniendo principalmente detergentes es recolectada en una cisterna de 20 m<sup>3</sup> que cuenta con difusores de aire en el fondo. Estos difusores son alimentados por un soplador de turbina de 3.0 kW (4 Hp) de potencia que inyecta burbujas de aire al agua con dos propósitos:

- Oxigenar el agua y mantener vivas las bacterias aerobias que consumen la materia orgánica presente en el agua.
- Eliminar compuestos aromáticos volátiles y gases presentes en el agua cruda.



Figura 26. Difusores de aire en la cisterna de aguas grises.

Con esta inyección de aire en el agua cruda se logra introducir oxígeno gracias a la propiedad del oxígeno para disolverse en el agua, debido a la digestión de bacterias aerobias se logra descomponer la materia orgánica presente. En la siguiente imagen se pueden ver los difusores de aire.

El agua es presurizada por dos bombas centrífuga de 3.73 kW (5 Hp), se realiza un cribado con filtro de maya metálica con perforaciones de 3 mm. y después pasa por un filtro de discos que deja pasar partículas de menos de 0.5 mm.

En este punto se le agrega polímetro coagulante al agua con una bomba dosificadora de impulsión directa, en una dosis de 40 mL/m<sup>3</sup>. Se usa un hidrociclón para realizar una mezcla rápida del coagulante con el agua. El agua se pasa a través de un filtro de 121 cm de diámetro (48") de arena sílica a una presión de 2.2 kg/m<sup>2</sup>. Este tipo de filtros retiene partículas mayores a 50 µm.

Después se pasa el agua por un filtro de carbón activado el cual retiene los compuestos remanentes. Por último se agrega hipoclorito de sodio al 13% por medio de una bomba dosificadora de pistón y se aplica radiación UV generada por lámparas UV. En esta etapa se ha experimentado con la aplicación de gas Ozono por medio de un generador electrostático obteniéndose buenos resultados. El sistema es capaz de generar agua de muy buena calidad, con una turbiedad de 0.1 NTU. a un caudal de 8 m<sup>3</sup> /h.



Figura 27. Tren de filtrado de la planta.

El filtro de arena debe limpiarse regularmente por que la acumulación de floculo entre los granos de arena provocan que el filtro se obstruya y disminuya el flujo. Puede notarse que el filtro se ha obstruido cuando:

- La Caída de presión entre la entrada y salida del filtro es mayor a  $0.5 \text{ kg/cm}^2$ .
- La presión a la entrada del filtro de arena es mayor de  $2.5 \text{ kg/m}^2$ .
- El caudal de producción es menor a  $1.8 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- El agua presenta turbiedad notable a simple vista.

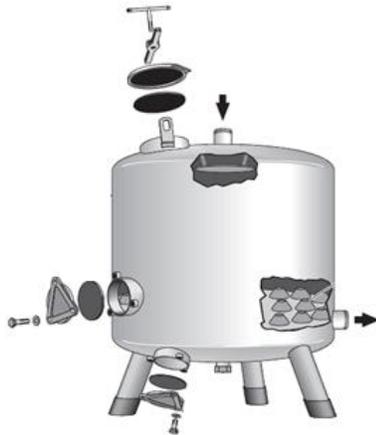


Figura 28. Vista en explosión. Filtro ODIS. [18]

Este tipo de filtros a presión generalmente operan sin sedimentación previa, pero es conveniente emplear coagulación, se emplean con gran éxito en la recirculación del agua de piscinas y en muchas industrias. No se emplean en plantas de tratamiento estatales o privadas destinadas a consumo humano.

El lavado del material filtrante se efectúa haciendo circular el agua en sentido inverso al escurrimiento normal por aproximadamente nueve minutos como se ve en la figura 29.

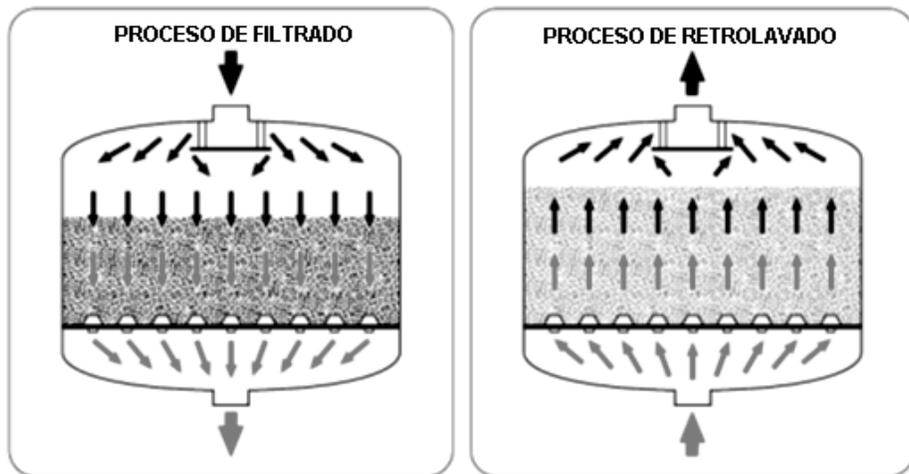


Figura 29. Proceso de filtrado y retrolavado. [18]

Para lograr esta operación de retrolavado se deben actuar unas válvulas que redirigen el flujo de agua como se ve en la figura 30. Estas válvulas hidráulicas son actuadas neumáticamente, su uso es común en procesos industriales. La presión neumática necesaria se obtiene con un compresor de aire. El control del aire a presión se realiza por medio de electroválvulas neumáticas que también son de uso estándar y están controladas por un PLC.



Figura 30. Cambio del flujo de agua durante la limpieza de un filtro. [18]

La segunda etapa consiste en un filtro de carbón activado. EL carbón activado es un material que tiene gran capacidad absorbente por la cantidad de poros microscópicos que presenta. En estos quedan atrapados los compuestos e impurezas que lograron atravesar por el filtro de arena. Las funciones del filtro de carbón son:

- Eliminar el olor presente en el agua que sale del filtro de arena.
- Eliminar restos de toxinas generadas por bacterias.
- Disminuir la espuma presente en el agua.
- Disminuir el color presente en el agua.
- Eliminar el cloro.

El filtro de carbón no es eficiente para eliminar la turbiedad ni el olor en grandes cantidades sólo disminuye ligeramente las impurezas en el agua. Por esto es importante el correcto funcionamiento del filtrado en arena. El filtro de carbón también se puede limpiar con un retrolavado aunque gran parte de la materia retenida permanece en la porosidad del carbón por lo que después de cierto tiempo debe desecharse y reemplazarse.

## 9.2 AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO.

La planta es controlada por un PLC General Electric de la línea Fanuc VersaMax con un módulo de expansión. El PLC se encarga de ejecutar el programa que pone a funcionar la planta y realiza su limpieza periódicamente. Nótese que el PLC se considera obsoleto actualmente.

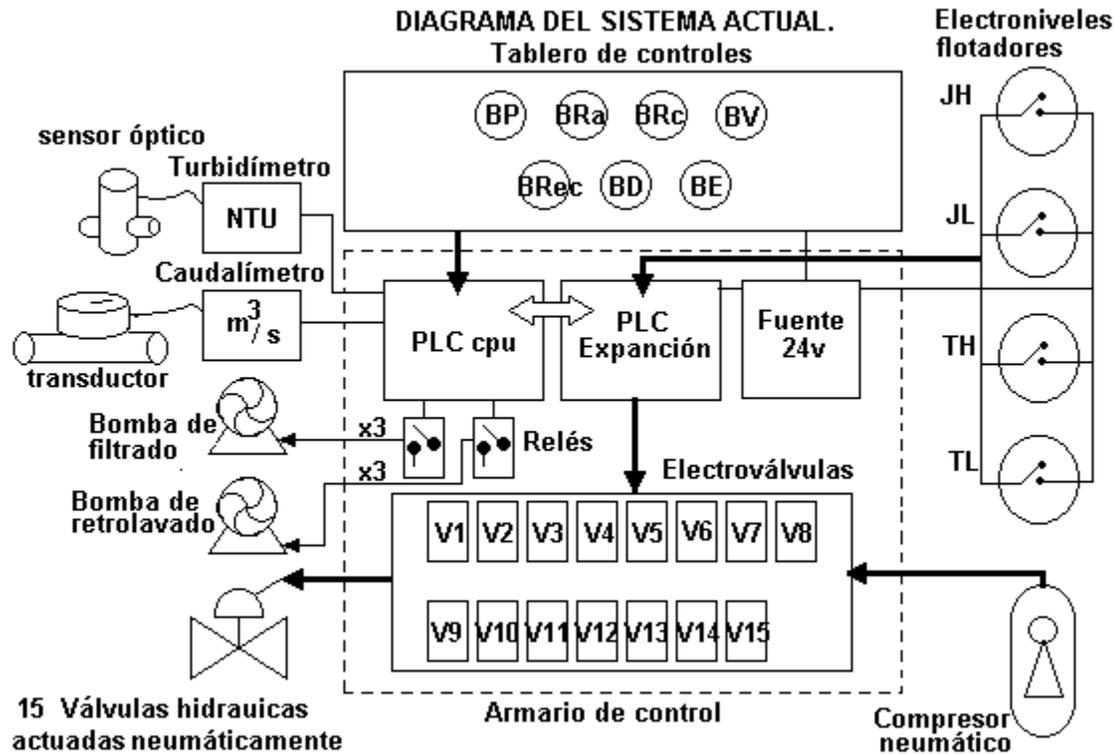


Figura 31. Diagrama esquemático de la instrumentación actual de la planta.

El PLC se encuentra en un tablero donde están los controles para la operación de la planta y recibe señales eléctricas de los indicadores de nivel y de la instrumentación de la planta.

Adicionalmente se cuenta con instrumentación para medir la presión del filtro de arena, el PH, el nivel de Cloro y la turbiedad. Actualmente sólo el turbidímetro es operativo y las mediciones de presión, cloro y PH deben realizarse manualmente.

## 10 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.

La automatización de cualquier proceso tiene como finalidad disminuir los costos de operación y mejorar los estándares de calidad; Actualmente la mayoría de las plantas de tratamiento de agua tienen algún grado de automatización, desde el uso de PLCs sencillos para operaciones pequeñas donde sólo se monitorea una o dos variables, hasta el control de sistemas distribuidos formados por PTAR municipales, plantas de potabilización y estaciones de bombeo. Aun así es poco el desarrollo que se ha logrado en la automatización de los procesos de tratamiento de aguas. Parte del control se realiza manualmente lo cual aumenta los costos de operación y da lugar a errores humanos. La mayoría de las plantas cuenta con algún PLC e instrumentos de medición, pero no se realiza una supervisión ni almacenamiento de las variables del proceso, perdiéndose toda esa información.

La experiencia de los operadores es necesaria y muy valiosa para el buen funcionamiento del tratamiento pero la automatización tiene que aplicarse para eliminar las operaciones repetitivas o que necesiten una reacción inmediata. Ante la creciente demanda del tratamiento de aguas y las ventajas de las nuevas tecnologías, resulta oportuna la automatización de este proceso; Entre las ventajas de la automatización, especialmente provechosas para este tipo de proceso están:

- La adquisición de datos en tiempo real. La ocurrencia de algún fallo puede degradar la eficiencia del proceso rápidamente, en cuestión de minutos, posiblemente contaminando el agua que se encuentra almacenada. El fallo también puede ocasionar alguna descompostura en el equipo. Es importante contar con algún aviso rápido y de este modo actuar oportunamente.
- El control automático y de manera remota. Esto libera a los operadores de labores repetitivas y propensas al error humano.
- La configuración gráfica por medio de display HMI de fácil manejo. El operador pueda ajustar las variables del proceso según se requiera, por ejemplo cuando la composición del agua a tratar presenta variaciones.
- La adquisición de datos de manera remota. Las PTAR municipales se encuentran repartidas en un área geográfica extensa y la concentración de la supervisión en un solo lugar puede mejorar la administración de los recursos.

La planta de tratamiento que se estudió funciona con buenos resultados pero se plantea su automatización completa y control a distancia por los siguientes motivos.

- Requiere constantes acciones manuales por parte de un operador.
- El PLC instalado actualmente es obsoleto, en caso de avería su remplazo, reparación y programación serían muy costosas, resultando más rentable su sustitución por otro sistema.

Actualmente existen PLCs con módulos que pueden realizar estas tareas fácilmente, pero el costo de una propuesta así, es muy elevado. Se ha elegido la plataforma Arduino para implementar dicho control y se usa el software LabVIEW para implementar un pequeño sistema SCADA que pueda sustituir al PLC que se encuentra en servicio, en caso de ser necesario.

## 11 DEFINICIÓN TÉCNICA DEL PROBLEMA.

Se requiere diseñar un sistema con las siguientes características:

- Iniciar y detener el proceso automáticamente según la disponibilidad de agua.

- Emitir una alarma y detener el proceso en caso de turbidez fuera de rango u obstrucción del filtro.
- Realizar el retro-lavado de filtros de forma automática.
- Realizar las operaciones comunes de recirculación, vaciado y enjuague.
- Poder monitorizar y controlar el proceso vía Internet.

Se propone un sistema con la siguiente estructura.

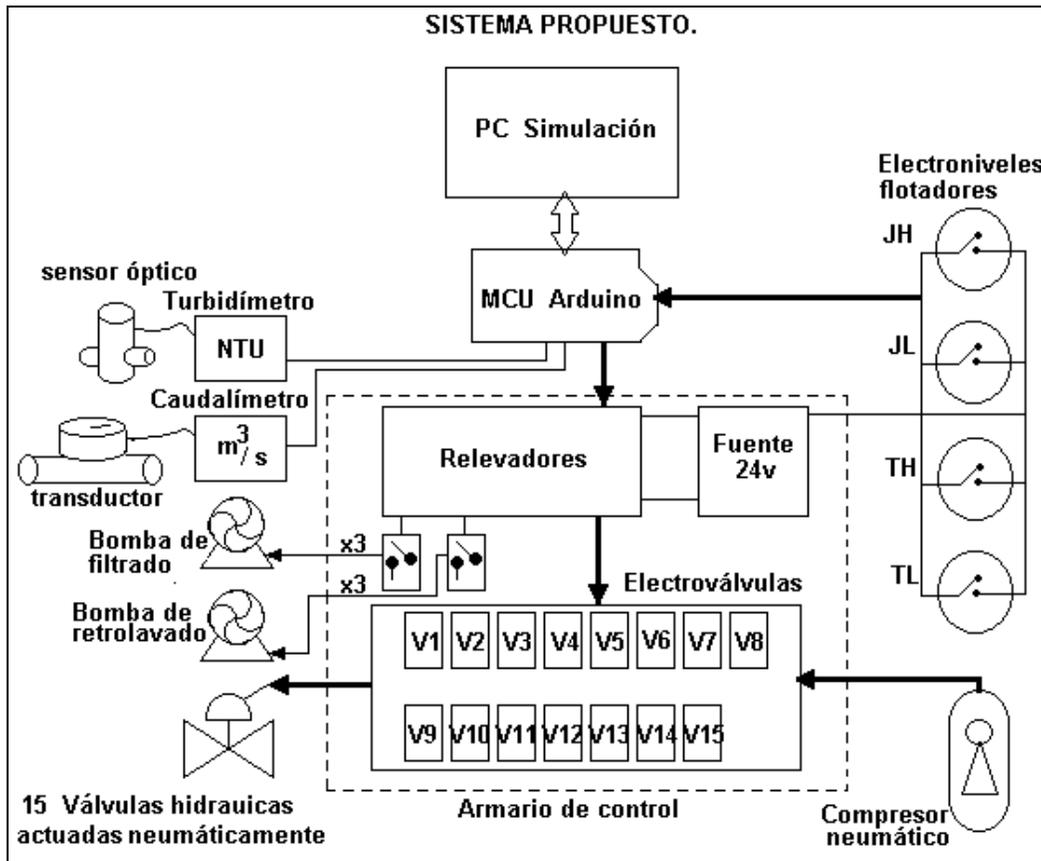


Figura 32. Propuesta de instrumentación de la planta.

El elemento de control más usado en las plantas de tratamiento de aguas es el PLC donde es común manejar las siguientes variables:

- Salidas para activar contactores que manejan los equipos mecánicos (bombas, agitadores, sopladores, compresores, electroválvulas, válvulas de control, dosificadores, etc.).
- Salidas de pulsos de voltaje para controlar las bombas dosificadoras.
- Salidas para alarmas e indicadores visuales.
- Entradas para los interruptores ubicados en los tableros de control.
- Entradas para los sensores de nivel de líquido.
- Entradas para los instrumentos de medición de: caudal, pH, presión, cloro, turbiedad o alguna otra variable que se quiera monitorear en un proceso específico.
- Señales opcionales para comunicación, buses de campo o interfaces HMI.

Debido a razones económicas se eligió hacer el control basado en un microcontrolador. Se debe elegir un microcontrolador con suficientes puertos I/O.

Para implementar las prestaciones de un sistema SCADA se eligió el software LabVIEW por lo que se debe elaborar un programa con las siguientes características:

- Realizar un modelo de la etapa de filtrado de la planta.
- Poder realizar el control y la adquisición de datos.
- Controlar la planta a través del microcontrolador.
- Permitir al microcontrolador controlar la planta independientemente
- Permitir a un usuario controlar la planta a través de Internet.

Se realizó el modelo de la planta para simulación y se muestra a continuación. Se indica la ubicación de las válvulas, también se incluye el tablero de botones e interruptores, el turbidímetro y el caudalímetro.

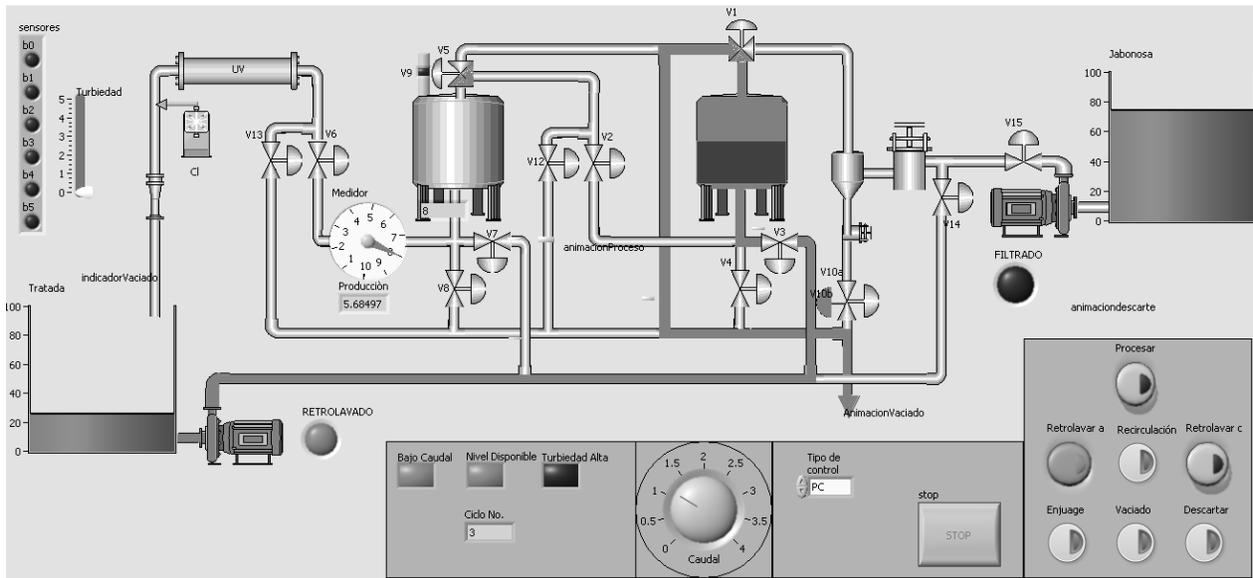


Figura 33. Modelo de la planta en LabVIEW.

Por último para el control por internet se debe realizar una aplicación web que permita enviar y recibir datos.

## 12 DESARROLLO DEL SISTEMA PROPUESTO

El sistema propuesto se basa en tres tecnologías principalmente:

- Plataforma de desarrollo Arduino.
- Software LabVIEW.
- El estándar de Servicios Web.

El microcontrolador realiza la adquisición obteniendo los datos de:

- Un medidor de flujo
- Un turbidímetro
- Interruptores de nivel
- Botones en el tablero de control

También realiza el control de válvulas y bombas mediante salidas digitales que se pueden acoplar a relevadores y envía datos a la PC por USB. Todos estos elementos se simularon con interruptores y LED. La PC funciona como servidor; implementando los servicios web; para esto ejecuta un programa vi construido en el ambiente de LabVIEW, incluye un servidor con funcionalidades de servicios web. Además realiza las funciones de visualización y control. Aunque el microcontrolador puede realizar el control y adquisición de la planta de manera autónoma, incluso sin conexión de Internet, la PC también puede tomar estas funciones. A continuación se enlistan las válvulas del sistema y su función. En los anexos se puede ver su ubicación.

Válvulas del sistema de filtrado.	
V1	Entrada al filtro de arena
V2	Paso entre el filtro de arena y carbón
V3	Entrada de agua limpia para el retrolavado de la arena
V4	Drenaje del filtro de arena
V5	Entrada al filtro de carbón
V6	Salida de la producción
V7	Entrada de agua limpia para el retrolavado del carbón
V8	Drenaje del filtro de carbón
V9	Respiradero del filtro de carbón
V10	Hidrociclón
V11	Hidrociclón
V12	Descarte del filtro de arena
V13	Descarte del filtro de carbón
V14	Entrada para recirculación
V15	Entrada principal

Tabla 5. Función de cada válvula del tren de filtrado.

## 12.1 METODOLOGÍA DE PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR.

El microcontrolador realiza la adquisición de los estados de botones pulsadores e interruptores que simulan los elementos de la planta. A continuación se explican estos elementos.

<p><b>BP</b> Botón Procesar: Interruptor que inicial el proceso de filtrado(Es con enclave) En posición abierta la planta está en espera E1 En posición cerrada la planta está filtrando el agua E2</p> <p><b>BRa</b> Botón Retrolavado de arena: Botón que inicia la limpieza de la arena.(Contacto momentáneo) Al cerrarse, el sistema pasa al estado E3 Mientras está abierto se continua a la espera en estado E1</p> <p><b>BRc</b> Botón Retrolavado de carbón: Botón que inicia la limpieza del filtro de carbón Al cerrarse, el sistema pasa al estado E4 Mientras está abierto se continua a la espera en estado E1</p> <p><b>BV</b> Botón Vaciar: Interruptor que drena ambos filtros (Es de tipo con enclave) Mientras está activado los drenajes se abren Cuando se desactiva se cierra el drenaje y se pasa a espera en E1</p> <p><b>BR</b> Botón Recircular: Interruptor que hace recircular el agua (Es de tipo con enclave) Mientras está activado se recircula el agua ya tratada Cuando se cierra se pasa a esperar en estado E1</p> <p><b>BD</b> Botón Descartar: Interruptor para desechar el agua tratada (Es de tipo con enclave) Mientras está activado se estará desecharo el agua tratada Cuando se cierra se pasa a esperar en estado E1</p> <p><b>BR</b> Botón Recircular: Interruptor que hace recircular el agua (Es de tipo con enclave) Mientras está activado se recircula el agua ya tratada Cuando se cierra se pasa a esperar en estado E1</p> <p><b>BE</b> Botón Enjuagar: Interruptor para enjuagar el filtro de arena (Es de tipo con enclave) Mientras está activado se pasa agua limpia por el filtro Cuando se cierra se pasa a esperar en estado E1</p>
--

Tabla 4. Función de los botones e interruptores.

Las señales del turbidímetro y el caudalímetro se consideran digitales pues actualmente son comunes los dispositivos transmisores que entregan una salida del tipo ON OFF cuando el valor de la variable se sale de un rango pre-programado en estos dispositivos. Se incluyó un teclado matricial para simular el tablero de control de la planta.

El microcontrolador controla la apertura y cierre de las válvulas del sistema según se requiera. Se simula el control de válvulas mediante salidas digitales las cuales se pueden acoplar a relevadores que pueden controlar las electroválvulas reales.

Se puede realizar el control de las bombas por medio de contactores adecuados. El microcontrolador también envía datos a la PC vía serie por el puerto USB.

El algoritmo de control del sistema debe comenzar a filtrar el agua al activar un interruptor marcado como Botó procesar. Siempre y cuando haya un nivel mínimo suficiente de agua

disponible para tratar en el depósito de agua jabonosa. El proceso debe pararse cuando el depósito de agua tratada se llene. Se usan dos electroneveles situados en los dos tanques para controlar el inicio y parada de la filtración.

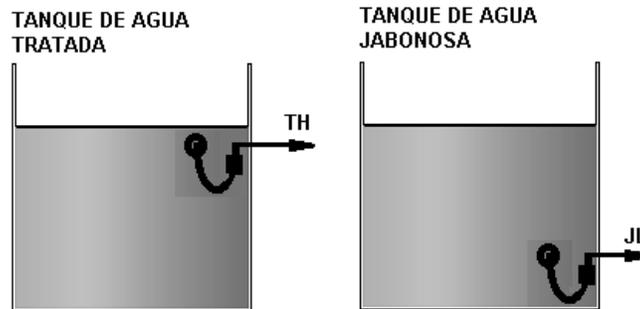


Figura 34. Ubicación de los flotadores de Jabonosa y Tratada

En la siguiente tabla de verdad se muestra en qué casos se puede iniciar el proceso y cuando debe detenerse.

JL	TH	Procesar
0	0	0
0	1	0
1	0	1
1	1	0

Tabla 6. Tabla de verdad de las dos cisternas de agua.

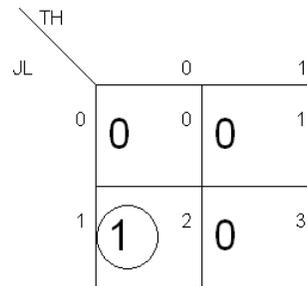


Figura 35. Mapa de Karnaugh

A partir de esta tabla obtenemos la función lógica que controla el encendido del proceso. Resultando el término  $JL \cdot \overline{TH}$ . Esa operación lógica se representa con el siguiente escalón.



Figura 36. Escalón equivalente al termino obtenido.

Para escribir el código primero se debe realizar un diagrama Grafcet del proceso el cual sirve para entender su funcionamiento.

PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRICES CON DOS FILTROS

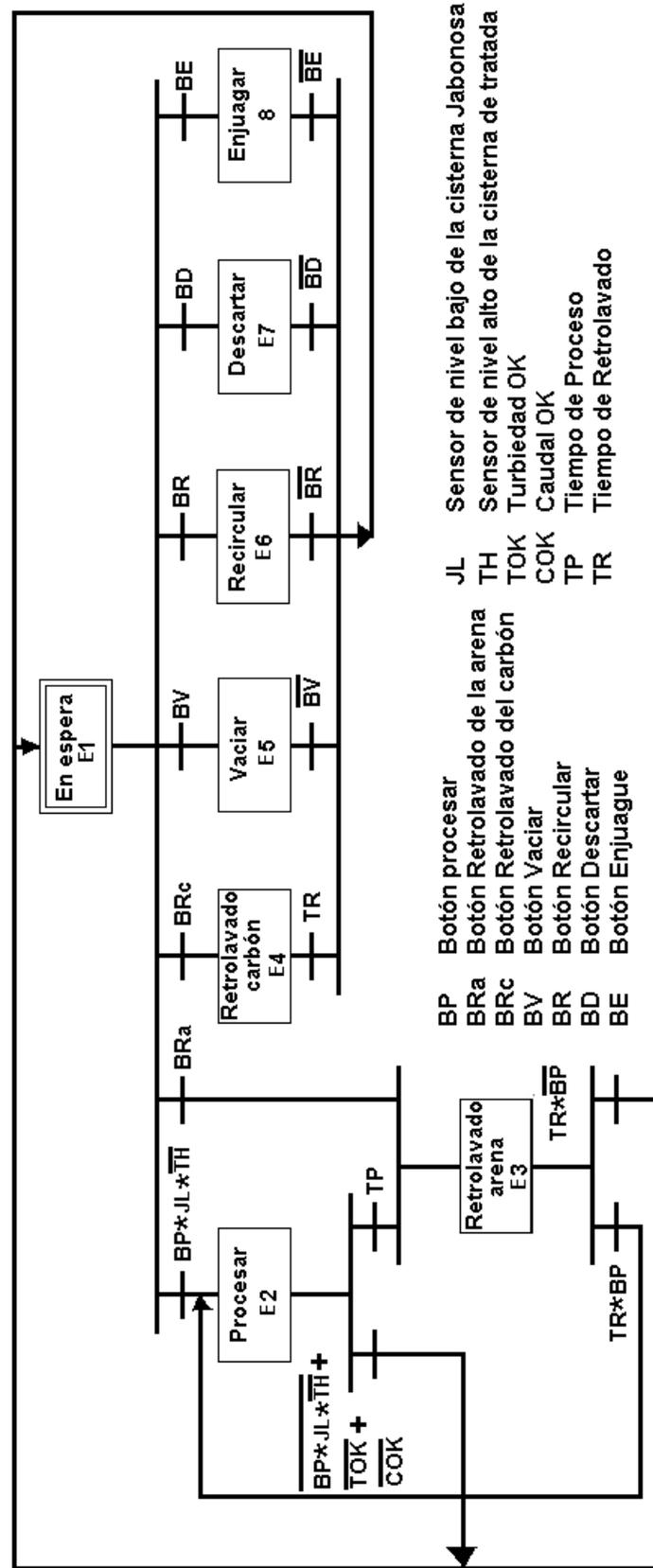
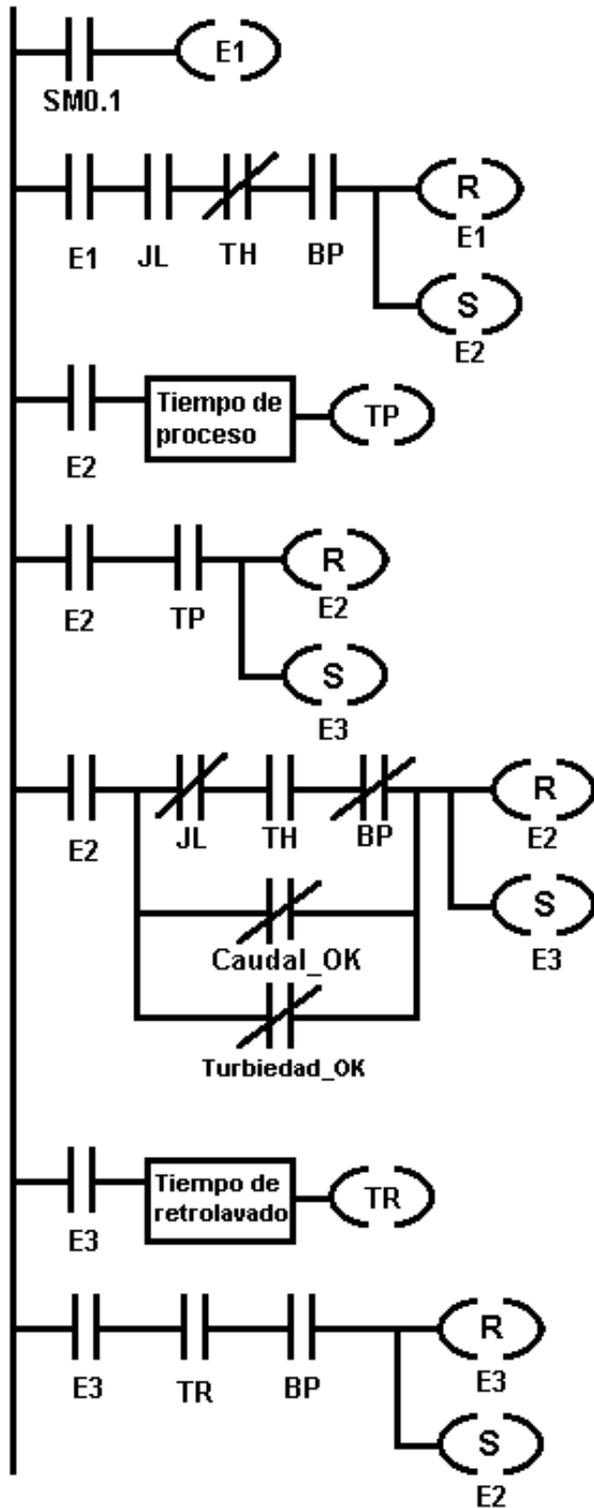


Figura 37. Diagrama Grafcet del sistema

Este diagrama se traduce en un diagrama de escaleras el cual define el funcionamiento detallado del sistema. A continuación se aclara el significado de los símbolos usados.

SÍMBOLO.	SIGNIFICADO.
E1.	Estado en espera.
E2	Procesando el agua.
E3	Retrolavado filtro de arena.
E4	Retrolavado filtro de carbón.
E5	Vaciando los filtros.
E6	Recirculando el agua
E7	Descartando agua
E8	Enjuagando filtro de arena
S	Set. Establece el valor del registro a 1 lógico.
R	Reset. Restablece el valor del registro a 0 lógico.
SM0.1:	Marca especial también llamada bit del sistema. Es un registro interno del PLC y es útil para simplificar el programa. Este bit se activa únicamente en el primer ciclo del programa. Sirve, por ejemplo, para llamar a rutinas de inicialización.
TP	Tiempo de proceso. Indica que se ha procesado agua continuamente durante 3 horas.
TR	Tiempo de retrolavado. Indica que se ha concluido la limpieza del filtro que dura 5 minutos.
Turbiedad_OK	Salida del turbidímetro. Si la turbiedad es menor a un nivel establecido (comúnmente 1 NTU )se encuentra en nivel lógico alto.
Caudal_OK	Salida del caudalímetro. Si el caudal es menor a un nivel establecido (comúnmente 8 m <sup>3</sup> /s) se encuentra en nivel lógico alto.

Tabla 7. Definición de los símbolos del programa.



Al iniciar el programa se pasa al estado de espera E1.

Al estar en espera sí hay agua en el tanque de agua jabonosa y no se ha llenado el de agua tratada, al presionar el interruptor de iniciar proceso BP, se pasará al estado procesando E2.

Al pasar al estado E2 Procesando, se inicia el contador TP.

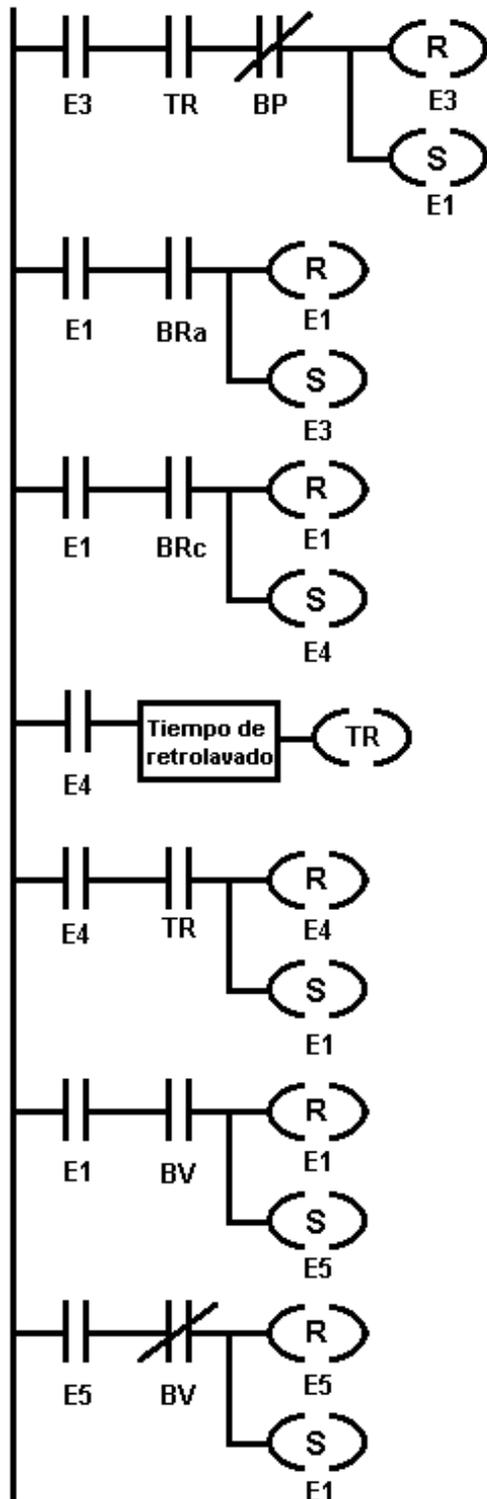
En estado procesando E2, si han transcurrido las 3 horas indicadas por TP, se procederá a limpiar el filtro de arena.

En estado procesando E2 si se desactiva el interruptor BP de procesar o la turbiedad o el caudal se salen de nivel, se proceda a hacer limpieza del filtro de arena.

Al iniciar la limpieza del filtro de arena, se inicia el contador TL que establece el tiempo que dura la limpieza 5 minutos.

Al terminar el tiempo de limpieza si el interruptor de procesar sigue activado se regresará a procesar E2.

Figura 38. Diagrama de escaleras.



Al terminar el tiempo de limpieza si el interruptor de procesar no está activado se pasará al estado de espera E1

Si estando en espera se presiona el botón de retrolavado del filtro de arena, se procede a realizar el retrolavado en el estado E3.

Si estando en espera se presiona el botón de retrolavado del filtro de carbón, se procede a realizar el retrolavado en el estado E4.

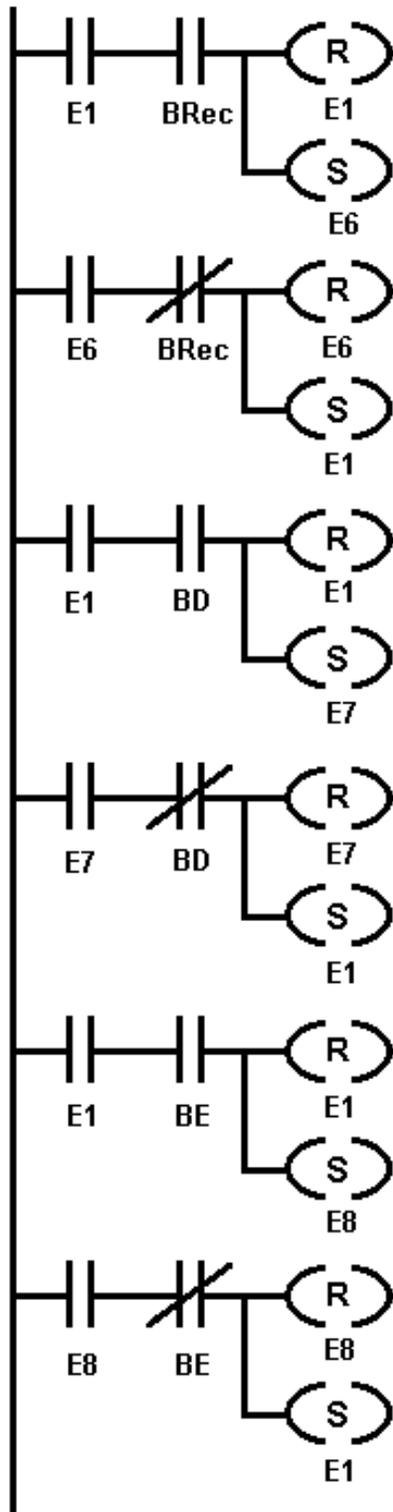
Al iniciar la limpieza del filtro de carbón se inicia el contador de tiempo TR de 5 minutos.

Al terminar el retrolavado del filtro de carbón se regresa al estado de espera E1

Si estando este activado el interruptor de vaciar los filtros, se procede a realizar el vaciado en el estado E5.

Mientras el interruptor este activado, se seguirán vaciando los filtros, si se desactiva se regresará al estado de espera.

Figura 39. Diagrama de escaleras.



Si estando en estado de espera E1 se presiona el botón de recirculación, se pasara a recircular el agua en el estado E6

Se seguirá recirculando mientras el interruptor de recircular BRec se encuentre cerrado, al abrirse se pasa a la espera.

Si estando en estado de espera, se cierra el interruptor de descartar, se procederá a descartar el agua almacenada.

Si se abre el interruptor de descarte, se deja de descartar el agua y se para a la espera.

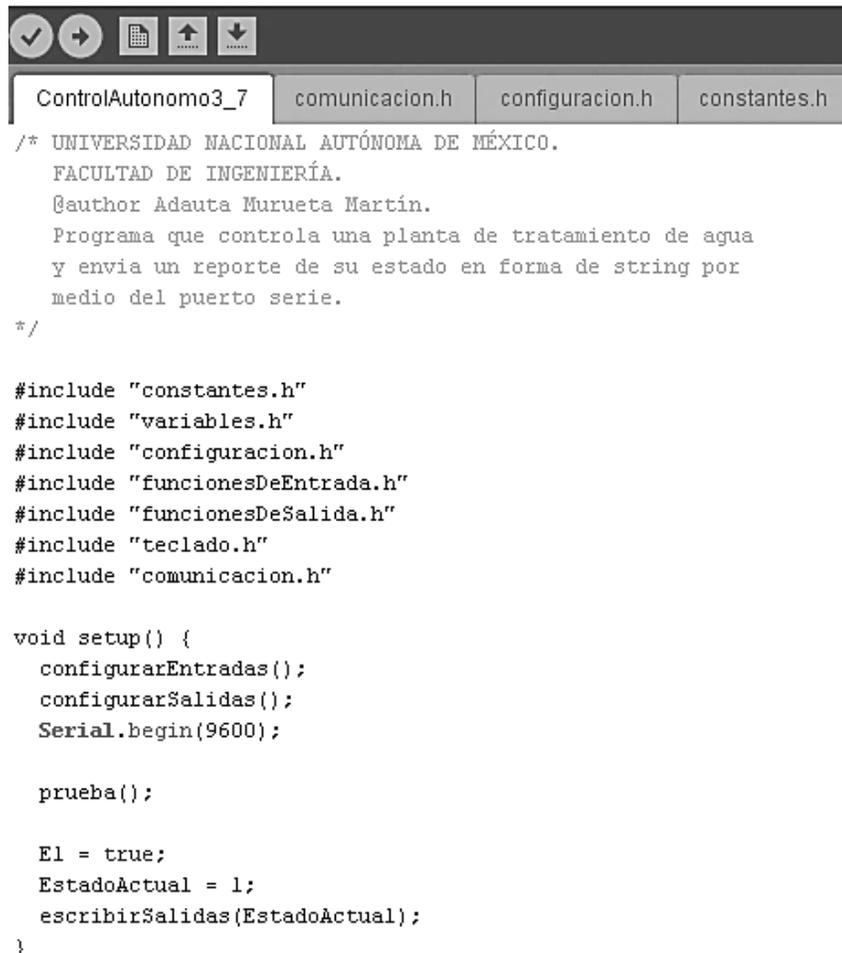
Si estando en espera se cierra el interruptor de enjuague se realiza el enjuague del filtro de arena E8

Al abrirse el interruptor de enjuague se suspende el enjuague y se pasa a la esperara.

Figura 40. Diagrama de escaleras.

Finalmente se convierte el diagrama de escaleras a código estructurado, para esto nos valemos de las marcas E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7 y E8 que representan los estados del sistema.

El código de programación se realizó en la IDE de Arduino, los códigos fuente se encuentran al final del reporte. Cabe destacar que el programa se dividió en varios archivos para simplificar su lectura.



```
ControlAutonomo3_7  comunicacion.h  configuracion.h  constantes.h

/* UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.
   FACULTAD DE INGENIERÍA.
   @author Adauta Murueta Martín.
   Programa que controla una planta de tratamiento de agua
   y envía un reporte de su estado en forma de string por
   medio del puerto serie.
*/

#include "constantes.h"
#include "variables.h"
#include "configuracion.h"
#include "funcionesDeEntrada.h"
#include "funcionesDeSalida.h"
#include "teclado.h"
#include "comunicacion.h"

void setup() {
  configurarEntradas();
  configurarSalidas();
  Serial.begin(9600);

  prueba();

  E1 = true;
  EstadoActual = 1;
  escribirSalidas(EstadoActual);
}
```

Figura 41. Programación en el IDE Arduino

## 12.2 METODOLOGÍA DE PROGRAMACIÓN EN LABVIEW

Se realizó el modelo de la planta en LabVIEW agregando los controles e indicadores necesarios para semejar el funcionamiento real de la planta, la funcionalidad del sistema se implementó con bloques comunes de LabVIEW, implementando una arquitectura del tipo máquina de estados. A continuación se muestra el diagrama de estados del sistema.

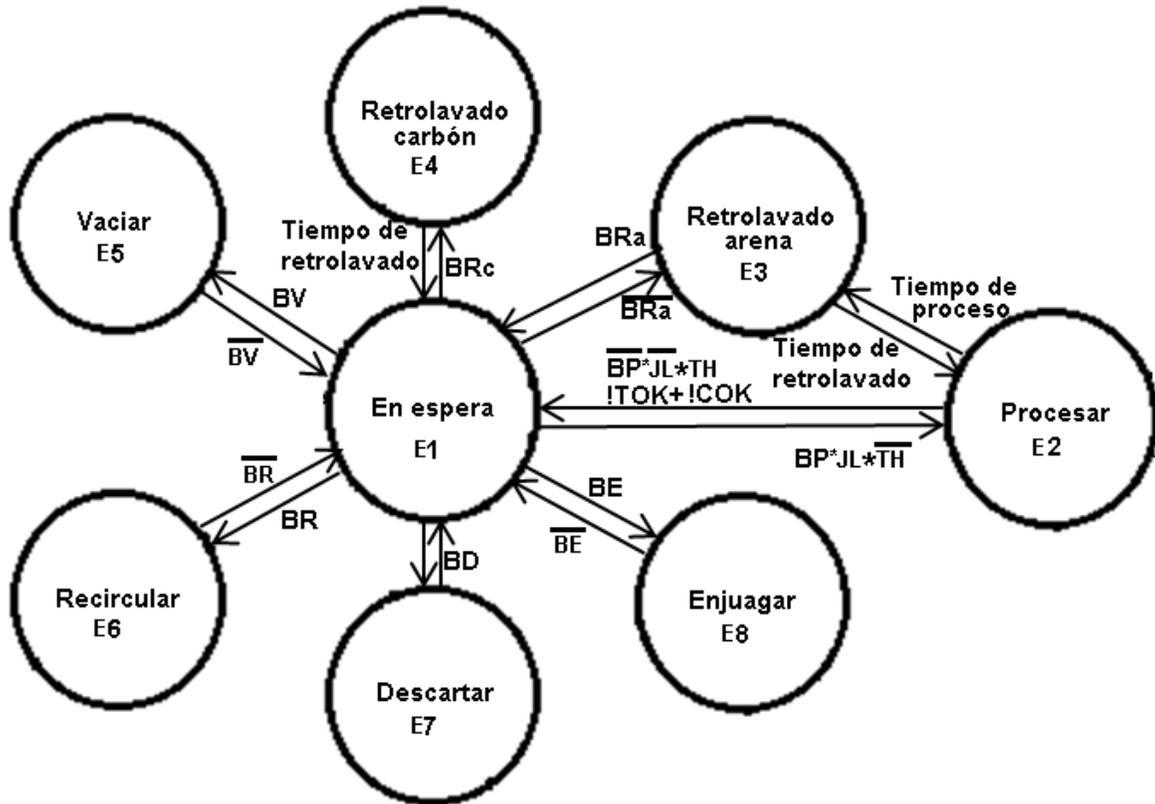
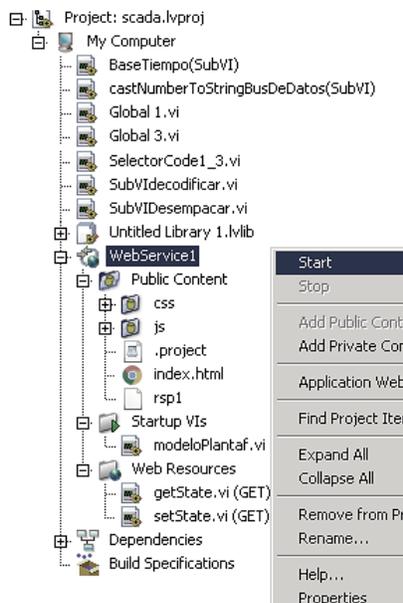


Figura 42. Diagrama de estados del sistema.

A partir de este diagrama de estados se realiza el programa con bloques de LabVIEW con base en una estructura Case. El diagrama completo se encuentra en el anexo de este informe.



El sistema también implementa una simulación de la planta para lo cual se usaron funciones incluidas en el módulo DSC (Datalogging and Supervisory Control) de LabView el cual permite hacer simulaciones más realistas y darle a LabView las funciones propias de un sistema SCADA. LabView incluye un programa servidor el cual hace funcionar el servicio web. Se usaron los bloques de comunicación serie para comunicarse con la placa Arduino. Se hicieron pruebas en el programa ajustando detalles como la velocidad de la simulación y la comunicación serial.

Figura 43. Vista del proyecto de LabVIEW

## 12.3 METODOLOGÍA DE PROGRAMACIÓN WEB

La interfaz HMI del servicio web se construyó con el software Aptana Studio. Esta interfaz consta de tres archivos.

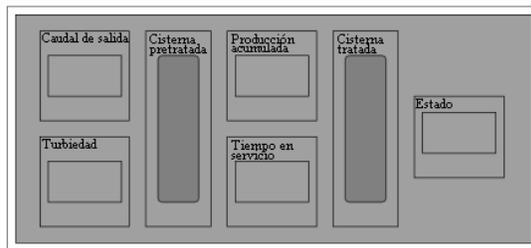
- Una descripción en lenguaje HTML que implementa propiamente la interfaz HMI como si fuera una página Web convencional, lo cual permite que cualquier dispositivo con un navegador web pueda visualizarla.
- Un archivo JavaScript que da la funcionalidad a la interfaz HMI e implementa el servicio web del lado del cliente.
- Un archivo de hoja de estilos, el cual le da una apariencia más amigable a la interfaz.

Name	Status
<input type="checkbox"/> setState?nuevo=0	200
<input type="checkbox"/> setState?nuevo=4	200
<input type="checkbox"/> getState	200

Figura 44. Código de respuesta del navegador al ejecutar la HMI.

La apariencia básica de la aplicación es la siguiente.

### PANEL DE CONTROL ONLINE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA.



STOP PROCESAR  
 RETROALIMADO FILTRO DE CARBÓN  
 RETROALIMADO FILTRO DE ARENA  
 ENJUAGAR VACIAR  
 RECIRCULAR DESCARTAR  
 ACTUALIZAR

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

Adauta Muneeta Martín.

Tue Oct 02 2018 16:02:35 GMT-0500 (hora de verano central)

Figura 45. Panel frontal de la aplicación Web.

Estos tres archivos se pueden leer en los Anexos. Se hicieron modificaciones hasta tener una apariencia manejable de la interfaz.

Se comprobó el funcionamiento del servicio web, para lo cual hay que iniciar el servicio web desde el explorador de proyectos de LabVIEW, abrir un navegador, con el navegador acceder al servidor local que se encuentra en la dirección:

<http://127.0.0.1:8001/WebService1/index.html> usar el servicio web por medio de los métodos getState y setState , se verifico que al dar click en los controles del HMI se actualizan los cambios en la simulación de LabVIEW.



Figura 46. Panel frontal de la aplicación Web.

Por último se comprobó que las tres partes funcionaran correctamente al mismo tiempo. Al dar click en los botones de la HMI se puede cambiar las salidas del microcontrolador observables con Leds indicadores. Y la HMI refleja correctamente el estado de la planta enviado desde el microcontrolador.

### 13 PARTICIPACIÓN PROFESIONAL.

Para este proyecto realicé las siguientes tareas:

- Analicé el funcionamiento de la planta de tratamiento real.
- Implemente un modelo de la planta en el software de instrumentación virtual.
- Diseñé, codifiqué y depuré algoritmos de control para un microcontrolador.
- Implemente una interfaz HMI usando herramientas informáticas.

Dentro de esta empresa he tenido la oportunidad de conocer el campo del tratamiento de aguas. Experimenté dentro del campo de la automatización, complementando los

conocimientos adquiridos durante la carrera. En particular realice, entre otras, las siguientes tareas:

- Operación de una planta de tratamiento de aguas grises.
- Programación de PLC para el control de cárcamos de bombeo.
- Mantenimiento a bombas dosificadoras.
- Mantenimiento y configuración de un turbidímetro.
- Mantenimiento de solenoides de electroválvulas.
- Instalación de un sistema de aireación.
- Instalación de bio-película para tratamiento de aguas.

En el anexo se puede encontrar la evidencia fotográfica de las actividades listadas.

## 14 RESULTADOS

El planteamiento de una idea como la planteada, dentro de una empresa en crecimiento, tiene como objetivo aumentar las posibilidades de actuación, haciendo que la organización cambie su rumbo hacia la automatización de alto nivel. Tal cambio conlleva un largo camino lleno de múltiples decisiones.

Con respecto a la implementación de un sistema SCADA, se logró lo siguiente:

- Se pudo realizar un sistema SCADA en LabVIEW que incluye un modelo de la planta.
- Se logró que el sistema controlara el funcionamiento automático del proceso, incluyendo la implementación de tareas pre-programadas o “recetas”.
- Se comunicó el SCADA con una terminal remota implementada con un microcontrolador.

Con respecto a la plataforma de desarrollo con microcontrolador, se logró:

- Implementar un algoritmo de control dentro del microcontrolador que puede funcionar como RTU y controlar el proceso independientemente.
- Programar la tarjeta de desarrollo como un dispositivo de adquisición que comunica a la planta con el SCADA en una PC.



Figura 47. Prototipo de RTU con placa Arduino.

Con respecto a la interfaz HMI se pudo:

- Implementar una interfaz HMI que funciona en múltiples dispositivos.
- Implementar un servicio web que dota al sistema SCADA de comunicación vía Internet para realizar la supervisión y control a distancia.

Después de múltiples ajustes se pudo conjuntar las tres partes del sistema obteniéndose un resultado satisfactorio. Con lo cual ahora se cuenta con una alternativa económica al control con PLC que se emplea actualmente.

## 15 RECOMENDACIONES.

La planta de tratamiento analizada presenta múltiples oportunidades de mejora. Actualmente se presentan los siguientes problemas.

- Falta de sensores de PH y Cloro cuyo remplazo resulta costoso.
- Falta de electroválvulas que se dañaron y no se han reparado.
- Necesidad de una red de Internet lo suficientemente robusta para asegurar la comunicación durante largos periodos.
- Dependencia de un PLC obsoleto que ya no se fabrica y no cuenta con módulo de comunicación.

Antes de implementar un sistema como el que se propuso se deben tomar algunas acciones.

- Reparación de los actuadores y sensores faltantes.
- Mejora del proceso agregando etapas de tratamiento como un sedimentador, lo cual haría cambiar el algoritmo de control.

Respecto al proyecto, se pueden realizar las siguientes mejoras:

- Sustitución del software de instrumentación virtual por un programa propio, escrito en algún lenguaje abierto de alto nivel como Java o C.
- Escalamiento del programa para controlar múltiples plantas separadas geográficamente.
- Diseño de otros elementos como interfaces de entrada y salida para el microcontrolador, para darle una funcionalidad similar a la de un verdadero PLC.
- Implementación de comunicación inalámbrica entre el microcontrolador y la PC.

La empresa maneja varias plantas del mismo tipo, con un sistema como el propuesto se puede disminuir la cantidad de labor humano necesario en cada una, posiblemente repartiendo el labor de un mismo operador entre dos plantas, ya que a través de la conexión a Internet se puede manejar una de las plantas a distancia mientras el operador se encuentra en otra. De esta forma se puede aumentar la productividad y mantener una plantilla laboral.

## 16 CONCLUSIONES.

“En México el agua es reconocida como un asunto estratégico y de seguridad nacional; se ha convertido en elemento central de las políticas ambientales y económicas, así como un factor clave del desarrollo social. Lograr que todos los cuerpos de agua superficiales y subterráneos del país recuperen su salud, aporten caudales para satisfacer las necesidades de la población y contribuyan al crecimiento económico y calidad de vida de la población; requiere que se mantengan limpios, sin descargas de aguas residuales urbanas, industriales y agrícolas que los contaminen y afecten más allá de su capacidad natural de asimilación y dilución.”[7]

Al conocer el campo del tratamiento de aguas, se logra ver la importancia que tiene esta tecnología para nuestra economía y para la prosperidad de las futuras generaciones en todo el mundo. Hay que notar que el tratamiento implica un costo en tecnología y energía el cual debe ser ponderado, afortunadamente existen procesos de relativamente sencillos y de probada eficacia que resultan eficientes y rentables. Muchas áreas de la ciencia y la ingeniería intervienen en su desarrollo, actualmente es un campo muy activo.

Con base en la experiencia que he tenido en el campo del tratamiento de aguas, analicé las necesidades de control que se presentaron y diseñe este sistema. La motivación principal fue aumentar la productividad del proceso en un tema tan importante como es el reciclado de agua.

Existen soluciones de automatización muy completas proporcionadas por empresas especializadas pero todas resultan muy costosas, son dependientes de tecnologías cerradas, que no permiten su modificación por parte del usuario y son en su totalidad importadas. Por lo cual en muchos casos no resultan adecuadas a los materiales y recursos disponibles en el país.

Este trabajo se plantea como una pequeña mejora a la tarea que realiza la empresa, ciertamente se ha hecho con toda la voluntad de ser una contribución a la mejora de las perspectivas ambientales y económicas que enfrentamos.

No podemos eliminar nuestra crítica dependencia al agua pero si podemos eliminar el derroche y el mal uso que hacemos; Podemos administrar racionalmente la limitada cantidad del recurso hídrico con el que contamos. Por lo tanto es necesario conocer y promover las tecnologías que nos permitan disminuir el consumo que hacemos.

## 17 REFERENCIAS.

- [1] Arduino.cc. 2016. Mapping. <https://www.arduino.cc/en/Hacking/PinMapping2560>
- [2] Arduino.cc. 2019. Placa Mega. <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMegaADK>
- [3] Atmel Corporation. 2011. Hoja de datos 2549NS–AVR–05/11.
- [4] Aquilino Rodríguez. 2007. Sistemas SCADA Segunda edición. Ediciones Marcombo. Barcelona, España.
- [5] Banco Interamericano de Desarrollo. 2013. Tratamiento de aguas residuales en México. Nota técnica IBD-TN-521
- [6] CEIM, José de la Sota. 2006. Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Madrid, España.
- [7] CONAGUA. 2000. Modernización del sistema de filtración de la planta potabilizadora Los Berros.
- [8] CONAGUA. 2007. Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento.
- [9] CONAGUA. 2014. Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación. DF. México.
- [10] CONAGUA, SEMARNAT. 2007. Programa Nacional Hídrico 2007-2012. DF. México.
- [11] CONAGUA, SEMARNAT. 2014. Programa Nacional Hídrico 2014-2018. DF. México.
- [12] CONAGUA, SEMARNAT. 2015. Numeragua México. DF.
- [13] CONAGUA, SEMARNAT. 2016. Estadísticas del Agua en México Edición 2016. DF. México.
- [14] Departamento de agricultura EE.UU. 2001. Filtro percolador. Sistema Universitario de Texas.
- [15] FAO, 2011. El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- [16] INEGI. 2017 Comunicado de prensa 127. Aguascalientes, México.
- [17] Metcalf & Eddy. 1985. Ingeniería Sanitaria Segunda edición. Editorial Labor S.A.
- [18] ODIS Irrigation Equipment LTD. 2004. Manual de Operación Serie 4000.
- [19] OMS, EPA. 2002. Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua. Lima, Perú.

- [20] OPS, CEPIS. 2002. Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua: manual de capacitación para operadores. Lima, Perú.
- [21] Schneider Electric España SA. 1999. Telesquemario Tecnologías de control industrial.
- [22] SEDAPAL. Andía Cárdenas Yolanda. 2000. Coagulación y floculación. Lima, Perú.
- [23] BERMAD. Gobierno de España. Válvulas hidráulicas en proyectos de riego.
- [24] ACCIONA. 2018. EDAR Atotonilco. <https://www.accion-aqua.com/es/areas-de-actividad/proyectos/dc-de-plantas-de-tratamiento-de-agua/edar/atotonilco>
- [25] Barnes de México. 2018. Bombas para agua. Recuperado el 19 de Noviembre del 2018 <http://www.sideb.com.mx/pagina/galeria-imagenes-equipos-de-bombeo>
- [26] Fermí Vila. 2018. JavaScript Manual FV. [www.softdownload.com.ar](http://www.softdownload.com.ar)
- [27] Genteca. 2018. Flotante eléctrico. Recuperado el 19 de Noviembre del 2018 <http://genteca.com.ve/flotante-electrico.r.asp>
- [28] JUMAPAM 2016 <http://jumapam.gob.mx/2016/02/22/avanzan-trabajos-para-mejorar-eficiencia-de-planta-tratadora-el-creston/>
- [29] National Instruments. 2018. Manual de referencia. Recuperado el 1 de Septiembre del 2018 <http://www.ni.com/labview/labviewdsc/esa>
- [30] Thomas Publishing. 2018. Agitators. Recuperado el 19 de Noviembre del 2018 <https://news.thomasnet.com/companystory/chemineer-tm-top-entering-agitators-installed-at-severn-trent-water-s-wwtw-in-birmingham-uk-20027941>
- [31] Libros web. 2018. Tutorial CSS. [http://librosweb.es/css/capitulo\\_1](http://librosweb.es/css/capitulo_1)
- [32] Libros web. 2018. HTTP. [http://librosweb.es/symfony\\_2\\_x/capitulo\\_1/http\\_es\\_simple.html](http://librosweb.es/symfony_2_x/capitulo_1/http_es_simple.html)
- [33] Lola Cárdenas Luque. 2001. Tutorial JavaScript. <http://rinconprog.metropoli2000.com>
- [34] WET. 2017. Catalogo Online. <http://wet-corp.com/soluciones-quimicas.html>
- [35] Wonderware. 2000. HMI. <https://www.wonderware.com/es-es/hmi-scada>
- [36] W3 Consorcio. 2018. Tutorial HTML. <http://www.w3schools.com/html/default.asp>
- [37] W3 Consorcio. 2018. Referencia JS <http://www.w3schools.com/jsref/default.asp>
- [38] W3 Consorcio. 2018. jQuery. <https://www.w3schools.com/jquery/>
- [39] W3 Consorcio. 2018. JSON. [https://www.w3schools.com/js/js\\_json\\_html.asp](https://www.w3schools.com/js/js_json_html.asp)
- [40] W3 Consorcio. 2018. SVG. [http://www.w3schools.com/svg/svg\\_reference.asp](http://www.w3schools.com/svg/svg_reference.asp)

## 18 GLOSARIO.

**ACEPTOR DE ELECTRONES.** Un aceptor de electrones es una sustancia química capaz de recibir electrones transferidos desde otro compuesto. Por definición un aceptor de electrones es un agente oxidante. Ejemplos de aceptores de electrones son oxígeno, nitrato, hierro, manganeso, sulfato o dióxido de carbono

**AGUAS GRISES.** Son las que provienen del uso doméstico: del lavado de utensilios y ropa así como el baño de las personas. Se distinguen de las cloacales contaminadas con desechos del inodoro, llamadas aguas negras, porque no contienen bacterias fecales. Las aguas grises son importantes, porque pueden ser de utilidad en el regadío ecológico.

**AGUA RENOVABLE.** Aquella que es factible de explotar de manera sustentable en una región. Se pondera después de estudios especializados que miden la cantidad de agua consumida y la que se repone de manera natural por el ecosistema.

**AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES.** Son aquellas procedentes de zonas residenciales, instalaciones públicas o de recreo e instalaciones comerciales o similares. El agua residual municipal fresca y recién generada presenta un color gris y olor a queroseno, pero al pasar el tiempo de ser generada se vuelve séptico y pestífero, con un característico color negro.

**AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES.** Son aquellas generadas por la industria, lo cual significa que en muchas ocasiones deben ser tratadas por las mismas fuentes que las generan antes de poder ser descargadas al alcantarillado municipal, esto debido a la posible presencia de metales pesados o compuestos tóxicos y peligrosos, como fenoles y compuestos orgánicos que no pueden ser removidos mediante los tratamientos convencionales.

**BENTONITA.** Es una arcilla de grano muy fino (coloidal) que contiene hierro.

**BOOTLOADER.** Pequeño programa que ha sido guardado previamente en una parte especial de memoria del microcontrolador y que permite cargar código sin necesidad de hardware adicional. El bootloader sólo está activo unos segundos cuando se resetea el microcontrolador, espera a que se mande un nuevo programa por el puerto serie, y es guardado en la memoria FLASH.

**DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO DBO.** Cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la descomposición metabólica de la materia orgánica biodegradable.

**DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO DQO.** Cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia total del agua residual, incluyendo la materia biodegradable y la no biodegradable.

**ELECTROVÁLVULA.** Válvula electromecánica que controla el flujo de un fluido a través de un conducto o tubería por medio de una corriente eléctrica aplicada a una bobina solenoide que abre o cierra el conducto por medio de un diafragma.

**FILTRO PERCOLADOR.** Es una cama de grava o algún medio plástico sobre el cual se rocían aguas negras pre-tratadas. En este filtro los microorganismos se pegan al medio del lecho y forman una capa biológica. A medida que las aguas negras se “percolan” por el medio, los microorganismos digieren y eliminan los contaminantes biodegradables.

**FLASH.** Memoria de semiconductor construida con compuertas NAND y NOR y que se basa en la memoria EEPROM.

**FLÓCULOS.** Partículas formadas por la agregación de moléculas, resultados del proceso de coagulación-floculación. Coágulo.

**HIDROCICLÓN.** Ciclón o desarenador. Dispositivo para la separación de partículas suspendidas en un líquido basado en la fuerza centrífuga.

**INFLUENTE.** Caudal de agua que ingresa a la primera unidad en una planta de tratamiento.

**INTERFAZ HMI.** La Interfaz Hombre Máquina. Es la interfaz entre el proceso y los operadores, básicamente es el software y el panel de control con el cual los operadores y supervisores coordinan y controlan los procesos industriales en la planta.

**JSON.** JavaScript Object Notation. Notación de objeto de JavaScript. Es una forma sencilla de representar objetos usando una estructura de texto, se usa para el intercambio de información entre programas y páginas web por su ligereza y flexibilidad.

**LAGUNAJE.** Disposición de las aguas servidas en depresiones naturales o artificiales expresamente construidas para este fin, es un procedimiento eficiente para depurar las aguas usadas, donde se usa una variedad de métodos naturales.

**LODOS ACTIVADOS.** Tecnología de depuración convencional que consiste en poner en contacto, el agua residual, con flóculos biológicos previamente formados en un medio aerobio, donde la materia orgánica es degradada por las bacterias presentes.

**MONTMORILLONITA.** La montmorillonita es una arcilla de hidrosilicato de magnesio y aluminio. Es muy similar a la bentonita y se expande al contacto con agua.

**PH.** Potencial de hidrógeno. El pH es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. Indica la concentración de iones hidrógeno [H]<sup>+</sup> presentes en la solución.

**POLIELECTROLITOS.** Polímeros con peso molecular muy elevado. Molécula orgánica soluble en agua formada por pequeñas moléculas iónicas llamadas monómeros formando una cadena larga.

**PTAR.** Planta de tratamiento de aguas residuales.

**RISC.** Reduced instruction set computer. Computadoras con un conjunto de instrucciones reducido.

**SEPIOLITA.** Es un mineral formado por Manganeseo y silicato, de enorme porosidad. Se usa como absorbente industrial principalmente para la eliminación de derrames de hidrocarburos.

**SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES.** Es la cantidad total de sólidos disueltos en el agua. Se mide en partes por millón (ppm). Incluye a los sólidos sedimentables y a los que no sedimentan.

**ZEOLITA.** Las Zeolitas son minerales micro porosos de aluminio y silicato, con capacidad de hidratarse y deshidratarse de modo reversible. Cuarenta tipos conocidos de zeolitas naturales se encuentran en rocas sedimentarias, volcánicas y metamórficas.

## 19 ANEXOS.

### 19.1 CÓDIGO LabVIEW.

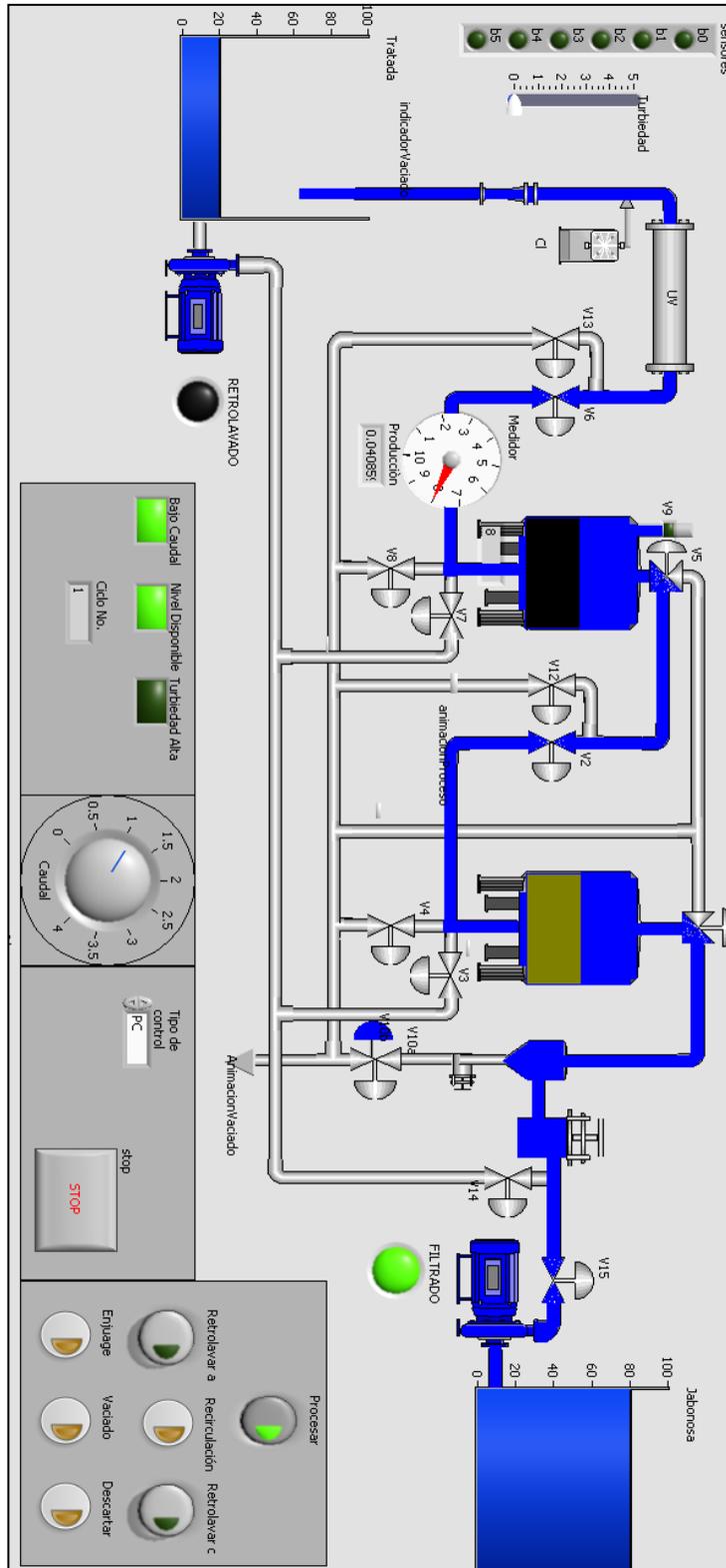


Figura 48. Panel frontal del sistema mostrando el proceso en funcionamiento.

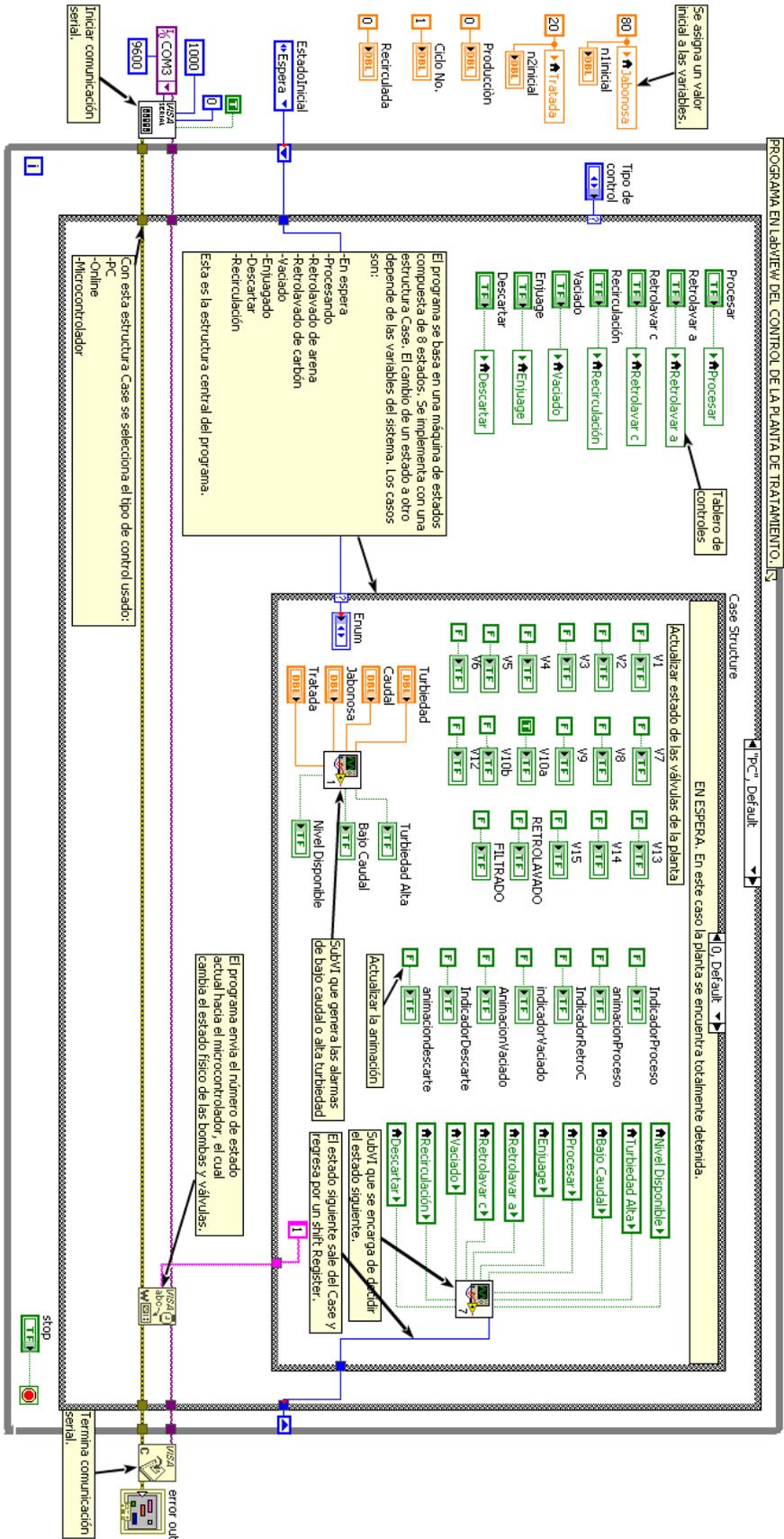


Figura 49. Diagrama a bloques del sistema

Implementación de una máquina de estados con una estructura Case.

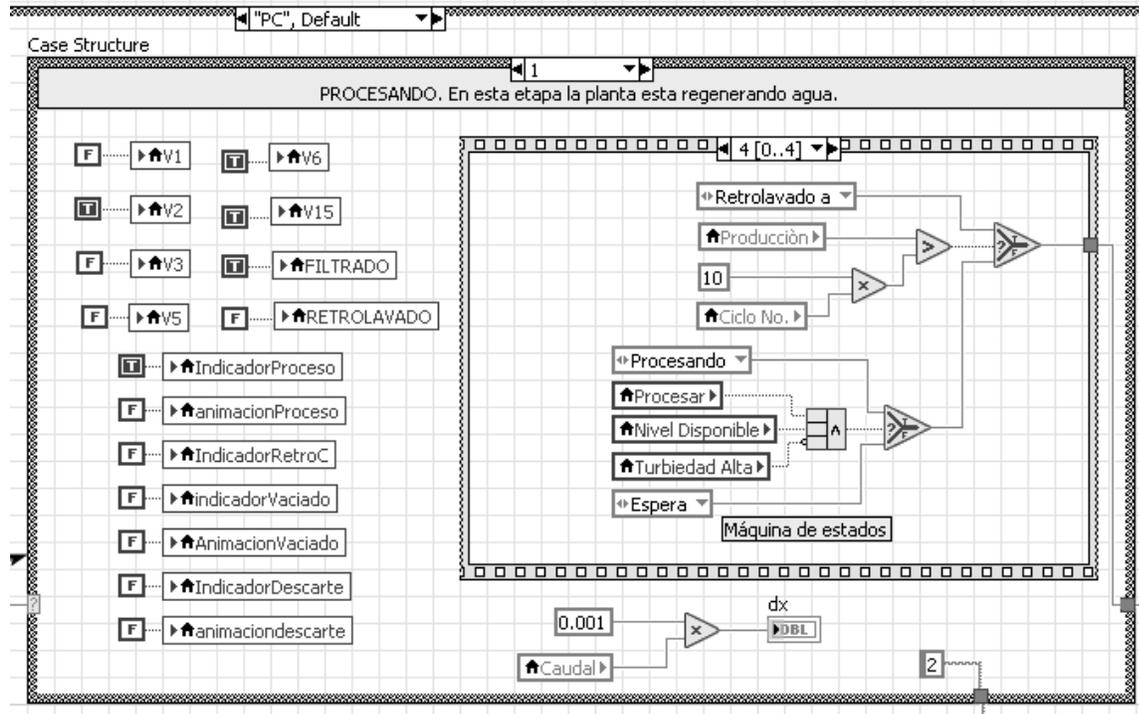


Figura 50. Caso 1 de la máquina de estados PROCESANDO.

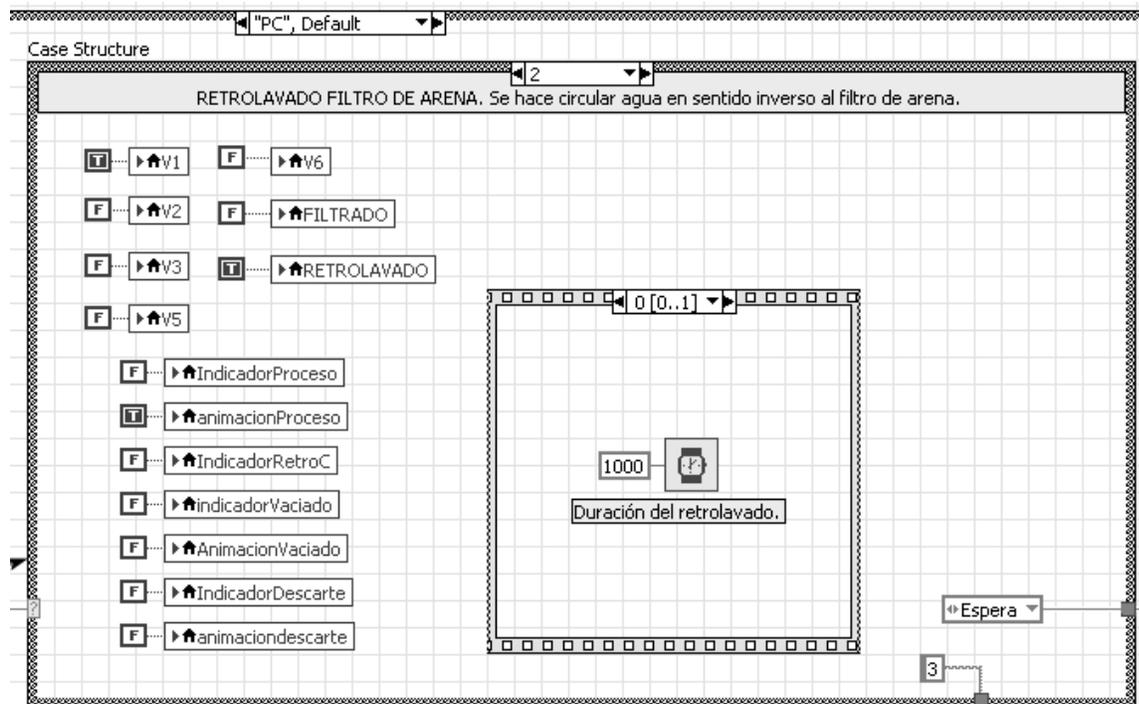


Figura 51. Caso 2 de la máquina de estados RETROLAVADO DE ARENA.

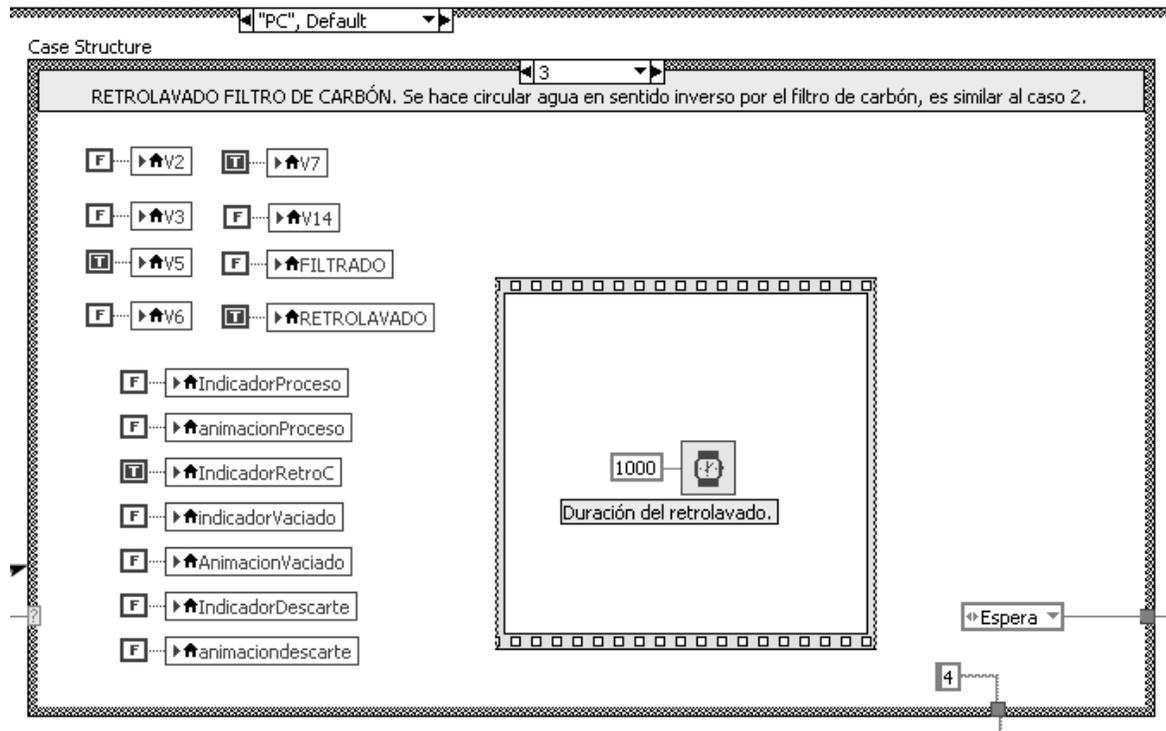


Figura 52. Caso 3 de la máquina de estados. RETROLAVADO ARENA.

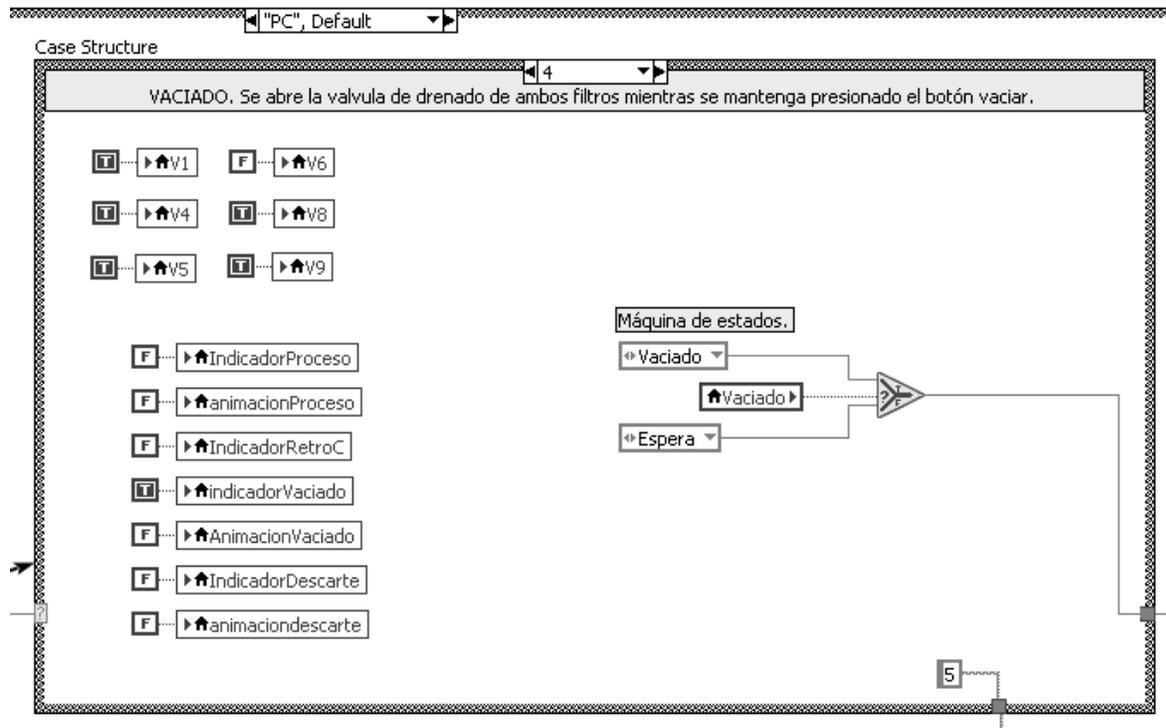


Figura 53. Caso 4 de la máquina de estados VACIADO.

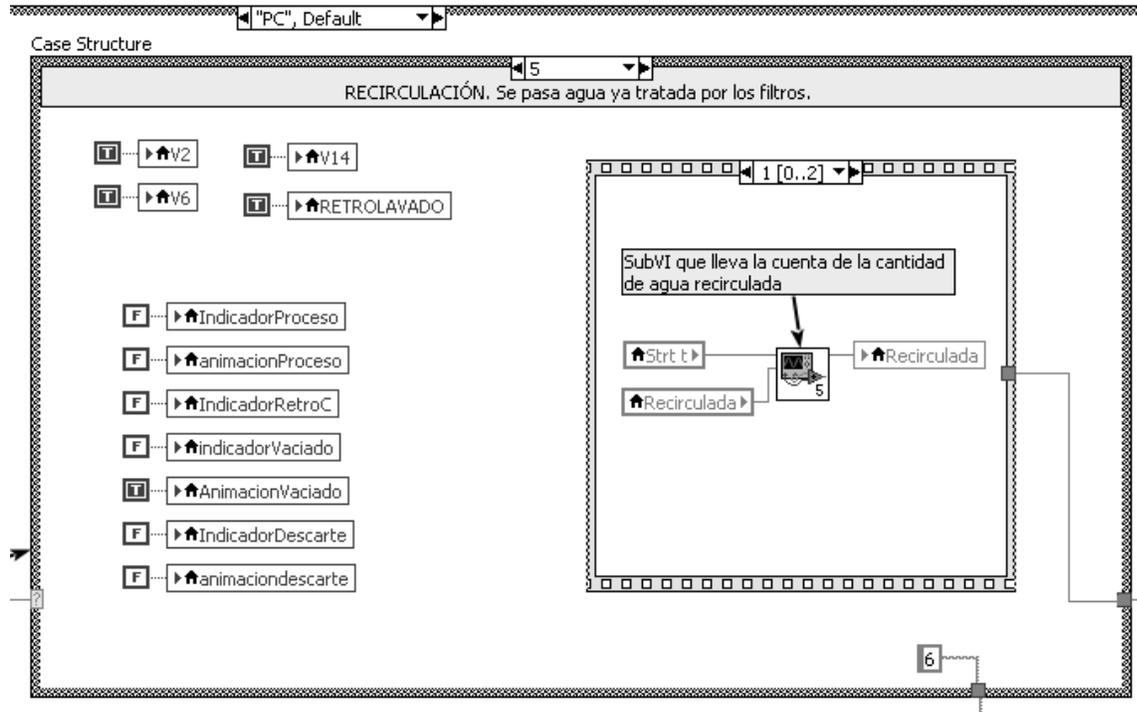


Figura 54. Caso 5 de la máquina de estados RECIRCULACIÓN.

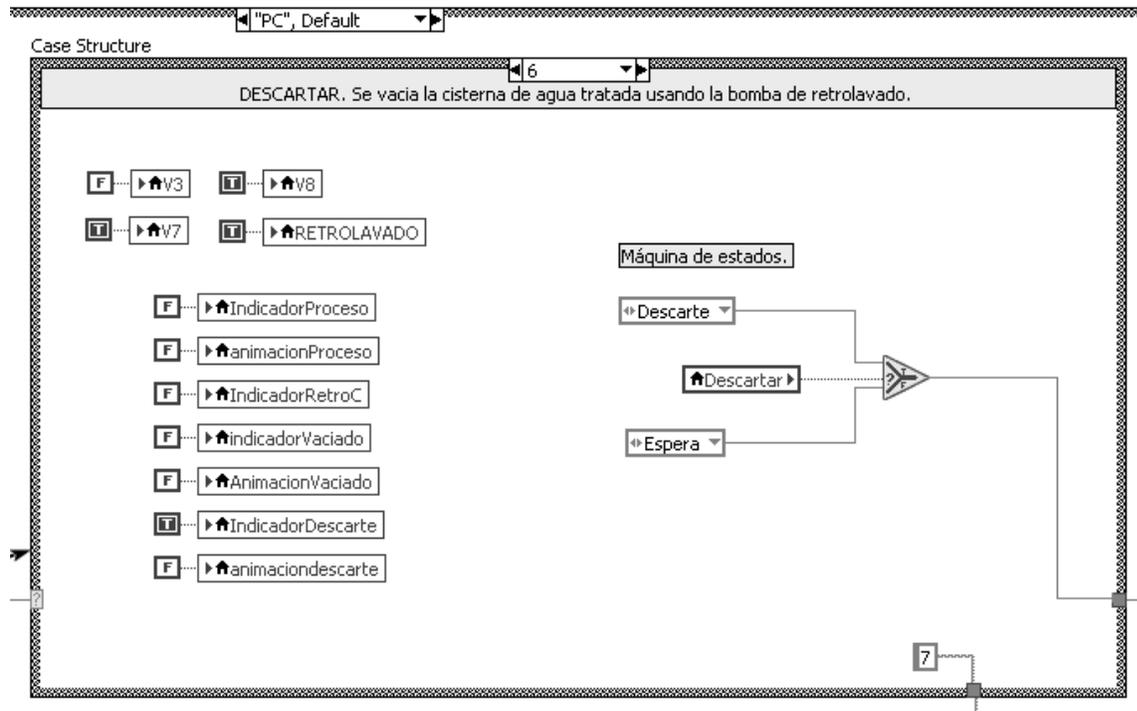


Figura 55. Caso 6 de la máquina de estados. DESCARTAR

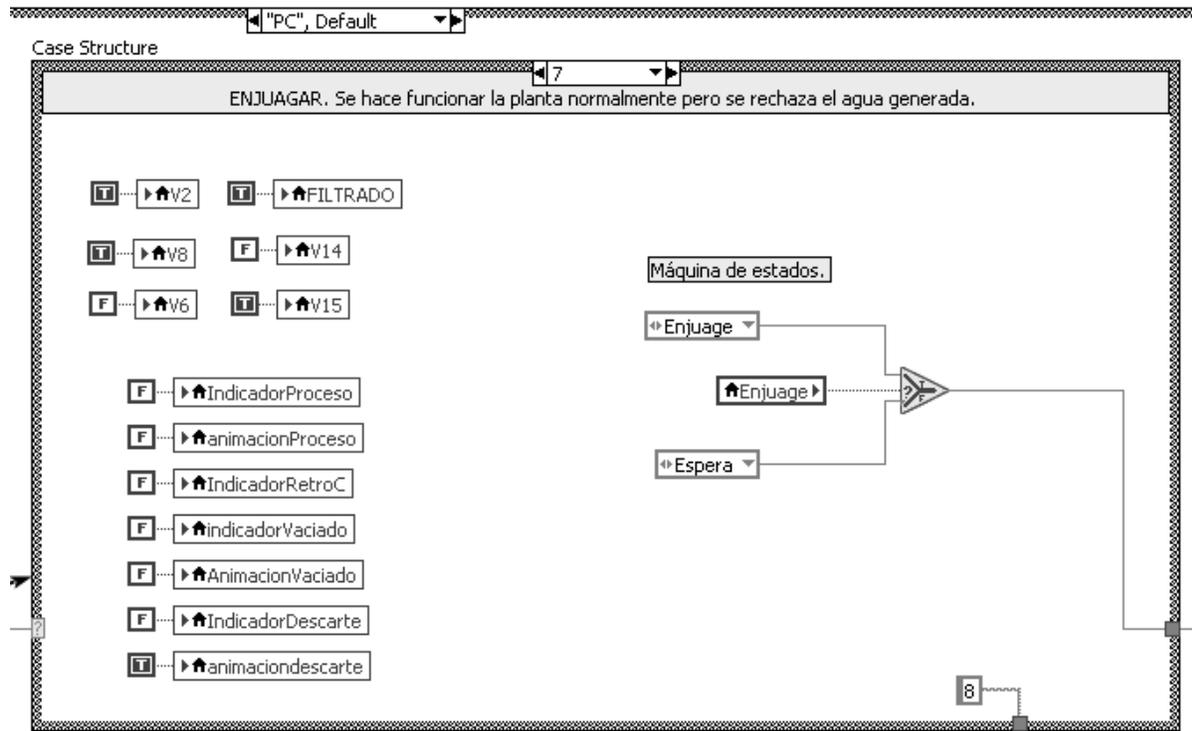


Figura 56. Caso 7 de la máquina de estados ENJUAGAR.

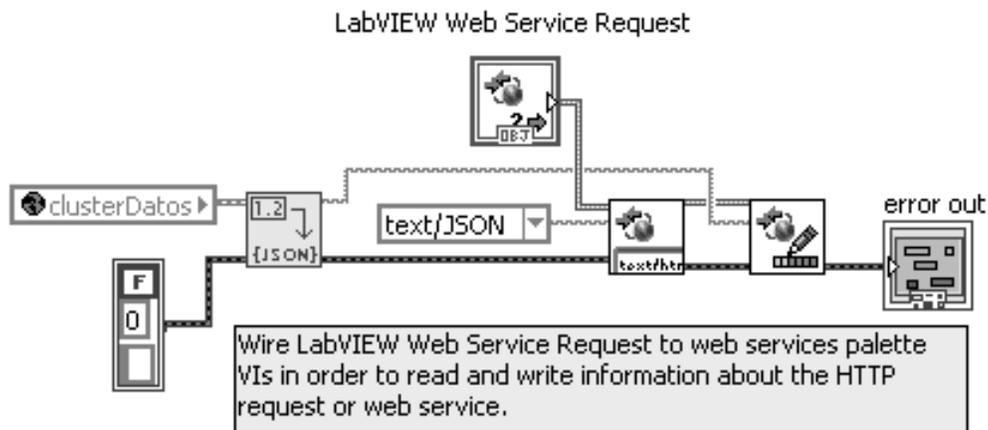


Figura 57. Servicio Web en LabVIEW.



Caso del control con microcontrolador.

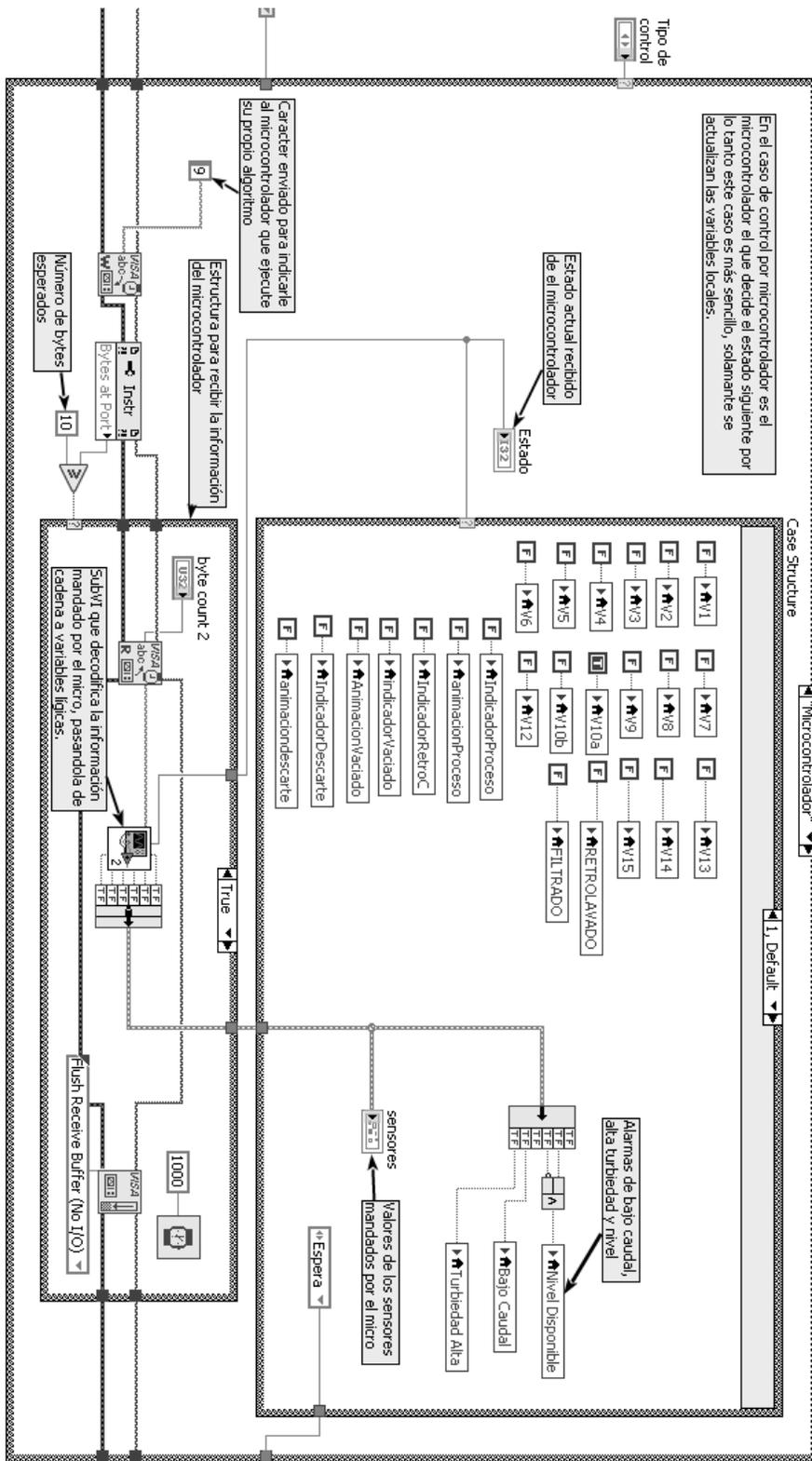


Figura 59. Modo de control online.

## 19.2 CÓDIGO ARDUINO.

```

/* UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.
FACULTAD DE INGENIERÍA.
Autor: Adata Murueta Martín.
Programa que controla una planta de tratamiento de agua
y envía un
reporte de su estado en forma de string por medio del
puerto serie.
*/

#include "constantes.h"
#include "variables.h"
#include "configuracion.h"
#include "funcionesDeEntrada.h"
#include "funcionesDeSalida.h"
#include "teclado.h"
#include "comunicacion.h"

void setup() {
  configurarEntradas();
  configurarSalidas();
  configurarTeclado();
  Serial.begin(9600);
  prueba();

  //Iniciar en estado 1 Espera.
  E1 = true;
  estadoActual = 1;
}

// El loop principal lee el estado mandado
//por el puerto serie y decide pasar al modo
//de control local o al modo de control
// remoto (desde la PC)

void loop() {
  //Si hay caracteres en el puerto serie se
  //realiza su lectura
  if (Serial.available() > 0) {
    inByte = Serial.read();
    //Si inByte es entre 1 y 8 ASCII 49 y 56
    if (inByte >= 49 && inByte <= 56) {
      controlDirecto();
    } else {
      controlLocal();
    }
  }
}

//En el modo de control directo
//simplemente se actualizan
//las entradas según el número
//de estado recibido.
void controlDirecto() {
  estadoActual = inByte - 48;
  escribirSalidas(estadoActual);
  leerSensores();
  reportarEstado("Remoto");
}

//En modo de control local se ejecuta el
//programa de escaleras del proceso.
void controlLocal() {

```

```

  leerTeclado();
  leerSensores();
  if (E1 && BP && JL &&!TH) {
    E1 = false;
    E2 = true;
    estadoActual = 2;
  }

  if (E2) {
  if (tic == 0) {
    tic = millis();
  } else {
    tac = millis();
    if ((tac - tic) > T1) {
      TProceso = true;
      tic = 0;
      tac = 0;
    }
  }
}

  if (E2 && TProceso) {
  E2 = false;
  E3 = true;
  TProceso = false;
  estadoActual = 3;
}

  if (E2 && (!JL&&TH) + !caudal_OK +
    !turbiedad_OK){
    E2 = false;
    E1 = true;
    estadoActual = 1;
  }

  if (E3) {
  if (tic2 == 0) {
    tic2 = millis();
  } else {
    tac2 = millis();
    if ((tac2 - tic2) > T2) {
      TLavado = true;
    }
  }
  tic2 = 0;
  tac2 = 0;
}

}

  if (E3 && TLavado && BP) {
    E3 = false;
    E2 = true;
    TLavado = false;
    estadoActual = 2;
  }

  if (E3 && TLavado && !BP) {
    E3 = false;
    E1 = true;
    TLavado = false;
    estadoActual = 1;
  }
}

```

```

if (E1 && BRa) {
    E3 = true;
    E1 = false;
    estadoActual = 3;
}

if (E1 && BRc) {
    E4 = true;
    E1 = false;
    estadoActual = 4;
}

if (E4) {
if (tic2 == 0) {
    tic2 = millis();
}
    tac2 = millis();
    if ((tac2 - tic2) > T2) {
        TLavado = true;
    }
    tic2 = 0;
    tac2 = 0;
}
}

if (E4 && TLavado) {
    E4 = false;
    E1 = true;
    TLavado = false;
    estadoActual = 1;
}

if (E1 && BV) {
    E1 = false;
    E5 = true;
    estadoActual = 5;
}

if (E5 && !BV) {
    E5 = false;
    E1 = true;
    estadoActual = 1;
}

if (E1 && BRec) {
    E6 = true;
    E1 = false;
    estadoActual = 6;
}

```

```

if (E6 && !BRec) {
    E6 = false;
    E1 = true;
    estadoActual = 1;
}

if (E1 && BD) {
    E1 = false;
    E7 = true;
    estadoActual = 7;
}

if (E7 && (!BD)) {
    E7 = false;
    E1 = true;
    estadoActual = 1;
}

if (E1 && BE) {
    E1 = false;
    E8 = true;
    estadoActual = 8;
}

if (E8 && !BE) {
    E8 = false;
    E1 = true;
    estadoActual = 1;
}

escribirSalidas(estadoActual);
reportarEstado("Local ");
}

//Función que enciende todas las salidas
//para verificar su funcionamiento
void prueba() {
    for (int i = 0; i <= 21; i++) {
        digitalWrite(V[i], false);
        delay(100);
        digitalWrite(V[i], true);
        delay(100);
    }
}

```

---

```
//CONSTANTES USADAS EN EL PROGRAMA, AQUÍ SE DEFINE LA UBICACIÓN DE LOS PINES DEL MCU
```

```
#ifndef constantes.h  
#define constantes.h
```

```
//Ubicación de los sensores de la planta
```

```
const int JabonosaH = 22;  
const int JabonosaL = 23;  
const int TratadaH = 24;  
const int TratadaL = 25;  
const int sensorCaudal = 26;  
const int sensorTurbiedad = 27;
```

```
//Ubicación de las salidas, válvulas del Sistema
```

```
const int V[] = {28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37,38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49};
```

```
//Ubicación de las salidas, bombas centrífugas
```

```
const int BFiltrado = 50;  
const int BRetrolavado = 51;
```

```
/*Duracion de los Timers*/
```

```
const unsigned long T1 = 1000;  
//Tiempo de proceso 10800000=3h  
const unsigned long T2 = 1000;  
//Tiempo de retrolavado 300000=5min  
#endif
```

---

```
//VARIABLES USADAS EN EL PROGRAMA
```

```
#ifndef variables.h  
#define variables.h
```

```
//Estados
```

```
boolean E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7, E8 = false;  
int estadoActual;
```

```
//Señales de entrada incluye teclado y sensores de la planta
```

```
boolean BP, BRa, BRc, BV, BRec, BD, BE, JH, JL, TH, TL = false;
```

```
//Estado de los Timers
```

```
boolean TLavado, TProceso = false;
```

```
//Variables auxiliares para los timers
```

```
unsigned long tic, tac = 0; unsigned long tic2, tac2 = 0;
```

```
//Señales de alarma
```

```
boolean caudal_OK;  
boolean turbiedad_OK;
```

```
//Estado mandado por LabVIEW
```

```
unsigned int inByte=0;
```

```
//String que se mandará por el puerto
```

```
byte codigo=0; String mensaje;
```

```
#endif
```

---

---

```
//ASIGNACIÓN DEL MODO DE OPERACIÓN DE LOS PINES
```

```
#ifndef configuracion.h
```

```
#define configuracion.h
```

```
void configurarSalidas(){
```

```
    //Configuración de los pines de
```

```
    // salida, válvulas y bombas
```

```
    pinMode(V[0], OUTPUT);
```

```
pinMode(V[1], OUTPUT);
```

```
    pinMode(V[2], OUTPUT);
```

```
    pinMode(V[3], OUTPUT);
```

```
    pinMode(V[4], OUTPUT);
```

```
    pinMode(V[5], OUTPUT);
```

```
    pinMode(V[6], OUTPUT);
```

```
    pinMode(V[7], OUTPUT);
```

```
    pinMode(V[8], OUTPUT);
```

```
    pinMode(V[9], OUTPUT);
```

```
    pinMode(V[10], OUTPUT);
```

```
    pinMode(V[11], OUTPUT);
```

```
    pinMode(V[12], OUTPUT);
```

```
    pinMode(V[13], OUTPUT);
```

```
    pinMode(V[14], OUTPUT);
```

```
pinMode(BFiltrado, OUTPUT);
```

```
    pinMode(BRetrolavado, OUTPUT);
```

```
}
```

```
void configurarEntradas(){
```

```
    //Configurar como entradas los pines para los
```

```
    //sensores
```

```
    pinMode(JabonosaH, INPUT);
```

```
    pinMode(JabonosaL, INPUT);
```

```
    pinMode(TratadaH, INPUT);
```

```
    pinMode(TratadaL, INPUT);
```

```
    pinMode(sensorCaudal, INPUT);
```

```
pinMode(sensorTurbiedad, INPUT);
```

```
}
```

```
#endif
```

---

```
//FUNCIONES DE LECTURA DE LOS SENSORES
```

```
#ifndef funcionesDeEntrada.h
```

```
#define funcionesDeEntrada.h
```

```
void leerSensores(){
```

```
    JH = digitalRead(JabonosaH);
```

```
    JL = digitalRead(JabonosaL);
```

```
    TH = digitalRead(TratadaH);
```

```
    TL = digitalRead(TratadaL);
```

```
    caudal_OK = digitalRead(sensorCaudal);
```

```
    turbiedad_OK = digitalRead(sensorTurbiedad);
```

```
}
```

```
#endif
```

---

```
//FUNCIONES DE SALIDA DEL SISTEMA.
#ifndef funcionesDeSalida.h
#define funcionesDeSalida.h

void enEspera() {
    digitalWrite(V[0], false);
    digitalWrite(V[1], true);
    digitalWrite(V[2], true);
    digitalWrite(V[3], false);
    digitalWrite(V[4], false);
    digitalWrite(V[5], true);
    digitalWrite(V[6], true);
    digitalWrite(V[7], false);
    digitalWrite(V[8], false);
    digitalWrite(V[9], true);
    digitalWrite(V[10], false);
    digitalWrite(V[11], true);
    digitalWrite(V[12], true);
    digitalWrite(V[13], true);
    digitalWrite(V[14], true);
    digitalWrite(BFiltrado, false);
    digitalWrite(BRetrolavado, false);
}

void procesando() {
    digitalWrite(V[0], false);
    digitalWrite(V[1], false);
    digitalWrite(V[2], true);
    digitalWrite(V[3], false);
    digitalWrite(V[4], false);
    digitalWrite(V[5], false);
    digitalWrite(V[6], false);
    digitalWrite(V[7], false);
    digitalWrite(V[8], false);
    digitalWrite(V[9], true);
    digitalWrite(V[10], false);
    digitalWrite(V[11], true);
    digitalWrite(V[12], true);
    digitalWrite(V[13], true);
    digitalWrite(V[14], true);
    digitalWrite(BFiltrado, true);
    digitalWrite(BRetrolavado, false);
}

void retrolavadoArena() {
    digitalWrite(V[0], true);
    digitalWrite(V[1], true);
    digitalWrite(V[2], false);
    digitalWrite(V[3], false);
    digitalWrite(V[4], false);
    digitalWrite(V[5], true);
    digitalWrite(V[6], true);
    digitalWrite(V[7], false);

    digitalWrite(V[8], false);
    digitalWrite(V[9], true);
    digitalWrite(V[10], false);
    digitalWrite(V[11], true);
    digitalWrite(V[12], true);
    digitalWrite(V[13], true);
    digitalWrite(V[14], true);
    digitalWrite(BFiltrado, false);
    digitalWrite(BRetrolavado, false);
}

    digitalWrite(V[8], false);
    digitalWrite(V[9], true);
    digitalWrite(V[10], false);
    digitalWrite(V[11], true);
    digitalWrite(V[12], true);
    digitalWrite(V[13], true);
    digitalWrite(V[14], true);
    digitalWrite(BFiltrado, false);
    digitalWrite(BRetrolavado, true);
}

void retrolavadoCarbon() {
    digitalWrite(V[0], false);
    digitalWrite(V[1], true);
    digitalWrite(V[2], true);
    digitalWrite(V[3], false);
    digitalWrite(V[4], true);
    digitalWrite(V[5], true);
    digitalWrite(V[6], false);
    digitalWrite(V[7], false);
    digitalWrite(V[8], false);
    digitalWrite(V[9], true);
    digitalWrite(V[10], false);
    digitalWrite(V[11], true);
    digitalWrite(V[12], true);
    digitalWrite(V[13], true);
    digitalWrite(V[14], true);
    digitalWrite(BFiltrado, false);
    digitalWrite(BRetrolavado, true);
}

void vaciando() {
    digitalWrite(V[0], true);
    digitalWrite(V[1], true);
    digitalWrite(V[2], true);
    digitalWrite(V[3], true);
    digitalWrite(V[4], false);
    digitalWrite(V[5], true);
    digitalWrite(V[6], true);
    digitalWrite(V[7], true);
    digitalWrite(V[8], true);
    digitalWrite(V[9], true);
    digitalWrite(V[10], false);
    digitalWrite(V[11], true);
    digitalWrite(V[12], true);
    digitalWrite(V[13], true);
    digitalWrite(V[14], true);
    digitalWrite(BFiltrado, false);
    digitalWrite(BRetrolavado, false);
}
}
```

```
void recirculacion() {
    digitalWrite(V[0], false);
    digitalWrite(V[1], true);
    digitalWrite(V[2], true);
    digitalWrite(V[3], false);
    digitalWrite(V[4], false);
    digitalWrite(V[5], true);
    digitalWrite(V[6], true);
    digitalWrite(V[7], false);
    digitalWrite(V[8], false);
    digitalWrite(V[9], true);
    digitalWrite(V[10], false);
    digitalWrite(V[11], true);
    digitalWrite(V[12], true);
    digitalWrite(V[13], false);
    digitalWrite(V[14], false);
    digitalWrite(BFiltrado, false);
    digitalWrite(BRetrolavado, false);
}

void descartar() {
    digitalWrite(V[0], false);
    digitalWrite(V[1], true);
    digitalWrite(V[2], true);
    digitalWrite(V[3], false);
    digitalWrite(V[4], false);
    digitalWrite(V[5], true);
    digitalWrite(V[6], false);
    digitalWrite(V[7], true);
    digitalWrite(V[8], false);
    digitalWrite(V[9], true);
    digitalWrite(V[10], false);
    digitalWrite(V[11], true);
    digitalWrite(V[12], true);
    digitalWrite(V[13], true);
    digitalWrite(V[14], true);
    digitalWrite(BFiltrado, false);
    digitalWrite(BRetrolavado, false);
}
```

```
void enjuage() {
    digitalWrite(V[0], false);
    digitalWrite(V[1], false);
    digitalWrite(V[2], true);
    digitalWrite(V[3], false);
    digitalWrite(V[4], false);
    digitalWrite(V[5], false);
    digitalWrite(V[6], false);
    digitalWrite(V[7], true);
    digitalWrite(V[8], false);
    digitalWrite(V[9], true);
    digitalWrite(V[10], false);
    digitalWrite(V[11], true);
    digitalWrite(V[12], true);
    digitalWrite(V[13], true);
    digitalWrite(V[14], true);
    digitalWrite(BFiltrado, true);
    digitalWrite(BRetrolavado, false);
}

//Función que relaciona cada estado con su salida
void escribirSalidas(int EstadoActual) {
    switch (EstadoActual) {
        case 1 : enEspera();
            break;
        case 2 : procesando();
            break;
        case 3 : retrolavadoArena();
            break;
        case 4 : retrolavadoCarbon();
            break;
        case 5 : vaciando();
            break;
        case 6 : recirculacion();
            break;
        case 7 : descartar();
            break;
        case 8 : enjuage();
            break;
        default: enEspera();
            break;
    }
}

#endif
```

```
//FUNCIONAMIENTO DEL TECLADO MATRICIAL 2X4
#ifndef teclado.h
#define teclado.h

//Constantes de configuración del teclado
const byte nRenglon = 2;
const byte nColumnas = 4;
const byte pinsRen[nRenglon] = { 3, 2};
const byte pinsCol[nColumnas] = { 4, 5, 6, 7 };
const byte keys[nRenglon][nColumnas] = {
  { 1, 2, 3, 4},
    { 5, 6, 7, 8},
};
byte iRow, iCol, botonDetectado;

void configurarTeclado() {
  //Configuración de un teclado matricial de 4x4
  //Columnas del teclado como entradas de alta
  impedancia
  for (byte i = 0; i < nColumnas; i++) {
    pinMode(pinsCol[i], INPUT);
    digitalWrite(pinsCol[i], HIGH);
  }
  //Filas en pullup
  for (byte i = 0; i < nRenglon; i++) {
    pinMode(pinsRen[i], INPUT_PULLUP);
  }
}

void resetearTeclado() {
  BP = false;
  BRa = false;
  BRc = false;
  BV = false;
  BRec = false;
  BD = false;
  BE = false;
}
}
```

```
void actualizarVariables(byte botonDetectado) {
  switch (botonDetectado) {
    case 1 : BP = true;
      break;
    case 2 : BRa = true;
      break;
    case 3 : BRc = true;
      break;
    case 4 : BV = true;
      break;
    case 5 : BRec = true;
      break;
    case 6 : BD = true;
      break;
    case 7 : BE = true;
      break;
    default: resetearTeclado();
      break;
  }
}

bool leerTeclado() {
  bool stroke = false;
  // Barrido de columnas

  for (byte i = 0; i < nColumnas; i++) {
    // Poner columna a LOW
    pinMode(pinsCol[i], OUTPUT);
    digitalWrite(pinsCol[i], LOW);
    // Barrer todas las filas comprobando pulsaciones
    for (byte j = 0; j < nRenglon; j++) {
      if (digitalRead(pinsRen[j]) == LOW) {
        // Pulsacion detectada, guardar fila y columna
        stroke = true;
        botonDetectado = keys[j][i];
        Serial.println(botonDetectado);
      }
    }
    // Devolver la columna a alta impedancia
    digitalWrite(pinsCol[i], HIGH);
    pinMode(pinsCol[i], INPUT);
  }

  actualizarVariables(botonDetectado);
  botonDetectado = 0;
  return stroke;
}

#endif
```

## 19.3 CÓDIGO WEB.

```

/* UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.
 * FACULTAD DE INGENIERÍA.
 * Adata Murueta Martín.
 * Programa en JavaScript para implementar
 * una interfaz HMI, se usa la librería jQuery.
 */

//Dirección para acceder a la página que servirá como HMI
//Se encuentra en el servidor local
var URL= "http://127.0.0.1:8001/WebService1/index.html";

//función para graficar las barras indicadoras del nivel de
//las dos cisternas, se usan coordenadas gráficas
function generarGraficos(StringNivel1, StringNivel2) {
    var H = 180; //Longitud máxima de la barra indicadora
    var y0 = 60; //Posición inicial, medida desde el borde superior
    var altura; //posición de la barra a mostrar
    var aux = parseFloat(StringNivel1)/100.0; //Cálculo matemático de la longitud de la barra
    altura = y0 + H * (1 - aux);
    altura = Math.floor(altura); //Asignar la altura calculada a la barra
    var n1 = document.getElementById('nivel1');
    n1.style.y = altura;
    n1.style.height = Math.floor(H * aux + 1);
    var aux = parseFloat(StringNivel2)/100.0; //Repetimos para la segunda barra
    altura = y0 + H * (1 - aux);
    altura = Math.floor(altura);
    var n2 = document.getElementById('nivel2');
    n2.style.y = altura;
    n2.style.height = Math.floor(H * aux + 1);
}

//Función que escribe en la página los valores obtenidos del servidor
function mostrarInformacion(data){
    $('#Numeric1').text(data.caudal + " m3/s");
    $('#Numeric2').text(data.turbiedad + " NTU");
    $('#Numeric3').text(data.jabonosa + " %");
    $('#Numeric4').text(data.produccion + " m3");
    $('#Numeric5').text(data.tiempo);
    $('#Numeric6').text(data.tratada + " %");
    $('#Numeric7').text(data.estado);
}

//Cargar la página y generar todo su contenido, esta función
//realiza una petición HTTP usando la función getJSON
function actualizar(){
    comandoHTTP = URL.replace("index.html", "") + "getState";
    $.getJSON(comandoHTTP,
        function main(data){
            mostrarInformacion(data);
            generarGraficos(data.jaboosa,data.tratada);
        });
}

//Enviar la información del nuevo estado hacia el servidor
function establecerEstado(estado){
    comandoHTTP = URL.replace("index.html", "")+"setState";
    comandoHTTP = comandoHTTP + "?nuevo="+estado;
    $.getJSON(comandoHTTP);
}

```

//Las siguientes funciones se invocan al dar click a su botón correspondiente

```
function detener(){
    alert("Desea detener el proceso?");
    establecerEstado(0);
}

function procesar(){
    alert("Desea iniciar el proceso?");
    establecerEstado(1);
}

function retrolavadoA(){
    alert("Desea iniciar el retrolavado del filtro de arena?");
    establecerEstado(2);
}

function retrolavadoC(){
    alert("Desea iniciar el retrolavado del filtro de carbón?");
    establecerEstado(3);
}

function vaciar(){
    alert("Desea iniciar el vaciado de los filtros?");
    establecerEstado(4);
}

function recircular(){
    alert("Desea iniciar la recirculación?");
    establecerEstado(5);
}

function descartar(){
    alert("Desea descartar la producción?");
    establecerEstado(6);
}

function enjuagar(){
    alert("Desea iniciar el enjuague del filtro de carbón?");
    establecerEstado(7);
}

//Función que se ejecuta al cargar la página.
$(document).ready(actualizar());
```

---

**CÓDIGO HTML QUE DEFINE LA INTERFAZ HMI.**

```

<!DOCTYPE html>
<html lang="es" >
<head>
    <title>Panel de Control Online</title>
    <meta charset="UTF-8" />
    <meta name="sription" content="Aplicación Web para el control remoto de la planta." />
    <script type="text/javascript" src="js/jquery-1.4.3.min.js"></script>
    <script type="text/javascript" src="js/main.js"></script>
    <link rel="stylesheet" href="css/estilos.css" />
</head>
<body>
<header>
    <h1>PANEL DE CONTROL ONLINE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA.</h1>
    <h2>PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA .</h2>
</header>
    <div id="aplicacion">
        <svg>
            <rect id="marcoInterno"></rect>
            <rect id="rectangulo1"></rect>
            <rect id="rectangulo2"></rect>
            <rect id="rectangulo3"></rect>
            <rect id="rectangulo4"></rect>
            <rect id="rectangulo5"></rect>
            <rect id="rectangulo6"></rect>
            <rect id="rectangulo7"></rect>
            <rect id="rectangulo8"></rect>
            <rect id="rectangulo9"></rect>
            <rect id="rectangulo10"></rect>
            <rect id="rectangulo11"></rect>
            <rect id="rectangulo12"></rect>
            <rect class="indicador" id="nivel1"></rect>
            <rect class="indicador" id="nivel2"></rect>
            <text >
                <tspan x="42" y="44">Caudal de salida</tspan>
                <tspan x="175" y="45">Cisterna</tspan>
                <tspan x="175" y="57">pretratada</tspan>
                <tspan x="405" y="45">Cisterna </tspan>
                <tspan x="405" y="57">tratada</tspan>
                <tspan x="42" y="174">Turbiedad</tspan>
                <tspan x="275" y="45">Produccion</tspan>
                <tspan x="275" y="56">acumulada</tspan>
                <tspan x="275" y="176">Tiempo en </tspan>
                <tspan x="275" y="187">servicio</tspan>
                <tspan x="502" y="125">Estado</tspan>
            </text>
            <text id="Numeric1" x="60" y="90"></text>
            <text id="Numeric2" x="60" y="220"></text>
            <text id="Numeric3" x="185" y="258"></text>
            <text id="Numeric4" x="290" y="90"></text>
            <text id="Numeric5" x="290" y="220"></text>
            <text id="Numeric6" x="415" y="258"></text>
            <text id="Numeric7" x="520" y="160"></text>
        </svg>
        <div id="tablero">
            <div class="renglon">
                <button onclick="detener()" >STOP</button>
                <button onclick="procesar()" >PROCESAR</button>
            </div>
            <div class="renglon">
                <button onclick="retrolavadoC()" >RETROLAVADO FILTRO DE CARBON</button>
            </div>
        </div>
    </div>

```

```

        <div class="renglon">
            <button onclick="retrolavadoA()" >RETROLAVADO FILTRO DE ARENA</button>
        </div>
        <div class="renglon">
            <button onclick="enjuagar()" >ENJUAGAR</button>
            <button onclick="vaciar()" >VACIAR</button>
        </div>
        <div class="renglon">
            <button onclick="recircular();" >RECIRCULAR</button>
            <button onclick="descartar()" >DESCARTAR</button>
        </div>
    </div>
    <div id="actualizar">
        <button id="botonRefrescar" onclick="actualizar()">ACTUALIZAR</button>
    </div>
</div>
<footer> <p>UNIVERSIDAD NACIONAL AUT&Oacute;NOMA DE M&Eacute;XICO.</p>
<p>Adauta Murueta Mart&iacute;n.</p>
<script>
    var fecha= new Date();
    document.write(Date());
</script>
</footer>
</body>
</html>

```

```

/* UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.
 * FACULTAD DE INGENIERÍA.
 * Hoja de estilos para la interfaz HMI de control de una planta de agua.
 */
body { background-color:#A0A0A0; }           /*Color de fondo*/
header { border: 1px solid black; }         /*líneas del encabezado*/
h1, h2{
    text-align:center;                       /*Título y subtítulo centrados*/
    padding:10px;
    border: 1px solid blue;}
div#aplicacion { margin:10px 100px; }       /*Alineación de las divisiones*/
div#tablero{
    border: 1px solid blue;
    display:inline-block;
    margin: 0 30px 0 150px;}
div#actualizar{
    border: 1px solid blue;
    display:inline-block;}
div.renglon { display:block; }
button{                                     /*Dejar 10 pixeles de margen entre botones*/
    display:inline;
    margin: 10px}

/*Las siguientes reglas definen la apariencia de los elementos que conforman la interfaz HMI*/

```

```

svg{
  height:302px;
  width:655px;
  border: 1px solid blue;
  margin: 10px 40px;  }

rect{
  fill:#A0A0A0;
  stroke-width:1;
  stroke:rgb(0,0,0);  }

rect#marcoInterno{
  x:10px;
  y:10px;
  height:280px;
  width:635px;  }

rect#rectangulo1{
  x:40;
  y:30;
  height:110px;
  width:110px;  }

rect#rectangulo2{
  x:40;
  y:160;
  height:110px;
  width:110px;  }

rect#rectangulo3{
  x:170;
  y:30;
  height:240px;
  width:80px;  }

rect#rectangulo4{
  x:270;
  y:30;
  height:110px;
  width:110px;  }

rect#rectangulo5{
  x:270;
  y:160;
  height:110px;
  width:110px;  }

rect#rectangulo6{
  x:400;
  y:30;
  height:240px;
  width:80px;  }

rect#rectangulo7{
  x:500;
  y:110;
  height:100px;
  width:110px;  }

rect#rectangulo8{
  x:50;
  y:60;
  height:50px;
  width:90px;  }

rect#rectangulo9{
  x:50;
  y:190;
  height:50px;
  width:90px;  }

rect#rectangulo10{
  x:280;
  y:60;
  height:50px;
  width:90px;  }

rect#rectangulo11{
  x:280;
  y:190;
  height:50px;
  width:90px;  }

rect#rectangulo12{
  x:510;
  y:130;
  height:50px;
  width:90px;  }

rect.indicador{
  rx:5px;
  ry:5px;
  width:50px;
  height:180px;
  fill:#0000FF;
  stroke-width:1;
  stroke:rgb(0,0,0);  }

text#numeric6{
  fill:black;  }

/*Barras indicadoras*/
rect#nivel1{
  x:185px;
  y:60px;  }

rect#nivel2{
  x:415px;
  y:60px;  }

```

### 19.4 EVIDENCIA FOTOGRÁFICA DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS.



Figura 60. Verificación del estado de un filtro de arena. Se observa la capa de materia retenida por el filtro.

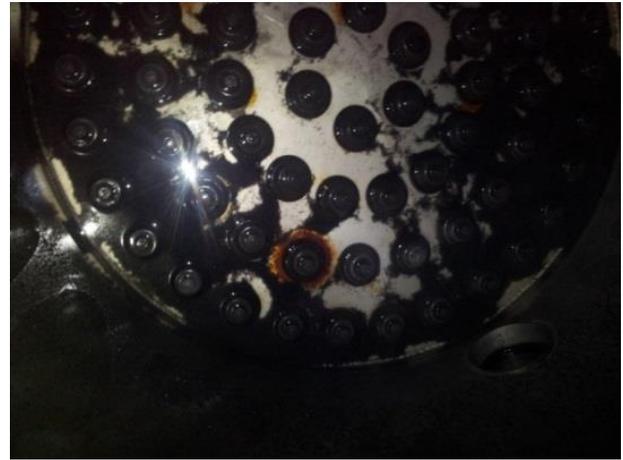


Figura 61. Verificación del estado de los difusores en el fondo de un filtro de carbón. Nótese que se presentó oxidación en uno de ellos.

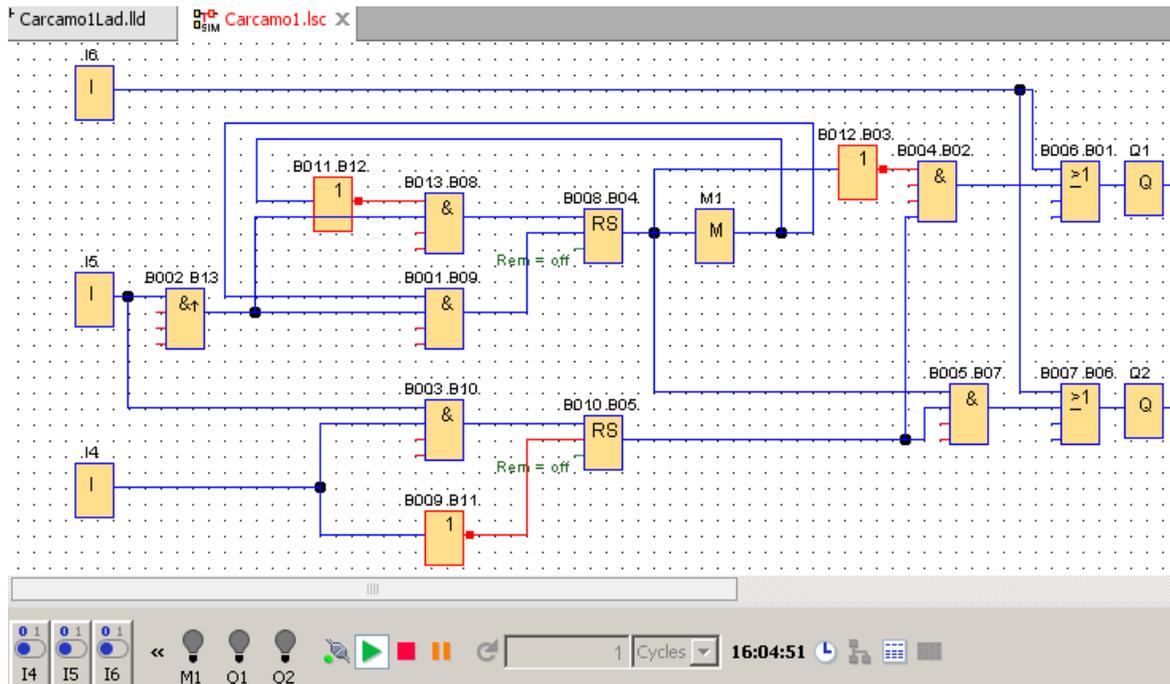


Figura 62. Programación de PLC para el control de cárcamos de bombeo.



Figura 63. Mantenimiento a bombas dosificadoras.



Figura 64. Mantenimiento a turbidímetro.



Figura 65. Mantenimiento de solenoides de electroválvulas



Figura 66. Instalación de un sistema de aireación



Figura 67. Instalación de bio-película para tratamiento de aguas.