



AUTOMATIZACIÓN, ROBÓTICA Y SISTEMAS COMPUTACIONALES

SCADA Integrador para Control de Planta Desalinizadora de Agua de Mar

SCADA Integrator for Control of Seawater Desalination Plant

Alberto Rodríguez Martínez¹, Bryan Torres Torres²

1- MSc. Alberto Rodríguez Martínez. CEDAI Stgo de Cuba, Cuba. Teléfono: +53 5217 7259.

E-mail: albert@cedai.com.cu

2- MSc. Bryan Torres Torres. CEDAI Stgo de Cuba, Cuba. Teléfono: +53 5379 2031. E-mail:

bryan@cedai.com.cu

Resumen:

- **Problemática:** Ausencia de sincronización e integración en el funcionamiento de cinco líneas de desalinización de agua de mar, los cuatro pozos costeros y las dos bombas de relance final.
- **Objetivo(s):** Diseñar e implementar un sistema de Sincronización, Integración, Supervisión y Control que sincronice, integre, controle y supervise el funcionamiento de las cinco líneas de ósmosis inversa, los cuatro pozos costeros y las dos bombas de relance final como una única planta.
- **Metodología:** Del estudio del estado del arte en procesos similares se obtuvieron métodos y algoritmos de sincronización que se adicionan al Movicon-11.5 mediante códigos script. El estudio del comportamiento del proceso permite seleccionar el protocolo de comunicación que respondiera adecuadamente a la dinámica observada.
- **Resultados y discusión:** Se garantiza la continuidad productiva en el proceso de desalinización, logrando la sincronización en las operaciones de captación de agua de mar, arranque y lavado que afectaban el desempeño de las líneas de ósmosis. Se gestiona localmente todo el proceso desde una PC o remotamente desde una aplicación Androide.
- **Conclusiones:** Con la integración de los sub-procesos en un único sistema se logra sincronizar la cantidad necesaria de pozos en funcionamiento con la cantidad de módulos de ósmosis inversa y las bombas de relance final, de manera que sólo exista la



cantidad mínima en funcionamiento, que garanticen el consumo de las líneas de ósmosis, el discreto aumento del nivel del tanque de agua de mar y evite el vaciado del tanque de permeado, eliminando la discontinuidad del proceso de desalinización.

Abstract:

- **Problematic:** *Absence of synchronization and integration in the operation of five lines of desalination of seawater, the four coastal wells and the two pumps of final release.*
- **Objective:** *Design and implement a Synchronization, Integration, Supervision and Control system for the Desalination Plant that synchronizes, integrates, controls and supervises the operation of the five reverse osmosis lines, the four coastal wells and the two pumps of final release as a single plant.*
- **Methodology:** *From the study of the state of the art in similar processes, methods and synchronization algorithms were obtained that are added to Movicon-11.5 by means of script codes. The study of the behavior of the process allows selecting the communication protocol that responds adequately to the observed dynamics.*
- **Results and Discussion:** *Productive continuity is guaranteed in the desalination process, achieving synchronization in seawater harvesting, start-up and washing operations that affected the performance of the osmosis lines. The whole process is managed locally from a PC or remotely from an Android application.*
- **Conclusions:** *With the integration of the sub-processes in a single system it is possible to synchronize the necessary number of wells in operation with the number of reverse osmosis modules and the two pumps of final release, so that there is only the minimum quantity in operation, which guarantees the consumption of the osmosis lines, the discreet increase in the level of the seawater tank and avoid the emptying of the permeate tank, eliminating the discontinuity of the desalination process.*

Palabras Clave: Operación Óptima de los Sistemas de Recursos Hídricos; Algoritmos de Control Secuencial; Estimación de Fallos; Control de Procesos; Protocolos de Comunicación Industrial.

Keywords: *Optimal Operation of Water Resources Systems; Sequential Control Algorithms; Estimation and Fault Detection; Process Control; Industrial Communication Protocols.*



1. Introducción

En la actualidad, al igual que en el pasado, para la creación, crecimiento y funcionamiento de las ciudades se consideran una serie de servicios asociados a la infraestructura para que la colectividad pueda vivir. Entre estos servicios indispensables se encuentra el de agua potable, primordial para la vida. (Da Mota, 2017). La ciudad de Santiago de Cuba fue afectada fuertemente por intensos y extensos períodos de sequía, que afectaron los embalses y cuencas subterráneas, que proveían el agua a la ciudad.

Se hacía necesario un aumento de la producción de agua para el consumo de la población buscando fuentes alternativas y métodos novedosos de obtención de la misma. En esta compleja situación la empresa Aguas Santiago, recibe del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), cinco líneas de desalinización de agua de mar mediante ósmosis inversa, con capacidad de producir cada una 36 m³/h de agua potable. (López, 2017).

Debido a los permisos necesarios solicitados al Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), para la colocación de este tipo de plantas por la toxicidad de sus desechos para el ecosistema, se decidió agrupar las cinco líneas en un mismo emplazamiento. Se disminuyó el impacto medioambiental al ecosistema marino, pues los mismos serían vertidos en una zona de altas corrientes marinas, que garantizan la mezcla inmediata y la disminución del impacto negativo de la salmuera.

1.1 Breve descripción del proceso

En la presente investigación el objeto de análisis son las cinco plantas de desalación de agua de mar mediante ósmosis inversa (ver figura 1), así como los equipos colaterales que aseguran su funcionamiento, como son las bombas de los pozos costeros de agua de mar, los tanques de almacenamiento de agua de mar y de agua permeada, las bombas de relance final y los equipos asociados con los que cuenta la planta.



Figura 1: Planta Desalinizadora "Boca de Cabañas".
Fuente: Elaboración propia.

El área de trabajo se encuentra ubicada en la entrada de la bahía Boca de Cabañas, y consiste en una Planta de Desalinización de Agua de Mar del INRH-Aguas Santiago, compuesta por cinco líneas de desalinización mediante ósmosis inversa, las cuales trabajan en paralelo. Se

puede observar en la figura 2, la fuerte interacción entre los diferentes componentes del proceso, lo cual incrementa la complejidad de la solución.

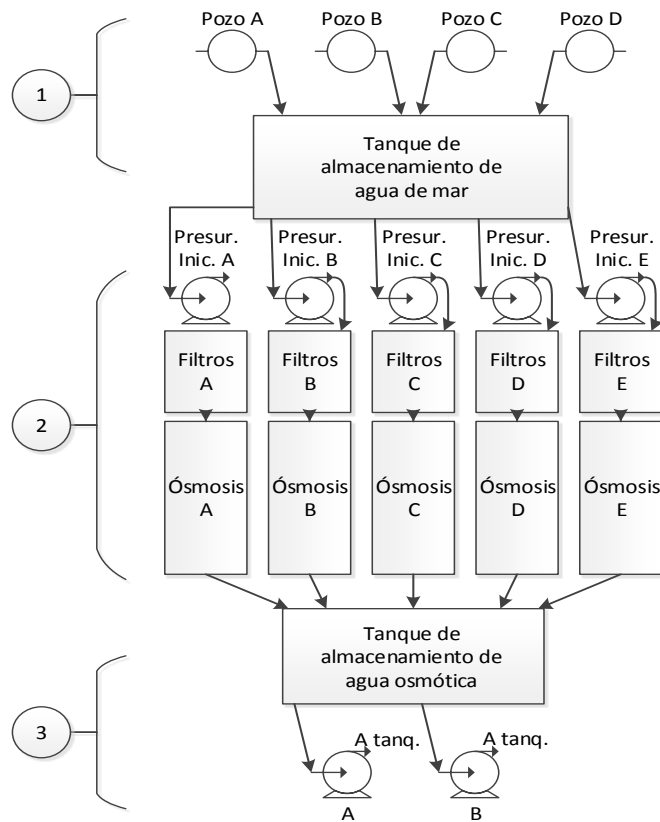


Figura 2: Esquema general de la Planta Desalinizadora "Boca de Cabañas".
 Fuente: Elaboración propia

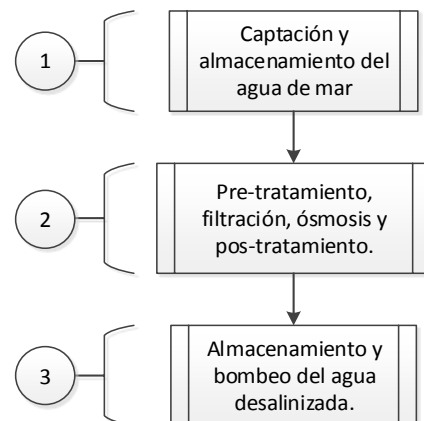


Figura 3: Diagrama funcional de la Planta Desalinizadora "Boca de Cabañas".
 Fuente: Elaboración propia

Para facilitar el estudio, se divide el proceso en tres etapas o subprocesos fundamentales según se muestra en la figura 3, en los cuales se agrupan desde el punto de vista de proceso las tareas de desalinización, para así simplificar el análisis de la planta desalinizadora en su conjunto. Estos sub-procesos son:

- 1.- Captación y almacenamiento del agua de mar.
- 2.- Pre-tratamiento, filtración, ósmosis y pos-tratamiento.
- 3.- Almacenamiento y bombeo del agua desalinizada.

La etapa 1 (ver figuras 2 y 3) consiste en la captación del agua de mar mediante cuatro pozos costeros, los cuales están ubicados en un arrecife cercano. En su interior, cada uno posee una bomba sumergible, ajustada a entregar aproximadamente 160 m³/h (Protecno, 2015d), a un colector que recorre todos los pozos hasta el tanque de almacenamiento de agua de mar y el cual posee un transductor de presión hidrostática y dos flotadores, uno para detectar el nivel máximo y otro para el nivel mínimo (Protecno, 2015d, e).



Con ellos se controla y gestiona el nivel de arranque y parada de las bombas de los pozos que llenan el tanque y las bombas de inicio para detectar los niveles límites mínimos y máximos (sensores de bloqueo). Funcionan como medida de seguridad para bloquear el funcionamiento de los equipos de llenado del tanque, en caso de activación del nivel máximo o los equipos de presurización inicial en caso de activación del nivel mínimo.

El subproceso 2 (figuras 2 y 3) está compuesto por el pre-tratamiento, la filtración y la ósmosis inversa al agua de mar y el pos-tratamiento al permeado obtenido. El caudal succionado del tanque de agua de mar, es bombeado por la bomba de presurización inicial (figura 2) al pre-tratamiento, donde se mezcla con hipoclorito, para anular los organismos vivos que pudieran estar presentes. Luego se hace pasar en paralelo por los dos filtros de arena, donde quedan los sólidos e impurezas de mayor tamaño (Protecno, 2015a).

El agua filtrada pasa por los filtros de seguridad de 5 micras, se le adiciona bisulfito de sodio y anti-incrustante, el primero para eliminar el cloro residual en el agua, y el segundo para evitar incrustaciones de sales en las membranas al producirse la ósmosis. Al permeado obtenido se le añade hipoclorito para prevenir el crecimiento bacteriano. Este proceso ocurre simultáneamente en las cinco líneas de ósmosis, proporcionando en su conjunto un caudal de 180 m³/h de permeado (Protecno, 2015b, d, e, f).

Cada línea está dotada de un sistema automatizado para el control y la supervisión de sus funciones con el fin de asegurar su correcto funcionamiento, por lo que pueden ser colocadas en cualquier sitio donde se les garantice el agua de mar, la distribución del permeado producido y la evacuación de la suciedad de los filtros de arena y de la salmuera obtenida durante el proceso de ósmosis inversa (Protecno, 2015c, d).

La etapa 3 (figuras 2 y 3) se encarga de almacenar localmente los 180 m³/h de agua osmótica obtenida en las cinco líneas de desalinización, para bombearla hacia los tanques de distribución. El tanque de almacenamiento está construido de hormigón y posee un transductor de presión hidrostática y dos flotadores, uno para detectar y gestionar el nivel máximo (nivel de arranque y parada de los módulos de ósmosis inversa), y otro para el nivel mínimo que provoca el bloqueo de las bombas de relace final (Protecno, 2015d).

El relance final del agua tratada, se realiza mediante dos bombas centrífugas de 180 m³/h conectadas en paralelo. En la tubería de salida existe un flujómetro con indicador y transmisor 4-20mA, encargado de medir y transmitir el caudal entregado por la planta.



1.2 Problemática Particular

El proceso tecnológico analizado se veía afectado por varias causas, entre ellas los continuos arranques y paradas de las bombas sumergibles de los pozos costeros por la ausencia de sincronización entre la cantidad de pozos costeros activos y la cantidad de módulos de ósmosis en funcionamiento. Las señales de bloqueo de los tanques de agua de mar y de permeado solo llegan al módulo E, por lo que los módulos A, B, C y D no cuentan con la protección de seguridad para la parada y bloqueo cuando el nivel está por debajo del límite mínimo permisible o cuando está lleno respectivamente.

La ineficiencia en la rotación del lavado de los filtros genera sobrecarga en las bombas de inicio cuando coinciden varias líneas en dicho régimen y afectaciones del colector de drenaje por aumento de la presión. Además no se conocía la relación entre el volumen de agua extraído del mar y el de agua osmótica obtenida en las cinco líneas.

Lo expuesto demuestra la necesidad de integración de los subprocesos en una arquitectura de comunicación que permita el control y la gestión del comportamiento de los equipos, planificación de sus mantenimientos (Protecno, 2015f), predicción de la ocurrencia de fallas, la rotación de acuerdo al tiempo de trabajo y el estado de fallo o no.

A partir de lo expuesto, y en aras de solucionar las problemáticas planteadas, se desarrolla la presente investigación, la cual considera como problema la ausencia de sincronización e integración en el funcionamiento de las cinco líneas de desalinización, los cuatro pozos costeros y las dos bombas de relance final.

El objetivo de la investigación consiste en diseñar e implementar un sistema de Integración, Sincronización, Supervisión y Control para la Planta Desalinizadora "Boca de Cabañas" que sincronice, integre, controle y supervise el funcionamiento de las cinco líneas de desalinización, los cuatro pozos costeros y las dos bombas de relance final como una única planta.

Se asume la hipótesis de que si se diseña e implementa la sincronización y la integración en un SCADA en la Planta Desalinizadora "Boca de Cabañas", se podría lograr el funcionamiento sincronizado e integrado de sus cinco líneas de desalinización con los cuatro pozos costeros y las dos bombas de relance final como una única planta. Como valor agregado se obtendrían los valores de las variables de todos los subprocesos para la confección de históricos, reportes y tendencias de las variables de cada proceso como: presión, caudal, volumen, temperatura, nivel, conductividad y redox. Se implementaría además la gestión integrada remota del proceso.



2. Metodología

2.1 Estudios previos al proyecto

El uso de técnicas de desalinización de agua de mar tiene su origen en los inicios del siglo XX, pero la expansión a nivel industrial no ocurre hasta los años 1960-1980 donde se utiliza la técnica de destilación flash multi-etapa (MSF), la destilación multi-efecto (MED) y la destilación con compresión de vapor (Khawaji y otros, 2008).

A partir de los años 1980, la técnica de ósmosis inversa toma importancia en la industria de la desalinización de agua, ésta extrae sólidos del agua por medio de membranas con permeabilidad muy baja para sales y muy alta para agua (Giannelli y otros, 2017a).

La evolución de la desalación de agua de mar tiene como objetivo principal la reducción del costo energético del m³ de agua producida. En los últimos 15 años, los avances se han basado en la mejora tanto de las membranas de ósmosis como de los recuperadores de energía asociados a este proceso (Giannelli y otros, 2017b). Actualmente, continúa la investigación y diseño de membranas con nano-compuestos (Giannelli y otros, 2015).

Para la solución a la problemática particular se propone un sistema SCADA, acrónimo de Supervisory Control And Data Acquisition (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) (Siemens, 2017). Este conjunto de hardware y software nos permite tener acceso a informaciones de un proceso tales como estado operacional de equipos, variables de proceso, alarmas, tendencias, reportes, mantenimiento, gerenciamiento (Benítez, 2018).

Estos sistemas pueden controlar los procesos localmente en las industrias o a distancia (Pérez, 2015), disminuyen los costos de ingeniería, tiempo y riesgo a través de una fácil integración con todos los dispositivos de la planta gracias a los protocolos avanzados (García y otros, 2018) y los software de aplicaciones. Se deben tener en cuenta criterios para la seguridad de los datos, de los accesos, impresión, programación de eventos y otros referidos en (Rodríguez, 2013).

La investigación se desarrolló empleando métodos de investigación teóricos y empíricos (Álvarez y Sierra). Los primeros permitieron revelar las relaciones esenciales del objeto de investigación, no observables directamente. Los segundos revelaron y explicaron las características fenomenológicas del objeto y se emplearon en la etapa de acumulación de información empírica y en la de comprobación experimental de la hipótesis.

Entre los métodos teóricos empleados tenemos el método hipotético-deductivo y el método causal. Los métodos empíricos empleados fueron el método de la observación científica y el método experimental.



El sistema SCADA, implementado a partir del MOVICON 11.5 (Progea, 2016), supervisa y registra desde una Sala de Control, con el empleo de una PC y un sistema de transmisión de datos que permite el flujo de la información entre las áreas de la planta. Se alerta la necesidad de mantenimiento, tomando como base el tiempo de trabajo. Se generan gráficos de tendencias y reportes de todas las variables involucradas en el proceso.

Para tomar toda la información generada en el campo, y enviar todas las acciones a ejecutar sobre los diferentes subprocesos para lograr su sincronización, se diseña e implementa la comunicación entre el SCADA y las RTU.

2.2 Comunicación entre los dispositivos de proceso y el SCADA

El sistema SCADA debe comunicarse con las RTU implicadas en aras lograr la sincronización del proceso, cada línea posee un CPU P341000 y un módulo de comunicaciones modelo NOC0401 de Schneider Electric (Protecno, 2015f). El CPU se comunica Modbus RTU y Modbus ASCII. El NOC0401 tiene cuatro puertos Ethernet y protocolo Modbus-TCP/IP.

El protocolo Modbus especifica el procedimiento que el controlador y el esclavo utilizan para intercambiar datos, el formato de estos datos, y como se tratan los errores (National Instruments, 2014), por lo que se ha expandido para incluir implementaciones a través de protocolo TCP/IP y el UDP, lo que le ha conferido ventajas como: fácil ejecución, poco desarrollo y bajo costo de implementación comparado con Modbus-RTU; transferencia de datos a la velocidad de la red Ethernet, la cual es muy superior a la lograda en Modbus RTU; no se necesita equipo o software propietario, ya que cualquier sistema de cómputo o microprocesador con una pila de protocolos TCP/IP puede usar Modbus-TCP (González, 2013), lo cual permite extender su aplicación a Intranet o Internet.

Analizado esto se implementa la topología de comunicación Modbus-TCP/IP que se muestra en la figura 4, donde se combina la automatización y las tecnologías de la información para efectuar la sincronización e integración en el sistema SCADA.

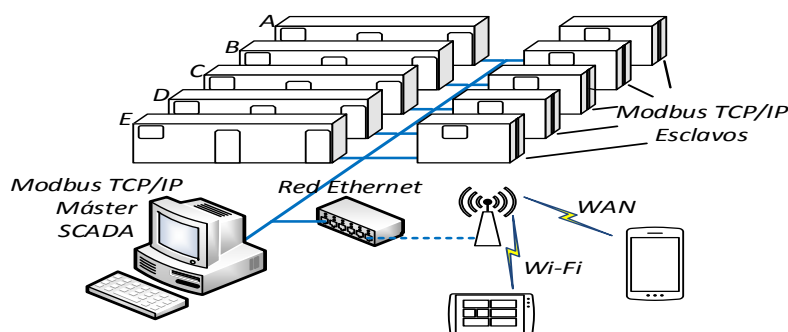


Figura 4: Arquitectura de las comunicaciones empleadas en la implementación del SCADA.
Fuente: Elaboración propia



2.3 Comunicación entre el SCADA y la aplicación de Androide. Servicios Web

MOVICON 11.5 ofrece en su paquete de software una aplicación Androide llamada MovWebClient, la cual permite acceso inalámbrico a través del punto de acceso instalado, al servidor del sistema. La aplicación puede gestionar todas las pantallas configuradas en el SCADA, en función de los permisos otorgados al usuario del sistema configurado en la aplicación. De modo que se pueden crear usuarios para acceso remoto con permiso de visualización solamente o de administración, según se desee (Progea, 2016).

2.4 Propuesta de solución

Para efectuar la sincronización de la cantidad mínima de pozos costeros, necesarios a funcionar para no interrumpir el proceso se implementó el algoritmo de la figura 5.

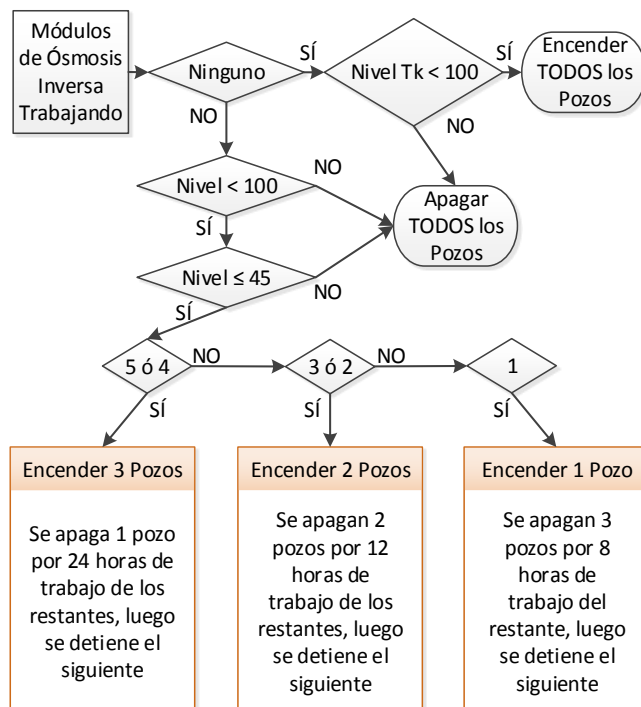


Figura 5. Algoritmo de control propuesto para los pozos costeros
Fuente: Elaboración propia

El algoritmo contempla dos variables, la primera es la cantidad de líneas de ósmosis activas y la segunda es el nivel del tanque de agua de mar. Del resultado de la evaluación de la primera se determina la cantidad de pozos a habilitar para el encendido y la segunda determina la orden de encender o apagar los pozos habilitados.

En el mismo teniendo en cuenta la cantidad de líneas de ósmosis en servicio, se determina la necesidad de agua de mar para que la cantidad total de agua extraída de los pozos sea la mínima necesaria para garantizar que funcionen ininterrumpidamente las líneas de ósmosis activas en cada instante de tiempo y que se le suministre al tanque de agua de mar una cantidad tal, que



garantice el discreto aumento del nivel disminuyendo la cantidad de arranques de las bombas sumergibles de los pozos.

Este algoritmo se mantiene en ejecución con el objetivo de lograr el control de nivel con el menor costo energético posible y rotando los equipos de bombeo de los pozos, aumentando su vida útil y eliminando la discontinuidad del proceso de desalinización.

Para coordinar el encendido y apagado de las cinco líneas de ósmosis inversa como una única planta, se propone la implementación de un algoritmo de arranque y sincronización. Este parte de una "lógica de bloqueo" de las cinco líneas, la cual inhibe el encendido y detiene las que estén funcionando en caso de activarse. Si la planta está funcionando y el operador realiza el bloqueo, el algoritmo efectúa el apagado y bloqueo de la línea A. Transcurrido un tiempo se efectúa la misma operación sucesivamente hasta apagar la línea E.

Cuando se efectúa el desbloqueo de la planta, se escribe en el CPU de cada línea el tiempo de trabajo de la línea antes del primer lavado de los filtros de arena con un desfase entre ellos, y luego del primer lavado se restablece a veinticuatro horas.

Se propone tener en cuenta el nivel del tanque de agua osmótica, el estado de fallo y las horas de trabajo de cada equipo de bombeo. El nivel activa la orden de encendido de la bomba para evitar la parada de las líneas de ósmosis ante la posibilidad del desborde del tanque. Para evitar el funcionamiento en vacío de las bombas, ambas se bloquean cuando el nivel del tanque está por debajo del 45% y se encienden cuando es mayor o igual que el 98%.

Una vez activado el permiso de encendido de las bombas se ejecuta un protocolo de encendido que consiste en la evaluación del estado de fallo o no del equipo habilitado. Si no está en fallo entonces se evalúa si la cantidad de horas trabajadas es menor que las configuradas para él, de ser así se enciende, de lo contrario se enciende la otra bomba si no se encuentra en fallo y se borra el contador de tiempo de la bomba que se encontraba en funcionamiento. Este algoritmo se vuelve a ejecutar con el equipo habilitado hasta que se consuman las horas de trabajo configuradas o hasta que aparezca el estado de fallo.

3. Resultados y discusión

El sistema SCADA, implementado a partir del MOVICON 11.5 (Progea, 2016), integra y supervisa desde la Sala de Control, mediante una PC todo el proceso y el flujo de información. El diagrama de navegación entre las principales pantallas del sistema y su accesibilidad se muestra en la figura 6.

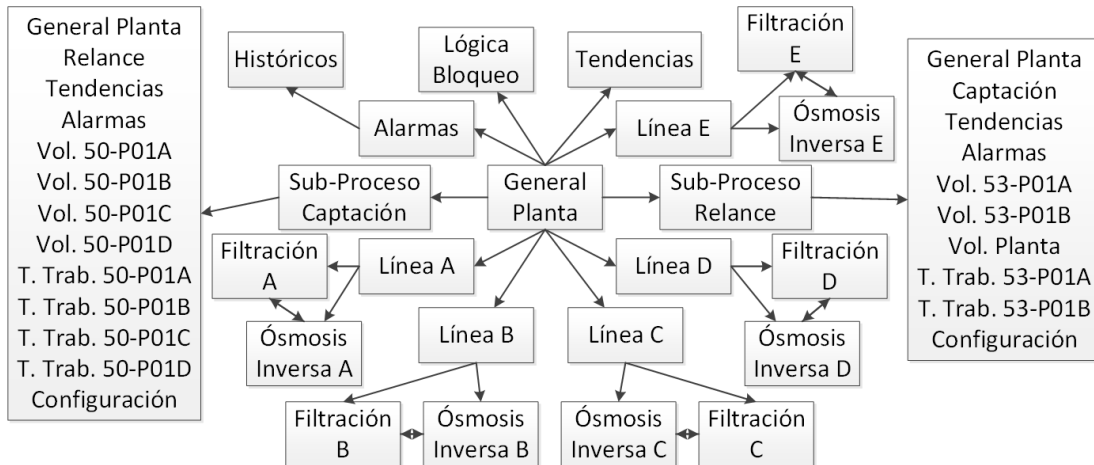


Figura 6. Diagrama de navegación en el SCADA para supervisar el proceso de desalinización
 Fuente: Elaboración propia.

Se sincronizan las operaciones de los equipos y se muestra el estado de todo el proceso de desalinización mediante 142 pantallas y 886 variables que garantizan la completa gestión de la planta como un único proceso. Además se integra la visualización de todas las variables en tiempo real y se proporciona el acceso a los tres sub-procesos referenciados en las figuras 2 y 3. Dando click sobre el área izquierda del sinóptico general (figura 7) se navega a la pantalla principal de captación de agua de mar, en el centro a la filtración y ósmosis inversa de la línea A, B, C, D o E y en la derecha al almacenamiento y distribución de agua osmótica.

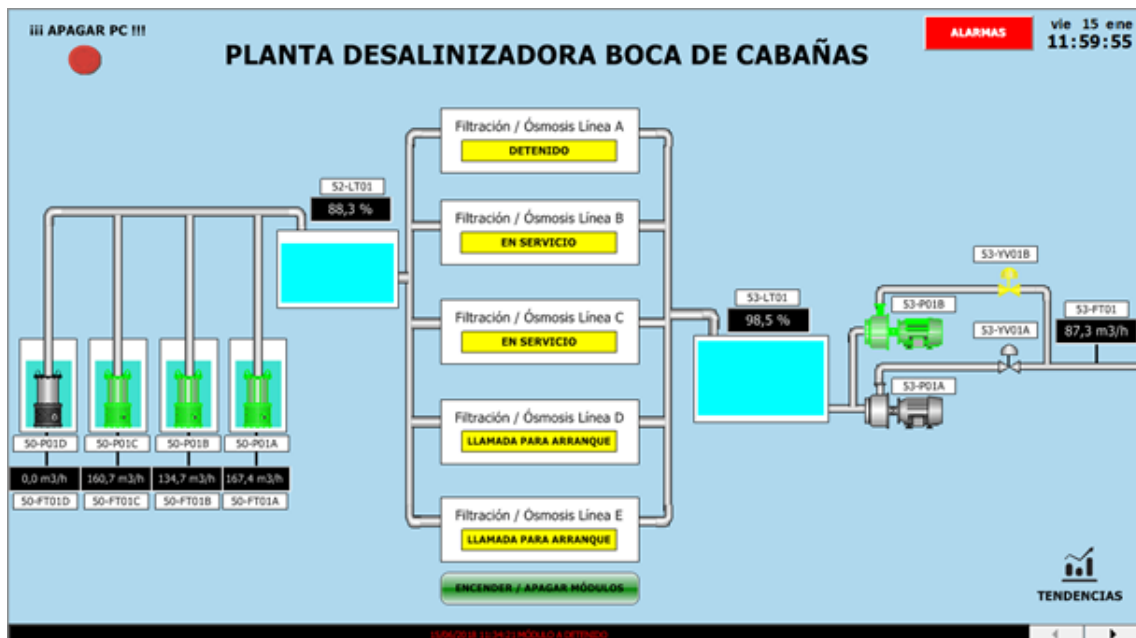


Figura 7. Pantalla general del proceso de desalinización.
 Fuente: Elaboración propia.

Se brinda la gestión del volumen bombeado y el tiempo de trabajo de cada equipo de bombeo sumergible de los pozos costeros de agua de mar, como se puede observar en la figura 8, donde

además del valor de las variables y el estado de los equipos de todo el sub-proceso, se observa el cálculo realizado de los volúmenes para evaluar el comportamiento de los equipos.

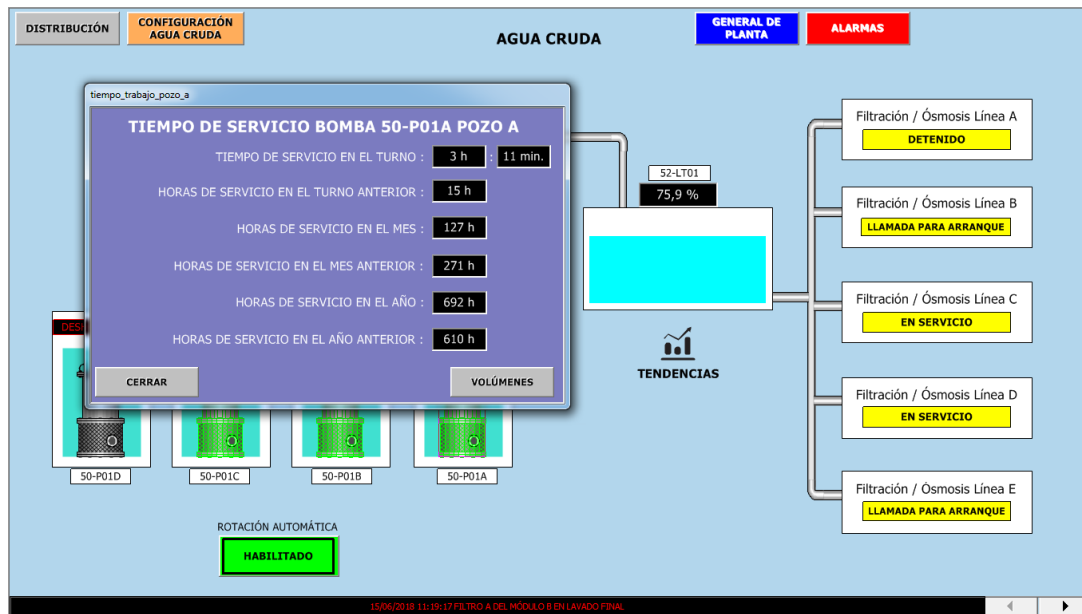


Figura 8. Sub-proceso de captación que muestra el volumen bombeado por un pozo.
 Fuente: Elaboración propia.

Encima de cada pozo se muestra en texto de color rojo “*Deshabilitado*” o en texto de color verde “*Habilitado*” según el estado impuesto por el sistema en el algoritmo de control, como se muestra en la figura 5. Esta lógica de control se puede habilitar o deshabilitar en el botón con etiqueta “*Rotación Automática*”, el cuál además muestra el estado de dicho régimen. Para efectuar esta operación se solicita el usuario y la contraseña del operador que junto a la fecha y hora de ejecución de la acción queda registrado en la tabla de eventos del sistema para futuras consultas por el personal competente, garantizando la seguridad del sistema.

También se puede ver el comportamiento del tanque de agua de mar o acceder a los gráficos de tendencias de los pozos para evaluar su comportamiento in situ o imprimirlo en formato pdf. Se puede acceder a los sinópticos de filtración, ósmosis inversa o a las alarmas de proceso.

Para la visualización de los procesos de ósmosis inversa se desarrollaron sinópticos en los cuales se muestra el estado de los procesos de pre-tratamiento de agua de mar, los valores de las presiones en los filtros multimedia y el filtro de cartucho, presiones de entrada y de salida en las membranas de ósmosis, así como las principales variables asociadas al, como valor redox, presiones y flujos de agua de mar, rechazo y agua osmótica obtenida, la temperatura y conductividad de esta última. Se muestra en cada línea de ósmosis el porcentaje de recuperación lo cual ayuda a mantener la línea en los parámetros para los que fue diseñada, además de aportar los datos para el cálculo de eficiencia del proceso.



Con la lógica de bloqueo y el algoritmo de sincronización entre los tiempos restante para el lavado de cada línea, se garantiza que solo se laven los filtros de una línea a la vez, así el agua de desagüe producto de la limpieza drena libremente logrando la efectividad del proceso.

Se generan gráficos de tendencias (figura 10) para todas las variables medidas aprovechando la utilidad de estas para el análisis del comportamiento de las variables de proceso. Se pueden guardar en formato pdf para ser analizadas por parte del personal especializado o para archivar determinado patrón de comportamiento en cierto período de tiempo.

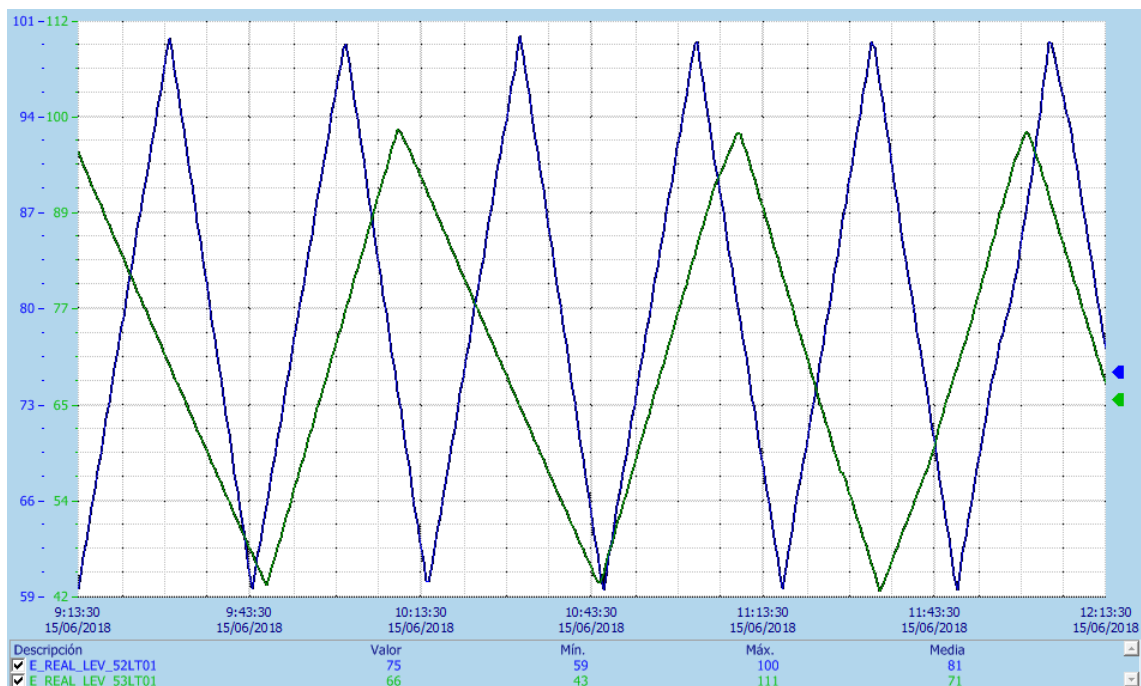


Figura 10. Tendencias del nivel de los tanques de agua de mar y agua osmótica.
Fuente: Elaboración propia.

4. Conclusiones

Con la integración de los pozos costeros en el sistema se logra sincronizar la cantidad necesaria de pozos activos con la cantidad de líneas de ósmosis activa, por lo que sólo existe la cantidad mínima de pozos encendidos para garantizar el consumo de las líneas de ósmosis y el discreto aumento del nivel del tanque, evitando las continuas paradas de las bombas sumergibles, a las cuales se les implementó además un ciclo de rotación, según su tiempo de trabajo.

Con la sincronización del arranque de los módulos se logra la sincronización del lavado de los filtros, eliminándose la sobrecarga de las bombas de inicio y las afectaciones del colector de drenaje de lavado, cuando coincidían dos o más líneas en el proceso de lavado. El sistema logrado integra el control, la gestión, la supervisión, el registro, la creación de gráficos de



tendencias y reportes de las variables asociadas a cada proceso como son nivel, presión, caudal, volumen, temperatura, conductividad y redox como una única planta.

Se ofrecen las herramientas para determinar la eficiencia de la planta, según el volumen de agua extraído del mar y el volumen de agua osmótica obtenida, todo esto gracias a la integración de todos los procesos en una arquitectura de comunicación que permita su gestión eficiente.

Como valor añadido se configura una aplicación Android que proporciona una visión general del comportamiento facilitando la interacción y la navegación con las diferentes áreas de proceso, en aras de dotar a los operadores, directivos y hasta los niveles más altos de gerencia de una herramienta informativa o decisiva según sea el caso.

5. Referencias bibliográficas

Álvarez de Zayas Dr. Cs. C. M. y Sierra Lombardía Dr. Cs. V. M. *Libro de Metodología La investigación científica en la sociedad del conocimiento*. Primera parte: Como se modela la investigación científica.

Benítez, I. *Proyectos Universidad-Industria: Herramienta clave de la automatización industrial integrada*. Evento CUPET, Santiago de Cuba, Cuba, Octubre 2018.

Da Mota, L. y Souza. R. *Automation of a water supply system for residences*. ITEGAM-Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications (ITEGAM-JETIA), 2017. Edition.10. Vol.: 03 ISSN ONLINE: 2447-0228. Disponible en DOI: <https://dx.doi.org/10.5935/2447-0228.20170037>.

García, J., Brito, S., Valdivia, L., Urquijo, O., Herrera, L. *Implementation of SCADA system to the central liquor factory*. ITEGAM - Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications, 2018. Edition.13 Vol: 04. ISSN ONLINE: 2447-0228. Disponible en DOI: <https://dx.doi.org/10.5935/2447-0228.20180009>.

Giannelli M., Jiménez, A., Cruz, A., Belbusti, L., Belbusti A. *El agua, sus usos y tecnologías de tratamiento*, Chematek S.p.A.- Protecno S.r.L., 2015. Disponible en <http://protecno srl.it/>.

Giannelli M., Jiménez, A., Cruz, A., Belbusti, L., Belbusti A. *Desalinización de agua de mar mediante ósmosis inversa*. Energy & Water, Chematek S.p.A.- Protecno S.r.L., 2017. Disponible en <http://protecno srl.it/>.

Giannelli M., Jiménez, A., Cruz, A., Belbusti, L., Belbusti A. *Revisión de los materiales para la membrana de ósmosis inversa para la desalinización. Desarrollo hasta el presente y potencial futuro*. Chematek S.p.A.- Protecno S.r.L., 2017. Disponible en <http://protecno srl.it/>.



II Convención Científica Internacional 2019
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD. PERSPECTIVAS Y RETOS

- González, J. *Modbus TCP*, (2013). Disponible en <https://prezi.com/v1lynpiw20t/modbus-tcp/>.
- Khawaji, A. D., Kutubkhanah, I. K., Wie J. M. *Advances in seawater desalination technologies*. ScienceDirect, Desalination 221 (2008), DOI:10.1016/j.desal.2007.01.067.
- López, A. *Organización de Naciones Unidas en Cuba evalúa proyecto de enfrentamiento a la sequía en Santiago de Cuba*. 22-Junio-2017 Disponible en <http://onu.org.cu/news/f4996018764411e7ba9e00163e211c9e/evaluan-proyecto-de-enfrentamiento-la-sequia-en-santiago-de-cuba/>.
- National Instruments. *Información Detallada sobre el Protocolo Modbus*, 2014. Disponible en <http://www.ni.com/white-paper/52134/es/#toc1>.
- Pérez, E. *Los sistemas SCADA en la automatización industrial. Tecnología en marcha*. Vol. 28, N° 4, Octubre-Diciembre 2015. Máster en sistemas modernos de manufactura y bach en laboratorista químico. Profesor universidad de Costa Rica, Recinto Grecia. Costa Rica. Correo electrónico: estebanperezlopez@gmail.com.
- Progea. *SCADA and HMI Platform, Productive and Energy Efficiency, Supervision, IoT Solution, Movicon 11.5 – Manuals*, Movicon 11.5, Jan 2016. Disponible en <https://www.progea.com/en/manuals/>.
- Protecno. *P&ID Filtración Líneas A-B-C-D-E, Container 20'*, No. de diseño C15-0096-100, Water Treatment Plants and Systems, 2015.
- Protecno. *P&ID Ósmosis Inversa Líneas A-B-C-D-E, Container 40'*, No. de diseño C15-0096-100, Water Treatment Plants and Systems, 2015.
- Protecno. *CHE-16-0129-603_02, Cuadro General*. Water Treatment Plants and Systems, 2015.
- Protecno. *Manual de operación de la planta de filtración y ósmosis inversa C15-0096-M01*, Water Treatment Plants and Systems, 2015.
- Protecno. *Manual de mantenimiento de la planta de filtración y ósmosis inversa C15-0096-M01*, Water Treatment Plants and Systems, 2015.
- Protecno. *Manual de mantenimiento de la planta de filtración y ósmosis inversa C15-0096-M01. Anexo 1 Manuales y Catálogos de Equipos*, Water Treatment Plants and Systems, 2015.
- Rodríguez, A. *Libro de Sistema SCADA*. Editorial: Alfaomega, Marcombo. Año de edición: 2013, 3ra Edición. ISBN 97884-26717-818.
- Siemens. *El rol crítico de SCADA en el futuro de la digitalización*. AADECA Revista Mayo-Junio 2017, Edición 5. Disponible en <http://editores-srl.com.ar/print/5081>.