

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FIE
Facultad de
Ingeniería Eléctrica

Departamento de Automática y Sistemas Computacionales

TRABAJO DE DIPLOMA

Título del trabajo: Propuesta de cliente OPC para la planta de cloro-sosa en reconversión tecnológica de ELQUIM

Autores del trabajo: Victor Manuel Lugo Ramírez

Tutores del trabajo: Julio Rubén Cañizares Abreu

Anailys Hernández Julián

Santa Clara, Junio 2018
Copyright©UCLV

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas
Facultad de Ingeniería Eléctrica
Departamento de Automática y Sistemas Computacionales



TRABAJO DE DIPLOMA

Propuesta de cliente OPC para la planta de clorosa en reconversión tecnológica de ELQUIM

Tesis presentada en opción al grado de
Ingeniero en Automática

Autor: Víctor Manuel Lugo Ramírez
vlugo@uclv.cu

Tutor: Ing Julio Rubén Cañizares Abreu
Dpto. de Automática, CEDAI Villa Clara
email: julioruben@cedai.com.cu

MSc Anailys Hernández Julián Prof. Instructor
Dpto. de Automática, Facultad de Ing. Eléctrica, UCLV

Santa Clara

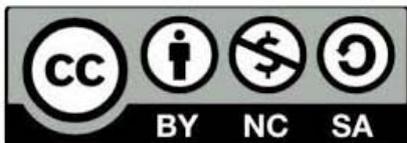
2018

“Año 60 de la Revolución”

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

Atribución- No Comercial- Compartir Igual



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-1419

PENSAMIENTO

“El único lugar donde el éxito viene antes de trabajar es en el diccionario.”

Albert Einstein

DEDICATORIA

A Dios

por regalarme cada día otra oportunidad de compartir y aprender de tantas personas maravillosas que también Él ha puesto en mi vida.

A mis padres

por el amor, la dedicación, la preocupación constante.

A toda mi familia

por ser un pilar tan importante en mi vida, porque cada momento que estamos juntos no tiene comparación, y aunque estemos lejos nos sentimos tan cerca; porque siempre me han llenado de fe, fuerza y ganas de seguir adelante.

A Ney

por ser tan especial, y transformar mi vida con tu presencia.

A mis amigos

porque cada uno me ha enseñado, son familia que aunque esté lejos no se olvida, y es un placer tenerlos en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por regalarme la vida y por permitirme llegar hasta aquí, por cada detalle que
tiene conmigo.

A mis tutores Anailys y Julio, por su disposición y ayuda en la elaboración de este
trabajo, por enseñarme continuamente durante el tiempo que hemos compartido. A
ellos, un eterno agradecimiento.

A Héctor y el profesor Valeriano que aunque no tenían la responsabilidad, me
apoyaron cuando los necesité.

A todos aquellos profesores, trabajadores y alumnos que durante la carrera han
influenciado mi formación profesional.

A los amigos y compañeros de estudio durante toda la carrera, por compartir juntos
estos 5 años.

A toda mi familia, a la de Mariney, que es mía también y a todos los que se han
preocupado por mí en un momento u otro.

A Naldi, muchísimas gracias por tu disponibilidad y apoyo en cada momento.

En general quisiera agradecer a todo aquel que de una forma u otra, ayudó a la
realización de este trabajo de diploma.

Santa Clara, Cuba, 2018

RESUMEN

Para la industria internacional el empleo de estándares de comunicación es cada vez más importante, OPC es uno de los más generalizados. El análisis de datos procedentes de los procesos es de vital importancia para mejorar parámetros de producción, valores comerciales e incluso diagnosticar problemas en la planta. Como parte del proceso de renovación tecnológica en ELQUIM quedó pendiente un módulo que permita almacenar en una base de datos los valores de las variables procedentes de la planta de procesos y queden disponibles en un formato estándar para ser accedidos incluso por la sección administrativa de la fábrica. En esta investigación se realiza una propuesta de software para resolver este problema. La selección se realiza a partir de criterios como los requerimientos de hardware y software, la posibilidad de soporte técnico a Cuba y el precio. La validez del software propuesto se demuestra mediante una simulación y una prueba real en la Electroquímica, donde se manifiesta la capacidad del software de satisfacer las necesidades requeridas.

TABLA DE CONTENIDO

	<u>Página</u>
PENSAMIENTO	I
DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	III
RESUMEN	IV
INTRODUCCIÓN	1
1. ESTUDIO SOBRE LA APLICACIÓN DEL ESTÁNDAR OPC EN SISTEMAS DE CONTROL	6
1.1. Introducción	6
1.2. Evolución y desarrollo de los <i>DCS</i>	6
1.3. Sistemas de control distribuido	8
1.4. Sistema de control distribuido <i>CENTUM VP</i>	12
1.5. Comunicación en los <i>DCS</i>	15
1.6. Estándar OPC	18
1.6.1. OPC DA	19
1.6.2. OPC HDA	20
1.6.3. OPC A&E	21
1.6.4. OPC UA	21
1.7. Empleo de OPC en la industria	22
1.8. Consideraciones finales	24
2. SOFTWARE PARA DATOS HISTÓRICOS	25
2.1. Introducción	25
2.2. Generalidades de los softwares de almacenamiento de datos históricos	25
2.3. Lenguaje SQL	28

2.4.	Exaquantum	29
2.5.	Criterios de selección	30
2.5.1.	Requisitos de ELQUIM	31
2.6.	Análisis de los principales software disponibles en el mercado	32
2.6.1.	Enterprise Historian	32
2.6.2.	Vijeo Historian	33
2.6.3.	OPC2DB	33
2.6.4.	Desktop Historian	34
2.6.5.	OPC Expert	35
2.7.	Descripción de las principales características del software	35
2.8.	Consideraciones Finales	37
3.	AJUSTE Y EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL SOFTWARE OPC- EXPERT	38
3.1.	Introducción	38
3.2.	Configuración de la estación de prueba	38
3.2.1.	Software adicional requerido	38
3.2.2.	Configuración de Windows	39
3.2.3.	Configuración del OPC Expert	41
3.3.	Frecuencia de muestreo	43
3.4.	Análisis de la simulación	44
3.5.	Análisis de la prueba en la Electroquímica	46
3.6.	Análisis económico y medioambiental	47
3.6.1.	Precios de adquisición en correspondencia con el tipo de licencia	47
3.6.2.	Capacitación	48
3.6.3.	Costo de actualización	48
3.6.4.	Soporte técnico	49
3.6.5.	Análisis medioambiental	49
3.7.	Consideraciones finales del capítulo	50
	CONCLUSIONES	51
	RECOMENDACIONES	52

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 56

INTRODUCCIÓN

En la industria de procesos existe la necesidad de supervisar datos distribuidos por toda la planta. Distintas arquitecturas de control se han desarrollado con el paso del tiempo, continuamente mejorando en cuanto a funcionalidades, espacio, escalabilidad, entre otras, en correspondencia con las crecientes necesidades de la propia industria. Ejemplo de estas arquitecturas son los sistemas basados en PLC (*Programmable Logic Controller*) y PC (*Personal Computer*), los sistemas SCADA (*Supervisor Control And Data Acquisition*) y los sistemas de control distribuido, hasta llegar hoy a modernos sistemas que mezclan las características favorables de uno y otro. En la industria química son particularmente utilizados con frecuencia los sistemas de control distribuido.

Un sistema de control distribuido (DCS por sus siglas en inglés) consiste en el enlace, por medio de una red de comunicaciones, de diversos nodos distribuidos físicamente, dotados de capacidad de proceso y enlazados a sensores y/o actuadores. La principal característica de los DCS es que el proceso de control tiene lugar en los nodos de manera coordinada. Un nodo es un procesador autónomo con su propio hardware: procesador (CPU), memoria, oscilador de reloj, interfaz de comunicaciones, e interfaz hacia el subsistema que controla. Las redes de comunicaciones orientadas al enlace de estos nodos son conocidas también como buses de comunicaciones o redes multiplexadas ([Moscoso, 2014](#)).

La modularidad y amplia gama de instrumentación disponible en el mercado de la automatización permiten que estos sistemas sean escalables desde una pequeña aplicación, hasta complejos sistemas de alta disponibilidad. Los principales fabricantes de DCSs son: Emerson con DELTA V y OVATION, Yokogawa con el CENTUM VP, Invensys con FOXBORO I/A, Honeywell con EXPERION y ABB con 800 XA, aunque existen otros fabricantes en el mercado de la automatización que afirman ofrecer sistemas de control distribuido, sin embargo, no cumplen con las características técnicas de un DCS ([Luz, 2015](#)).

En la industria química es de vital importancia la monitorización de la planta a fin de mantener el control sobre la calidad del producto. También, por medidas de seguridad, es importante que se pueda realizar de manera remota desde una sala de control. Para ello la comunicación se divide en diferentes niveles. Una posible distribución de estos,

en orden ascendente, es: nivel de dispositivo, nivel de control y supervisión, y nivel de gestión y optimización del proceso (Alves, 2003; Oyaga, 2003).

En el nivel inferior se establece la comunicación a nivel de campo entre dispositivos, normalmente desarrollada mediante buses de campo industriales como Fieldbus, PROFIBUS, CAN/CANopen/DeviceNet, etc. Estos dispositivos son accedidos por DCS y/o por sistemas SCADA, a un nivel medio. En el nivel superior se ubican las comunicaciones entre los programas de oficina, encargados de realizar tareas de gestión y optimización de la producción, y los dispositivos y software de los niveles inferiores (Alves, 2003).

Para el efectivo desarrollo de aplicaciones modulares y con mayor número de funcionalidades, es necesario que las mismas tengan una comunicación óptima con los datos del proceso. Aunque en el pasado, esta tarea de integración era ardua y difícil, esto cambia a partir del año 1996 con el surgimiento del estándar OPC (*OLE for Process Control*), que permite la interconexión y el intercambio de datos entre dispositivos y aplicaciones de software. Esta interfaz estándar hace posible la interoperabilidad entre aplicaciones de automatización y control, dispositivos y sistemas de campo y programas de gestión y oficina OPC (Mahnke, 2009a). De esta forma se reduce el desarrollo de varios *drivers* a uno solo, sobre el cual opera una interfaz OPC a la que acceden clientes heterogéneos como SCADAs, DCS, hojas de cálculo, etc (Alves, 2003).

De acuerdo a los requerimientos de las aplicaciones industriales, se han desarrollado varias especificaciones OPC, destacan entre ellas (Mahnke, 2009a):

- De Acceso a Datos (DA por sus siglas en inglés) describe el acceso a datos actuales de proceso.
- Alarmas y Eventos (A&E) describe una interfaz para información basada en eventos, incluido el tratamiento de las alarmas del proceso.
- Acceso a Datos Históricos (HDA) describe funciones para acceso a datos archivados.
- OPC de arquitectura unificada (UA) surge más tarde agrupando las funcionalidades de las especificaciones tradicionales y aportando un conjunto de nuevas posibilidades gracias a su arquitectura basada en servicios (Leitner, 2006).

Almacenar en una base de datos el comportamiento de las variables es siempre de interés para cualquier fábrica ya que permite futuros análisis, así como la generación de reportes para obtener parámetros de productividad de la entidad. Esta es una de las funciones que puede tener un cliente OPC (Miller, 2008).

Para desarrollar, generar y administrar la base de datos de históricos vía OPC puede emplearse un SCADA o un cliente OPC independiente. El uso de un SCADA supondría un alto grado de complejidad computacional si se trata de una aplicación relativamente

sencilla. Sin embargo, existen clientes OPC que son aplicaciones más ligeras, que requieren menor capacidad de procesamiento y rigor computacional, que están disponibles comercialmente, o pueden desarrollarse y son especializadas en estas funciones.

Existen compañías como Matrikon, National Instruments, Prosys, ExperTune, entre otras, que ofrecen clientes con todas las funcionalidades implementadas y con excelentes interfaces gráficas, las cuales los hacen idóneos para simulación y la solución final de este tipo de situaciones, permitiendo dejar de lado la creación ([OPC Foundation, 2018](#)). Como ejemplo de lo anterior se encuentran:

- MatrikonOPC Desktop Historian
- MatrikonOPC Client for ODBC
- Prosys OPC Classic Client
- Canary Labs Historian
- OPC Expert

La mayor parte de estos clientes se encuentran disponibles para descargar gratis, muchos de ellos, en versión de prueba. Se ofrecen clientes generales de prueba, manejo de datos, para datos históricos y bases de datos, para aplicaciones de alarmas, clientes para Microsoft Office, entre otros ([OPC Foundation, 2018](#)).

Para tener un software específico para la aplicación que se desee existe otra alternativa que consiste en el desarrollo de clientes OPC a partir de herramientas que brinda la propia fundación OPC. Esta variante requiere amplios conocimientos de desarrollo de software, por lo que es necesario que el usuario conozca detalles técnicos para lidiar con cada una de las especificaciones del estándar. La ventaja de este método es que no se necesita tener acceso a ningún SDK propietario ([Sánchez, 2010](#)).

En la Empresa Electroquímica de Sagua se lleva a cabo un proyecto de renovación tecnológica implementando un DCS CENTUM VP de la compañía japonesa Yokogawa. La inversión incluye la renovación de la Planta de Salmuera, así como la sustitución de las celdas de mercurio por un proceso donde se realiza la electrólisis a base de membranas. Estas transformaciones posibilitarán estabilizar las actuales producciones, disminuir los gastos por concepto de mantenimiento a la industria, reducir el consumo energético, y proteger el medio ambiente ([Vázquez, 2014](#)).

Entre los módulos del DCS CENTUM VP se cuenta con el Exaopc, que consiste en un servidor OPC DA para acceder a los datos del proceso y de automatización de la fábrica. Exaopc trabaja normalmente en el CENTUM VP en asociación con el cliente OPC Exquantum, que ofrece también Yokogawa, pero es compatible con otras aplicaciones de esta tecnología. Este cliente no fue adquirido como parte del proyecto de renovación

tecnológica de la fábrica por el alto costo que representaba su inclusión, la falta de asesoramiento técnico, además de que incluye un número de prestaciones que superan la explotación real que se le iba a dar. Por esta razón se hace necesario la selección de un cliente OPC que sirva para capturar los datos de procesos y permita almacenarlos de forma apropiada, de esta forma los datos pueden ser consultados posteriormente por operadores del sistema y por la sección administrativa de la empresa de ELQUIM.

En base a lo antes expuesto se plantea el siguiente **problema científico**: En ELQUIM no se dispone de un módulo que se encargue de almacenar y gestionar los datos históricos de la planta de modo que estén disponibles para análisis de operación del sistema y para la sección administrativa de la planta.

Con esta investigación se pretende cumplir los siguientes objetivos:

Objetivo general: Proponer un cliente OPC que permita registrar los datos de proceso de forma permanente y en un formato que permita su consulta posterior por terceros (otras aplicaciones).

Objetivos específicos:

1. Establecer los aspectos teóricos relacionados con sistemas de control distribuido en redes industriales con clientes OPC.
2. Seleccionar un cliente OPC compatible con el módulo Exaopc del CENTUM VP.
3. Evaluar mediante simulación y pruebas reales la propuesta realizada.

Para cumplir con los objetivos propuestos se han definido las siguientes tareas de investigación:

- Revisión bibliográfica sobre la temática relativa al empleo de clientes OPC que permitan almacenar datos en procesos industriales.
- Estudio sobre los criterios de selección para clientes OPC.
- Búsqueda de información sobre los principales clientes utilizados en la obtención y gestión de datos.
- Selección de un cliente OPC compatible con el módulo Exaopc del CENTUM VP.
- Implementación de la comunicación con un simulador para su posterior validación.
- Evaluación mediante simulación y pruebas reales de la propuesta realizada.
- Elaboración del informe científico de la investigación.

Hipótesis:

Un cliente OPC comercial garantiza el acceso a los datos de proceso y su almacenamiento de modo que puedan estar disponibles para otras aplicaciones incluso desde la red administrativa de la Electroquímica de Sagua.

Capitulario : La investigación incluye tres capítulos, además de las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos correspondientes. Los temas que se abordan en cada capítulo se encuentran estructurados de la forma siguiente:

Capítulo I: A partir de un estudio de la bibliografía especializada se presenta una descripción general de los sistemas de control industriales y los módulos de históricos empleados en ellos.

Capítulo II: Se realiza un análisis sobre diferentes clientes OPC, así como los aspectos fundamentales que pueden justificar su selección.

Capítulo III: Se realiza el ejercicio de configuración y prueba de la propuesta seleccionada y se analizan los resultados.

CAPÍTULO 1

ESTUDIO SOBRE LA APLICACIÓN DEL ESTÁNDAR OPC EN SISTEMAS DE CONTROL

1.1. Introducción

En este capítulo se aborda la temática del empleo del estándar OPC en los sistemas de control distribuido a partir del estudio de la bibliografía consultada. En un primer momento se hace referencia a la evolución y desarrollo de sistemas de control distribuido, así como las vías de comunicación. Luego se realiza una descripción del sistema *CENTUM VP*, que constituye el eje central de la presente investigación, abordando sus principales características y componentes. Se describe el estándar de comunicaciones OPC y sus principales especificaciones, para realizar un análisis sobre la utilización del mismo en diferentes sistemas de control.

1.2. Evolución y desarrollo de los *DCS*

Los conceptos de automatización comienzan con la revolución industrial. Los elementos que se utilizaban para ejecutar las decisiones eran mecánicos y electromagnéticos como motores, relés, contadores, entre otros. Presentaban el problema de que los tableros de control llegaban a tener grandes tamaños a medida que se hacían más complejas las automatizaciones (López, 2011).

El control automático de procesos se inicia alrededor de los años 40, con dispositivos neumáticos analógicos que envían y reciben señales de presión de aire. Posteriormente los controladores de un proceso comenzaron a ubicarse en una misma habitación como resultado de la creciente complejidad de los lazos de control (Creus, 2012). Sin embargo, se necesitaban dos líneas de señales neumáticas por cada lazo de control, una del sensor al controlador y la otra del controlador al actuador, y en plantas de grandes dimensiones estas líneas podían alcanzar cientos e incluso miles de pies de largo (Bateson, 1989).

A raíz de la Segunda Guerra Mundial se produce el descubrimiento del transistor en 1947, que pasa a sustituir a los tubos de vacío en los equipos electrónicos. De esta manera se reduce el tamaño de los armarios electrónicos y el número de averías por desgaste de componentes. El problema que se presentaba en ese momento era la flexibilidad: un

sistema de control sólo servía para una aplicación específica, no podía ser reutilizado (López, 2011).

La primera aplicación de la computadora digital en el control de procesos se produce en 1958 en la refinería Texaco de Port Arthur en Texas (McMahon, 1979). Uno de los primeros métodos empleados para el control de procesos a través de computadoras digitales fue el denominado Control Digital Directo (DDC) que consiste en el reemplazo de los controladores analógicos por una voluminosa computadora digital.

Para la década de los 60 la instrumentación electrónica había alcanzado un grado de desarrollo tal que podía sustituir a la neumática. Bedford Associates desarrolla el primer PLC de la historia (López, 2011) con las características que la industria precisaba: reutilizable, adaptado a entornos agresivos, fácilmente programable por técnicos eléctricos e implementado con semiconductores. Se utilizaron para controlar procesos secuenciales.

En 1960, se implementó un sistema DDC en una planta de amoníaco de la compañía Monsanto en Louisiana (McMahon, 1979). Estos sistemas no pudieron competir con el controlador analógico debido a su alto costo. Además, si el controlador fallaba el proceso quedaba fuera de control. Una solución era colocar una computadora redundante, o suplente que tomaba el control del proceso cuando la computadora principal fallaba, pero esto incrementaba aún más los costos. Existía otro método que usaba controladores analógicos conectados con la computadora principal y dio origen a lo que se conoce como control supervisor o control de puntos de consigna (SPC, *Set Point Control*). En este caso la computadora se limitaba a un rol meramente supervisor, o sea el control y cálculo de los SPC y su envío a los controladores. La primera aplicación reportada se hizo en un avión de la Corporación Huges (Rojas, 2010).

Las computadoras de control de procesos se convirtieron en mini-computadoras a mediados de los 60, lo que hizo disminuir los costos, aunque no lo suficiente para desplazar a los sistemas analógicos. A mediados de los años 70 el hardware de control digital se consolidó definitivamente en el mercado, como resultado de la introducción del microprocesador, lo que permitió a la tecnología digital competir en costos con la analógica. La incorporación del microprocesador y las memorias semiconductoras permitió reprogramar sin recablear. Además, posibilitó realizar cálculos matemáticos y comunicarse con el ordenador central que controla la planta, enviando órdenes a los autómatas que gobiernan cada proceso (López, 2011). En este entorno nacen los sistemas de control distribuido (DCS).

El primer sistema de control distribuido, el TDC-2000, fue desarrollado por la firma Honeywell (Creus, 2012), sus primeras pruebas de campo se efectuaron en 1975 en

una refinería del grupo Exxon en Ontario, Canadá y fueron todo un éxito. Hacia fines de 1978, Honeywell había vendido a la industria varios cientos de sistemas TDC (McMahon, 1979).

La introducción de la computadora al control de procesos implicó el desarrollo de convertidores de señales, transductores AD (analógico-digital) y DA (digital-analógico), que permitieron la comunicación con los dispositivos de campo (sensores, transmisores y actuadores). Entre finales de los 70 e inicios de los 90 continúan las mejoras: mayor memoria, capacidad de gobernar lazos de control, más tipos de E/S, lenguajes de programación más potentes, mejor comunicación, mayor velocidad del proceso, dimensiones más reducidas, técnicas de control más complejas, así como la capacidad de programar en múltiples lenguajes como contactos, lista de instrucciones, GRAFCET, entre otros (López, 2011).

En los 90 aparecen los sistemas de control basados en computadora personal (PC por sus siglas en inglés) que tenían mucho que ofrecer a la hora de integrar funcionalidad avanzada: conectividad de base de datos, integración, control analógico y simulación basados en Web y comunicación de datos con terceros. Su vulnerabilidad era el sistema operativo estándar y el hardware demasiado frágil para brindar un control industrial confiable (López, 2011).

Como resultado de todas estas innovaciones se llegó a los modernos controladores híbridos compactos, sencillos y modulares, con gran variedad de aplicaciones, incluso domésticas. Estos poseen grandes posibilidades de ampliación y una tendencia hacia la evolución continua de los sistemas de comunicación, constituyendo redes de autómatas que permiten implementaciones más complejas y seguras (Moreno, 2001).

1.3. Sistemas de control distribuido

En cualquier sistema de control se pueden encontrar dos áreas bien definidas: una es la parte operativa y otra la parte de control. En la parte operativa se ubican los dispositivos de hardware y software que brindan la información necesaria para llevar a cabo las operaciones de planta necesarias, con una interfaz amigable y asequible de entender para el operador. En la parte de control se encuentran los dispositivos de control (PLC, DCP y PC industriales) que permiten llevar a cabo las acciones de control en conjunto con los actuadores. Entre estos dispositivos hay comunicación vertical y horizontal. La vertical es desde la parte de control hacia la operativa y viceversa. Las comunicaciones horizontales se realizan entre dispositivos en el mismo nivel (Moreno, 2001).

Las arquitecturas más conocidas de control industrial, son el control centralizado y el distribuido, aunque cabe aclarar que no son las únicas y muchas soluciones de automatización son una mezcla de estas que se adapta a las necesidades específicas de cada situación.

Control Centralizado

Desde sus orígenes prácticamente todas las técnicas de control y estimación han sido desarrolladas para esquemas centralizados. En estos, los sensores y actuadores de la planta están conectados a una unidad central que recibe y procesa la información (Moreno, 2001).

La arquitectura centralizada está constituida por un computador, una interfaz de proceso y una estación de trabajo (interfaz de operación). Las decisiones se toman en el computador central, pero alrededor de él se acoplan una serie de periféricos, algunos de ellos especializados capaces de realizar determinadas tareas. Estos periféricos intercambian datos y reciben órdenes del computador central mediante redes de comunicaciones.

La principal ventaja del control centralizado es que su arquitectura facilita el flujo de información y hace posible que los objetivos de optimización global del proceso puedan ser alcanzados, pero tiene la desventaja que depende de la habilidad del computador. Para solucionar esto se aplica redundancia de servicios críticos (Moreno, 2001).

Control Distribuido

Los sistemas de control distribuido son de especial interés en la industria química, la petrolífera y muchas otras. La modularidad y amplia gama de instrumentación disponible en el mercado de la automatización permiten que estos sistemas sean escalables desde una pequeña aplicación, hasta complejos sistemas de alta disponibilidad.

Diferentes autores han propuesto definiciones para esta arquitectura (Creus, 2012; Yokogawa, 2017; Villajulca, 2011). Según Creus el control distribuido es un sistema jerarquizado en varios niveles con uno o varios microprocesadores controlando las variables que están repartidas por la planta, conectados, por un lado, a las señales de los transmisores de las variables y, por el otro, a las válvulas de control. La filosofía de este tipo de control es distribuir el riesgo de fallo, limitando sus consecuencias, agrupando los instrumentos de tal forma que los diversos estados de operación, reserva y espera que puedan adoptar los microprocesadores de control disminuyan la probabilidad de la ocurrencia de dos o más fallos simultáneos. Este trabajo se realiza apoyado en esta definición.

Los sistemas que presentan esta arquitectura aportan diversas ventajas con respecto a otros ya que se desarrollan y diseñan a base de módulos seccionados que bien pueden

ser de hardware o de software. Esto simplifica un cambio interno en su arquitectura y facilita la ubicación de fallas o averías. Además, estos sistemas cuentan con un amplio campo de algoritmos de regulación o control, que generalmente, son seleccionables por medio de menús y también son de fácil mantenimiento.

Un parámetro interesante es la llamada disponibilidad, es decir, la fracción de tiempo que el sistema es operable. Por ejemplo, una disponibilidad del 80 % significa que el sistema trabaja el 80 % del tiempo, mientras que el 20 % restante está en reparación. En los sistemas de control distribuido, la disponibilidad típica varía desde el 99,2 % hasta el 99,9 %, dependiendo de la calidad del equipo, de la existencia de piezas de recambio críticas y del mantenimiento. Por lo tanto, si el usuario dispone en la planta de dichas piezas, y ha contratado un buen mantenimiento, la seguridad de funcionamiento es clara. La disponibilidad depende de la configuración de montaje de los instrumentos (Creus, 2012).

A diferencia del DDC que es un sistema altamente centralizado, el DCS, como su nombre lo indica, distribuye las tareas de control entre un grupo de microprocesadores en diferentes ubicaciones dentro de la planta y que se encuentran interconectados a través de una red de comunicación industrial, lo que explica su utilización en industrias como refinerías, cervecerías y plantas de potencia, que involucran numerosos lazos de control. Una arquitectura común consiste en establecer 5 niveles (Sinnot, 1993; López, 2011).

En el nivel 1 o nivel de lazo se ubican los componentes que están en contacto con el proceso:

- 1) Módulos de control (CM), que están constituidos por controladores digitales básicos, capaces de realizar controles PID y otros algoritmos de control basados en sumas, multiplicaciones, divisiones, relaciones, raíces cuadradas, contadores, etc; y controladores digitales multi-funcionales que pueden desempeñar estrategias de control avanzadas.
- 2) Módulos de adquisición de datos (DM), que se utilizan principalmente para recopilar grandes cantidades de datos del proceso.
- 3) Controladores lógicos programables (PLC), que se emplean para paradas de emergencia y procesos discretos o por lotes y semi-lotes.

En el nivel 2 se colocan las estaciones o consolas del operador, que son las interfaces hombre-máquina fundamentales del DCS y que se localizan físicamente cerca del proceso.

Las estaciones del operador son capaces de proporcionar una vista amplia del proceso, pero con la habilidad adicional de enfocarse en un área específica que necesite atención.

La consola consiste generalmente de una computadora con pantalla, teclado y ratón. Desde la estación pueden efectuarse funciones como introducción de instrucciones hacia los controladores (cambios de modo, punto de operación, salida del controlador), solicitud de información de dispositivos y despliegue de estado de alarmas y de reportes de operación.

El nivel 3 consiste de una computadora central o anfitrión (*host*) que se utiliza para supervisar varias áreas de proceso. Entre las funciones que ejecuta pueden mencionarse: paradas y arranques automáticos, optimización, simulación de procesos e informes de tendencias de largo plazo. Aquí se produce la primera concentración masiva de información. En este nivel se sitúa lo que algunos han denominado la “interfaz de ingeniero”, es por ello que a las estaciones de operador de este nivel se les denomina “estaciones de ingeniería”. Las estaciones de este nivel tienen derechos administrativos sobre el DCS y pueden utilizarse para tareas como la instalación del sistema, el diseño de lazos de control y el diseño de estrategias de control mejoradas.

En el nivel 4 se pueden desempeñar tareas de programación de mantenimiento, control de la producción, grabación y adquisición de datos históricos de largo plazo, simulación y optimización.

El nivel 5 es un centro neurálgico (*hub*) y se aplica en compañías que coordinan las operaciones de varias plantas distribuidas sobre un área geográfica grande. Se ubica en la planta central de la organización y la comunicación con las otras plantas se realiza a través de línea telefónica o cableado directo. A menudo se utiliza tecnología de fibra óptica (Sinnot, 1993).

El control distribuido ha evolucionado a lo largo de los años en los siguientes aspectos (Creus, 2012):

- Controladores multifuncionales para usarse en procesos discontinuos en la modificación fácil y repetitiva de operaciones (*recipes*), incluyendo control lógico y secuencial, paradas de emergencia, compensadores y diversos algoritmos de control.
- Aplicaciones crecientes en el área de modernización de plantas.
- Microprocesadores cada vez más rápidos.
- Apoyo cada vez más perfeccionado al operador, la producción y el mantenimiento, en su integración en el manejo de la planta (consolas, control avanzado, módulos históricos, etc.)
- Perfeccionamiento en las vías de comunicaciones utilizando cables coaxiales y fibra óptica, así como nuevos protocolos de comunicaciones.

1.4. Sistema de control distribuido *CENTUM VP*

CENTUM VP es un nuevo concepto introducido por Yokogawa para garantizar un control de planta seguro y fiable. Tiene como objetivo crear un estado de gestión mejorada en la operación en plantas industriales donde el personal está preparado, bien informado y listo para realizar acciones que optimicen y mejoren la rentabilidad de la planta. Esta iniciativa elimina el tiempo improductivo, mejora la utilización de activos y permite adaptar la producción rápida y efectiva a las condiciones cambiantes del mercado (Yokogawa, 2018b).

Es la octava generación del sistema CENTUM, sucede a los CS1000/CS3000. Se asegura la total compatibilidad y consistencia con versiones anteriores. Al mismo tiempo que es capaz de realizar las funciones tradicionales de los DCS, como son el monitoreo y control de las plantas industriales, incorpora otras funciones relacionadas con la integración de información, gestión de recursos y soporte de operaciones, logrando un entorno operacional uniforme y eficaz (Oda, 2008).

CENTUM VP proporciona una mejora de operación suministrando información en su contexto y permitiendo fácilmente el acceso a todas las funciones. Esta arquitectura ha sido diseñada para potenciar las decisiones de operación en tiempo real en las plantas industriales (Yokogawa, 2018b).

Las ventajas de CENTUM VP son las siguientes (Oda, 2008):

- **Arquitectura Unificada, una Base de Datos única en tiempo real.**
Las operaciones de control en plantas industriales requieren numerosos componentes funcionalmente independientes como son: el monitoreo, el control de la producción, la gestión de la información, la gestión de recursos y el soporte de operaciones. Generalmente estas funciones son realizadas por una gran variedad de productos de diferentes fabricantes. Esto significa que las plantas son operadas por una variedad de elementos de diversos sistemas, generando con ello retrasos y barreras, que limitan las operaciones. Sin embargo, el CENTUM VP crea una única base de datos en tiempo real, creando la base para un entorno unificado de operación.
Esta nueva arquitectura mejora la eficacia de la información, aumentando la seguridad y la rapidez de las operaciones y el control de planta. Con esta base de datos unificados, CENTUM VP dispone de una única fuente de datos y aplicaciones avanzadas que gestionan la información de la planta estabilizando el proceso. Un rápido y flexible despliegue de estas aplicaciones permite al usuario incrementar la seguridad, disponibilidad y rendimiento de la planta, simplificando la gestión y minimizando por tanto costos y favoreciendo el ciclo de vida de la planta.
- **Alta fiabilidad y compatibilidad.**

CENTUM VP utiliza la fiable y exclusiva tecnología de Yokogawa “Pair and Spare”, permitiendo la característica de redundancia en sus procesos, minimizando fallas y manteniendo la disponibilidad del sistema líder en la industria con siete 9 (99.99999 %). Al mismo tiempo, es completamente compatible con sus antecesores CENTUM CS1000/CS3000 y asegura una migración directa y flexible con anteriores generaciones del CENTUM. De este modo, los usuarios pueden mantener sistemas existentes mientras amplían sus plantas o sus sistemas con un nuevo DCS.

- Entorno unificado e intuitivo.

Los nuevos gráficos han sido diseñados para ser más sencillos y facilitar su operación. La interfaz hombre-máquina (HMI) también ha sido diseñada para facilitar el acceso rápido y fácil a la información. Otra capacidad de esta HMI, es la de visualizar el conocimiento operacional favoreciendo su estructuración en forma de “modelos cognitivos”, lo que permite por tanto un trabajo más inteligente. Esta HMI aprovecha la potencia de los sistemas integrados de control de producción, asegurando que los usuarios capten la adecuada información para actuar de la manera más apropiada.

- Sistema escalable e integrable.

CENTUM VP tiene interfaces abiertas que facilitan acceso a datos de sistemas de supervisión como sistemas de planificación de recursos empresariales (ERP), sistemas de ejecución de fabricación (MES), y los sistemas de información de laboratorio (LIMS); esto facilita la creación de un sistema de información para la gestión estratégica de una empresa. Es un sistema escalable y compatible, ya que está diseñado para trabajar con los sistemas existentes, y permite crecer con los usuarios, reduciendo el costo total de propiedad. CENTUM VP es compatible con varias familias predecesoras y se puede integrar con otros sistemas de control. Sistemas como el CENTUM V y CENTUM XL pueden ser migrados a CENTUM VP sin cambiar dispositivos de campo ni el cableado de las tarjetas de E/S en las FCS (Estación de Control de Campo).

La figura 1-1 muestra un ejemplo de configuración para un sistema de control mediante el empleo de CENTUM VP (Oda, 2008).

Lo primero que se aprecia en una arquitectura del sistema CENTUM VP son sus estaciones de ingeniería (ENG) y de operación (HIS), las cuales se disponen en las áreas gerenciales, administrativas e ingenieriles. En relación con el control y supervisión se disponen de forma separada, paralela o combinada numerosos equipos denominados de alta gama por el fabricante (STARDOM, PROSAFE-RS, CENTUM VP y PLC), lo cual garantiza respaldo y alta eficiencia.

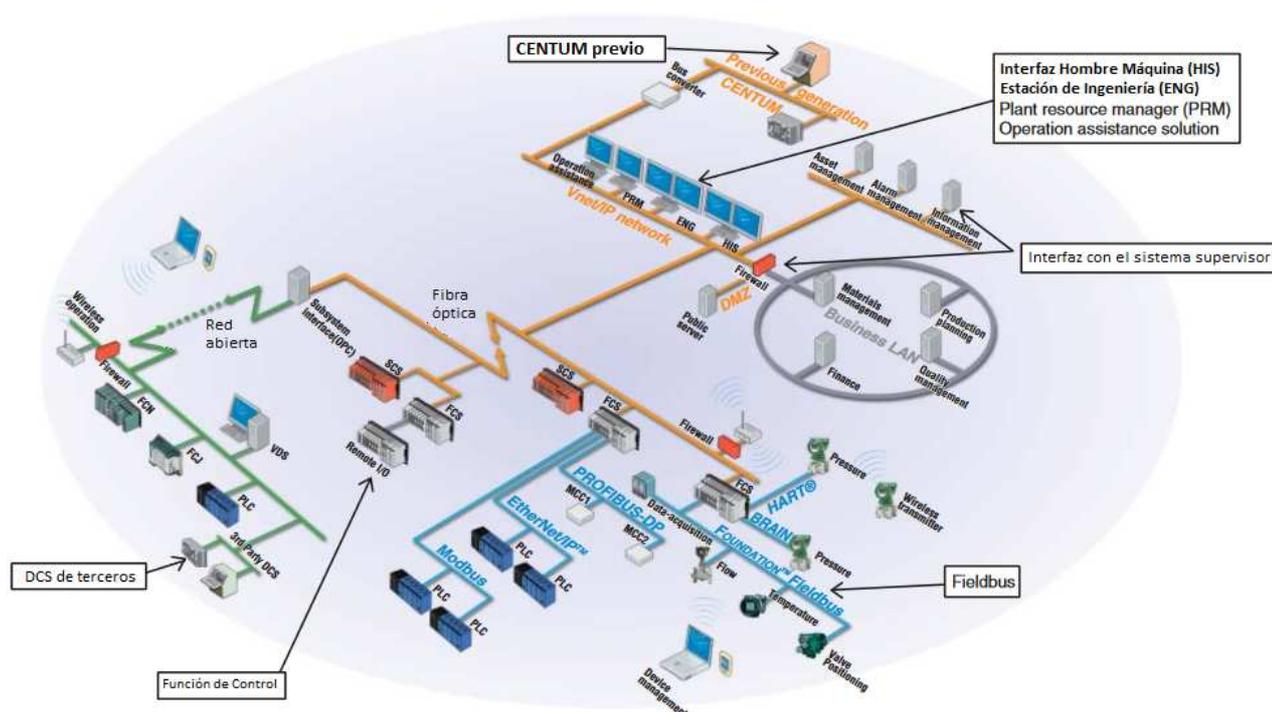


Figura 1–1: Ejemplo de configuración con el empleo de *CENTUM VP*.

Por último, en contacto directo con los procesos, se dispone de una gran variedad de instrumentación con comunicación por medio de buses de campo predominantes en el mercado actual de la automatización.

Los componentes del sistema CENTUM VP se muestran en la figura 1–2 (Luz, 2015). Estos son:

- Interfaz humana: Estación de ingeniería y de Operación.
- Estación de control de campo: Soporta un amplio conjunto de buses de campo, incluyendo Fieldbus, HART, Modbus, DeviceNet y Profibus.
- Administrador de recursos de la planta (PRM): Permite la gestión de activos de la empresa.
- Estación de entrada unificada (UGS): Es una estación de Vnet/IP, integra un subsistema de controladores a un sistema de CENTUM VP. Esta estación se conecta directamente con los controladores o a través de un servidor OPC. Con el UGS, una HIS puede operar y controlar los controladores de los subsistemas de la misma manera que se opera desde una FCS.
- Estación de entrada genérica de subsistemas (GSGW): Permite la integración con servidores OPC.
- Exaopc: Resulta útil para servir datos vía OPC, alarmas y eventos, así como el historial de acceso a los datos y servidores.

- Exaquantum: El sistema de gestión de información de las plantas (PIMS) puede estar estrechamente integrado con CENTUM VP para recoger y almacenar datos e históricos de los procesos.
- Comunicaciones: Vnet/IP es una red basada en el protocolo de internet con velocidad de transmisión de 1 Gbps soportando los diferentes protocolos de comunicación que están disponibles en el sistema CENTUM VP.

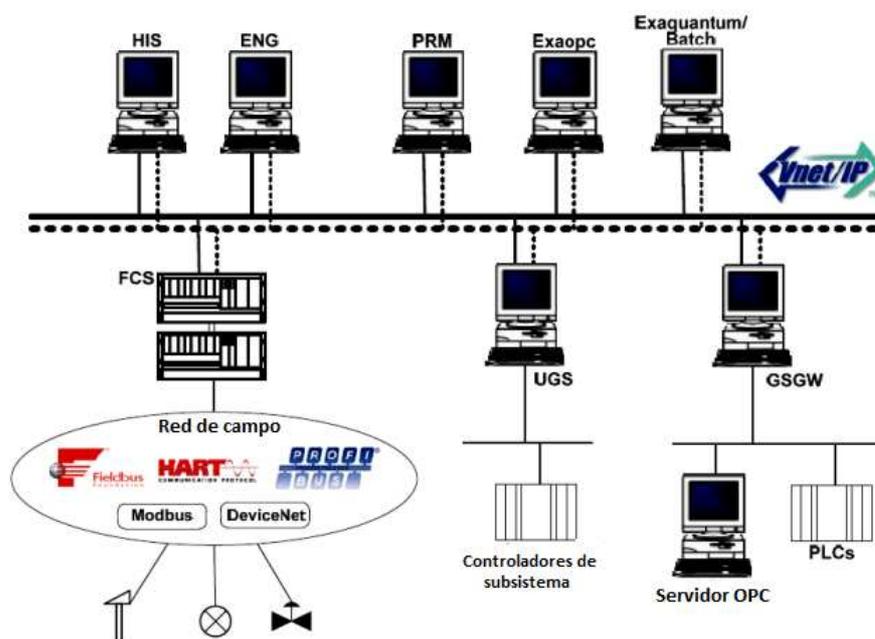


Figura 1-2: Configuración básica del *CENTUM VP*.

1.5. Comunicación en los *DCS*

La comunicación entre los distintos niveles de un DCS y entre elementos de un mismo nivel se efectúa a través de una línea principal de información o ruta de datos (*data highway*).

Hay dos tipos principales de LAN que tienen aplicación en los DCS: las LAN de alto desempeño que utilizan cable coaxial como medio de transmisión de datos y son capaces de transmitir a distancias de más de 3 kilómetros y las LAN de bajo costo que usan pares de alambres entrelazados y protegidos, que pueden transmitir datos en distancias de alrededor de 300 metros (Creus, 2012). Entre las LAN que se usan en los DCS se puede citar Ethernet TCP/IP desarrollada por Siemens (Georgoudakis, 2003).

Toda ruta de datos posee un protocolo. Este consiste en un conjunto de reglas que gobiernan la transferencia de información en la línea y es manejado por comandos de software desde la estación de ingeniería. Los protocolos de las rutas de datos son generalmente propietarios, es decir, dependen del fabricante del DCS (Creus, 2012).

Un bus de campo es un sistema de comunicación digital de bidireccional que interconecta dispositivos de campo, es decir, una red de área local entre instrumentos. Entre las ventajas asociadas a los buses de campo, pueden mencionarse (Georgoudakis, 2003):

- Minimización del cableado.
- Transmisión de múltiples datos.
- Posibilidad de descarga de funciones básicas del cuarto de control.
- Conexión a redes Ethernet para sistemas grandes.

Aunque en la actualidad se utilizan al menos cinco protocolos de buses de campo diferentes, los más importantes en el área de procesos son HART, Profibus y Foundation Fieldbus.

El protocolo HART (*Highway Addressable Remote Transducer*) fue introducido en 1986 por Rosemount Inc. para aprovechar las ventajas de la comunicación a través del bus de campo, pero sin renunciar bruscamente a las comunicaciones analógicas tradicionales. Este protocolo preserva la señal analógica, sobre la que se superpone un tren de pulsos digitales, de manera que la señal de proceso se transmite a través de una señal analógica, mientras información adicional (parámetros, otra variable, calibración, rangos de datos, información del producto, datos de diagnóstico, etc) se transmite simultáneamente a través de la línea digital (Shi, 1995).

Profibus (*Process Field Bus*) es un protocolo para un bus de campo digital desarrollado por el Ministerio Federal de Investigación y Tecnología de Alemania y 18 empresas de ese país. Este se encuentra presente en multitud de plantas alrededor del mundo.

Foundation Fieldbus es un protocolo que persigue la estandarización de los protocolos de comunicación digital, al menos esa fue la idea de la organización Fieldbus Foundation, creada en 1994 (Kaschel, 2001) para desarrollar un bus de campo universal. Sin embargo, aunque el número de usuarios se ha incrementado en los últimos años, los resultados obtenidos hasta el momento distan grandemente de lo esperado. Foundation Fieldbus es un protocolo de comunicación digital bidireccional orientado mayormente a las industrias de proceso continuo.

Debido a que la comunicación entre los diferentes protocolos no es posible, se desarrolló OPC (*OLE¹ for Process Control*) basado en la tecnología de objetos de Microsoft, que permite usar un estándar común a todos los fabricantes y desarrolladores de sistemas de control industrial tal y como se explica más adelante. OPC es un estándar abierto que permite intercambiar datos entre dispositivos de campo y aplicaciones de computadora de diferentes fabricantes. Los orígenes de OPC se remontan a finales de 1995 y principios de 1996 cuando se presentó el primer documento sobre el estándar, como resultado del trabajo de un grupo formado por Fisher-Rosemount, Intellution, Intuitive Technologie, OPTO 22, Rockwell Software y Microsoft. La primera versión de la especificación OPC fue emitida en agosto de 1996 y los primeros productos comerciales aparecieron un año después (Villarrubia, 2002).

Sin embargo, la necesidad de vincular el desarrollo a una única arquitectura para implementar sistemas MES no es posible. Existen arquitecturas abiertas disponibles, desarrolladas por organizaciones independientes, que permiten el mismo grado de interoperabilidad y flexibilidad con las ventajas intrínsecas de independencia del proveedor. Una de estas arquitecturas es CORBA (*Common Object Request Broker Architecture*), desarrollada por OMG (*Object Management Group*) y propone un ajuste para el desarrollo de la interoperabilidad entre objetos de software, independientemente de la plataforma en la cual son ejecutadas, el lenguaje de programación en el cual son implementados y el proveedor que los desarrolló (Blanco, 2003).

Aunque CORBA no fue especialmente diseñado para sistemas industriales, está ganando popularidad en la industria automatizada (Traub, 1999). Combinando el potencial de esta arquitectura para objetos distribuidos con herramientas modernas como el lenguaje de Java (independiente de plataforma) y el uso de PC en el nivel de planta, toda la infraestructura necesaria está disponible para implementar completamente la plataforma y manejar soluciones independientes en sistema MES que no necesitan estar atadas al medio ambiente del Windows de la PC y pueden estar extendidas para plataformas de distintos tamaños (Blanco, 2003).

CORBA es una arquitectura abierta e independiente y fue diseñada con los siguientes objetivos: orientación a objetos, transparencia de localización, independencia de un lenguaje de programación e interoperabilidad. El modelo OMA (*Object Management*

¹Object Linking and Embedding es un sistema de objetos y un protocolo desarrollado y distribuido por Microsoft que permite la creación de documentos compuestos de vínculos a componentes como imágenes o texto, de los que sólo posee la referencia.

Architecture) estructura los componentes de la aplicación en cuatro grandes categorías en función de el nivel de reusabilidad de los mismos:

- **Horizontal Facilities:** utilizables como servicios completos en un amplio rango de aplicaciones.
- **Common Object Services:** utilizables como bloques elementales de construcción de aplicaciones ofrecen servicios preconstruidos garantizados que simplifican el desarrollo de aplicaciones complejas.
- **Domain Facilities:** proporcionan componentes reutilizables en un dominio concreto de aplicación.
- **Application Specific Objects:** objetos especialmente construidos para una aplicación concreta.

1.6. Estándar OPC

Normalmente, los sistemas de control industrial están compuestos por diversos dispositivos de distintos fabricantes, que utilizan protocolos de comunicaciones específicos. Tradicionalmente el acceso a los distintos datos, y el intercambio de estos entre programas, se realizaba utilizando controladores y librerías específicas. De esta manera cada aplicación cliente debía tener los *drivers* específicos para el acceso a un dispositivo, con lo que se multiplicaba el esfuerzo de desarrollo para permitir que un dispositivo fuera compatible con el mayor número de aplicaciones posibles (Alves, 2003).

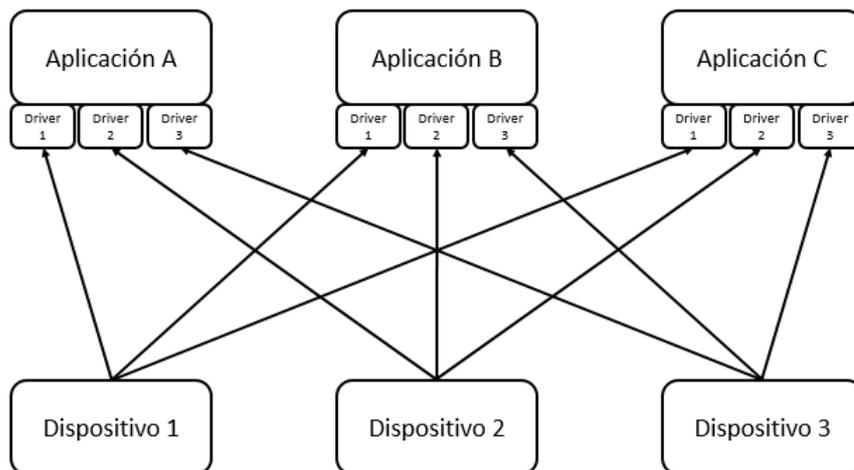


Figura 1–3: Esquema de la conectividad antes del surgimiento de estándares como *OPC*.

Una posible solución para este problema consiste en el desarrollo de un sistema que permita un acceso uniforme y estándar a los datos. Pensando en esta solución, un conjunto de grandes empresas de hardware y software, en colaboración con Microsoft, se juntaron para definir un estándar para la intercomunicación de datos llamado OPC,

basado en comunicaciones Cliente-Servidor. De esta manera quedan disponibles en el servidor los datos del proceso y clientes de orígenes heterogéneos pueden acceder a ella. Esta interfaz estándar hace posible la interoperabilidad entre aplicaciones de automatización y control, dispositivos y sistemas de campo y programas de gestión y oficina (Mahnke, 2009a).

El estándar OPC promueve interoperabilidad tanto horizontal como verticalmente en la empresa a fin de que pueda reducir costos de integración, implementación rápida y lograr una mayor eficiencia de operación (McCarthy, 2014). Maneja integración creando un “bus del software” a fin de que las aplicaciones necesiten sólo conocer los datos requeridos de fuentes de datos OPC, no cómo conseguirlos. Esto beneficia tanto a los desarrolladores de aplicaciones como a los vendedores de dispositivos de control. En el lado de las aplicaciones, los dispositivos son más fáciles de usar si proveen una interfaz consistente a fin de que las aplicaciones sean de menor tamaño y más simples para desarrollar y mantener. En el lado del suministrador de dispositivos, se requiere que los controladores de los mismos sólo provean datos en un solo formato, según las especificaciones OPC (Venkatesh, 2007).

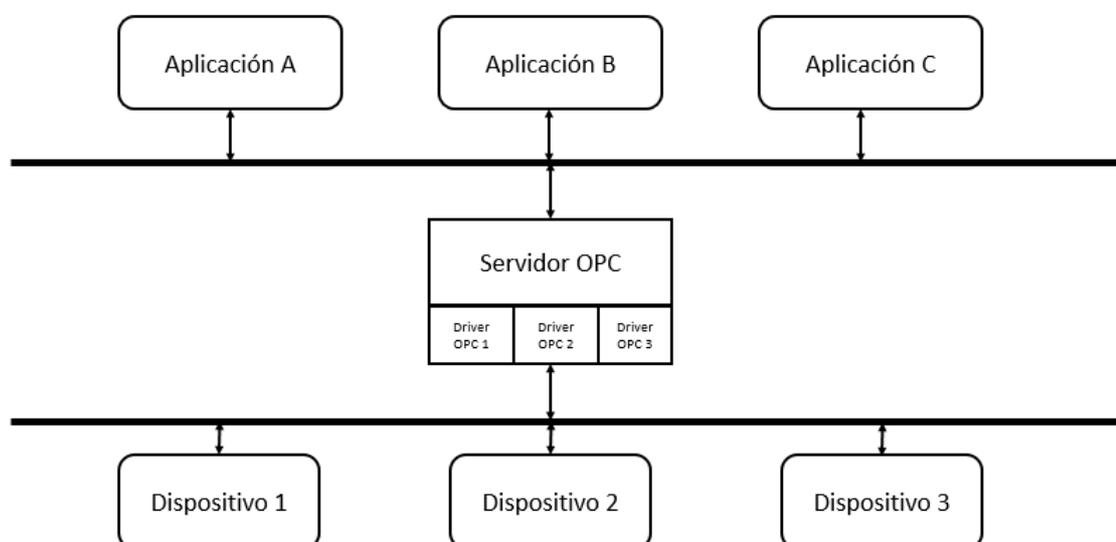


Figura 1–4: Simplificación de la conectividad con el empleo de *OPC*.

De acuerdo a las necesidades de las diferentes aplicaciones industriales, se han desarrollado varias especificaciones OPC, destacan entre ellas (Mahnke, 2009a):

1.6.1. OPC DA

Esta especificación define un conjunto de objetos, métodos y propiedades estándar entre cliente y servidor para la lectura, escritura y monitoreo de las variables actuales del proceso. Pretende estandarizar el mecanismo de comunicar a numerosas fuentes de

datos, ya sea con dispositivos I/O en el nivel de la planta o bases de datos en la sala de control (Hong, 2006). Por ejemplo, puede ser usada para enviar instrucciones desde el SCADA o DCS hacia un nivel inferior como los módulos de entrada/salida o hacia un nivel superior como las HMI, generadores de reportes o bases de datos históricos (Blanco, 2003).

OPC DA es la interfaz más importante. Es usada en el 99% de los productos que utilizan tecnología OPC actualmente. El resto de las especificaciones por lo general son implementadas en conjunto con OPC DA (Mahnke, 2009a). Para ello se establecen los siguientes conceptos (Venkatesh, 2007):

- Servidor OPC es un objeto COM² al que se conecta primero el cliente OPC. Maneja la comunicación hacia el hardware de automatización. Su responsabilidad es dirigir los grupos OPC, traducir errores, proveer el estado del servidor y permitir explorar los ítems OPC.
- Grupo OPC es un objeto COM para organizar lógicamente los ítems OPC. Los clientes pueden escoger entre los ítems conocidos en los servidores para crear grupos. Los grupos son administrados por los clientes que pueden activar o desactivar el grupo, cambiarles el nombre, etc. La lectura y escritura de datos OPC se realiza a través de los grupos OPC.
- Un ítem OPC es un valor de dispositivo de automatización administrado por el servidor OPC. Los nombres de los ítems son ofrecidos por el vendedor o de lo contrario se le permite al usuario explorar los nombres existentes.

1.6.2. OPC HDA

Mientras que OPC DA brinda acceso a información en tiempo real, cambiando continuamente, esta especificación provee acceso a la información almacenada. El cliente se conecta creando un objeto servidor OPCHDA en el servidor HDA. Este objeto ofrece todas las interfaces y métodos para leer y actualizar los datos históricos. Se crea un segundo objeto definido como explorador OPCHDA para explorar el espacio de direcciones del servidor (Mahnke, 2009a).

La principal funcionalidad es la lectura de datos históricos de tres maneras diferentes. El primer mecanismo lee la información cruda del archivo, donde el cliente define una o más variables y el dominio de tiempo que quiere leer. El servidor devuelve los valores

²Component Object Model es una manera de implementar objetos neutrales con respecto al lenguaje, de manera que pueden ser usados en entornos distintos de aquel en que fueron creados

almacenados para el rango de tiempo especificado hasta el número máximo de valores definidos por el cliente. El segundo mecanismo lee valores de una o más variables para instantes de tiempo específicos. El tercer mecanismo calcula valores agregados como promedio, valor mínimo o máximo, entre otros (Hong, 2006); para una o más variables en la base de datos en un intervalo de tiempo específico. Los valores incluyen siempre la calidad y el instante de tiempo.

Además de los métodos de lectura, esta especificación también define otros para insertar, reemplazar y eliminar valores de la base de datos (Schwarz, 2008).

1.6.3. OPC A&E

Esta especificación habilita la recepción de notificaciones de alarmas y eventos. Las alarmas informan al cliente sobre el cambio de una condición en el proceso y los eventos son notificaciones sobre acciones que ocurren (Mahnke, 2009a). Generalmente las alarmas requieren un reconocimiento por parte del usuario (Hong, 2006).

El servidor A&E recibe información de las mismas fuentes que un servidor DA, la diferencia radica en que el segundo publica una trama continua de valores en tiempo real mientras que el otro sólo informa cuando se produce un cambio en el estado de alguna variable (Schwarz, 2008). Para recibir notificaciones el cliente primero se conecta al servidor y se suscribe para recibir notificaciones, luego recibe las que se ejecutan en el servidor. Para limitar el número de especificaciones, el cliente OPC puede establecer ciertos criterios de filtraje (Mahnke, 2009a).

1.6.4. OPC UA

Esta especificación surge más tarde agrupando las funcionalidades de las especificaciones tradicionales y aportando un conjunto de nuevas posibilidades gracias a su arquitectura basada en servicios (Leitner, 2006).

La OPC clásica, que se basa en la antigua tecnología COM/DCOM de Microsoft, ha llevado al desarrollo de nuevas especificaciones conocidas como OPC UA (arquitectura unificada). Más de 30 proveedores de sistemas de automatización han trabajado en el desarrollo de estas especificaciones durante cinco años. El objetivo principal de la OPC UA es mantener la funcionalidad de la OPC clásica y pasar de la tecnología COM/DCOM de Microsoft a una tecnología de servicios de vanguardia. Utilizando la tecnología de servicios de la web, se convierte en independiente de la plataforma y, por lo tanto, puede aplicarse en situaciones en las que la OPC clásica ya no se utiliza. La OPC UA se puede integrar sin fisuras en los sistemas de ejecución de fabricación (MES) y de planificación de recursos de la empresa (ERP), y funciona no sólo en sistemas Unix/Linux con Java, sino también en los controladores y dispositivos inteligentes

que tienen sistemas de funcionamiento específicos con capacidad de funcionamiento en tiempo real (Farnham, 2011). Es compatible con las especificaciones OPC anteriores. Por lo tanto, su uso no es exclusivo de los entornos de Windows donde la OPC clásica funciona en la actualidad, sino que se adapta a la Fundación de Comunicación de Windows de Microsoft, que también se puede poner en comunicación mediante servicios web (Mahnke, 2009b).

1.7. Empleo de OPC en la industria

El estándar OPC ha servido de plataforma para la integración de sistemas en los años recientes, especialmente en la automatización industrial y los sistemas empresariales que apoyan la industria. La serie de especificaciones contenidas en este estándar definen los mecanismos y funcionalidades fundamentales de lectura y escritura de datos del proceso, monitoreo y procesamiento de alarmas y eventos; y el almacenamiento de datos históricos (Son, 2010).

Comercialmente se encuentran disponibles clientes OPC que permiten dejar a un lado la creación y ofrecen un gran número de herramientas para satisfacer las necesidades crecientes de la industria. Ejemplos de estos son los siguientes:

- ***Matrikon OPC Desktop Historian***: consiste en un historiador de datos de proceso optimizado para almacenar y enviar grandes cantidades de datos muy rápidamente. A diferencia de otros historiadores del mercado, se enfoca únicamente en la recolección y almacenamiento de datos. Incluye un cliente OPC DA y un servidor OPC HDA lo que permite utilizar cualquier servidor OPC DA como fuente de datos y cualquier aplicación cliente OPC para acceder a los datos almacenados (Matrikon OPC, 2018).
- ***Matrikon OPC Client for ODBC***: permite al usuario utilizar cualquier base de datos relacional para almacenar datos de proceso, posibilita conectar con cualquier servidor OPC y comenzar a guardar los datos sin necesidad de tener conocimientos de SQL. También se puede utilizar esta aplicación para escribir datos desde la base de datos hacia los dispositivos a través de un servidor OPC (Matrikon OPC, 2018).
- ***Prosys OPC Classic Client***: sirve para el diagnóstico de problemas en la conexión OPC así como herramienta de prueba para los servidores. También permite leer y escribir datos, explorar los servidores y exportar e importar el espacio de direcciones. Soporta OPC-DA 1.0 y 2.05 (OPC, 2018).
- ***OPC Expert***: es un software desarrollado por el instituto de entrenamiento en OPC (OPCTI), posee cerca de 15 herramientas para utilizar sobre una red basada en este estándar. Entre ellas, el monitoreo de datos y de red, disparos de eventos, diagnóstico de fallos, archivo de datos, cálculos, redundancia, etc (OPCTI, 2018).

- ***Enterprise Historian***: desarrollada por Canary Labs, esta aplicación facilita el almacenamiento de datos. Permite además la organización de los datos, el monitoreo y la definición de eventos, además de permitir fácilmente el movimiento de datos de un historiador a otro, o hacia un medio de almacenamiento para un respaldo (Labs, 2018).

En múltiples investigaciones se emplea este estándar como vía de integración de diferentes sistemas y para realizar el control y la supervisión.

En la investigación de Alves (Alves, 2003) se aplica un sistema SCADA a una planta piloto. El sistema desarrollado aprovecha las facilidades de comunicación y de programación que brinda OPC. De esta forma se permite realizar la supervisión de la planta tanto de forma local como remota. Esta propuesta mediante el empleo del SCADA, incluye varias funciones además de la supervisión y el manejo de datos, lo que demanda mayor costo computacional.

La investigación de Otero Rodríguez (Otero, 2007) consiste en el diseño e implementación de un sistema para la comunicación entre un SCADA hecho sobre Linux y los servidores de OPC que se ejecutan sobre plataforma Windows, y de esta forma, dotar al SCADA Nacional de PDVSA de la posibilidad de interacción con servidores externos que soporten el estándar OPC-DA. Esta solución es factible cuando se precisa lograr la integración de distintas plantas en una red de alcance nacional.

En otro proyecto se emplean clientes OPC para la recolección de datos con el objetivo de analizar y diagnosticar plantas de proceso (Miller, 2008). La propuesta de Miller facilita realizar ajustes en la rutina de control, actualizar el estado del proceso o de dispositivos específicos, diagnosticar fallos de hardware o software, entre otras funciones. Esta aplicación puede ser de gran provecho para un sistema que requiera una estricta supervisión.

En la investigación de Lee (Lee, 2010) se introduce tecnología de monitoreo de funcionamiento del controlador basada en OPC para aplicaciones industriales. Los componentes principales que aborda esta investigación incluyen identificación de recogida de datos, identificación de sistemas y monitoreo de cierre de las válvulas de control, y el control de funcionamiento por modelo predictivo.

Sobre Ethernet se reporta comunicación remota basada en OPC en el proyecto de Lieping (Lieping, 2007) entre MATLAB y un PLC Siemens S7-300. Esta configuración demuestra que es posible el intercambio de datos remotos en tiempo real a través de un servidor OPC. Tal método puede usarse para realizar el procesamiento de datos y

el control avanzado en la industria para mejorar la calidad del control, seguridad, optimización y cumplir con estándares. El *Toolbox* OPC de MATLAB simplifica el proceso de desarrollo y proporciona un método efectivo para establecer la comunicación entre MATLAB y dispositivos de proceso con conectividad OPC. Las investigaciones anteriores demuestran la posibilidad de emplear el estándar OPC para el control avanzado en la industria.

En otro proyecto ([Chao, 2009](#)), la tecnología OPC ha sido aplicada en la interconexión de dos redes de control heterogéneas de sistema de bus de campo Profibus-DP basado en un PLC SIMATIC S7-400 y un DCS CENTUM CS3000 de Yokogawa. La aplicación implementa la comunicación de datos de información de control de la producción y la integración virtual del sistema de aguas residuales.

En nuestra universidad también fue desarrollado un proyecto de cliente OPC con código abierto ([Peña, 2010](#)) para la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”. Este software para realizar el almacenamiento de datos del proceso, no ha sido mantenido, no cuenta con una organización para dar soporte técnico especializado ni reúne condiciones de seguridad que la Electroquímica necesita.

La investigación de Zamarreño ([Zamarreño, 2015](#)) aborda el desarrollo de módulos de control y supervisión usando tecnología OPC, para ello separa el software en diversos módulos independientes, en lugar de un software monolítico. Esta propuesta tiene numerosas ventajas en entornos industriales, como son la flexibilidad, facilidad de mantenimiento, modularidad y sencillez.

1.8. Consideraciones finales

El estándar OPC brinda varias posibilidades de solución para las distintas aplicaciones. Su especificación OPC DA es la fundamental para la obtención de valores del proceso en tiempo real. Es posible encontrar comercialmente numerosas herramientas para las variadas especificidades, además de contar siempre con herramientas para su desarrollo de forma gratuita. Puede utilizarse tanto para redes de largo alcance como para aplicaciones locales. A su vez, los programas desarrollados van desde complejas soluciones multipropósito, hasta módulos de software para resolver tareas específicas. Basado en la información revisada y las características del sistema CENTUM VP, se considera factible la selección de un cliente OPC comercial para suplir el módulo Exaquantum. Con esta investigación se pretende demostrar que un cliente OPC comercial garantiza el acceso a los datos de proceso y su almacenamiento de modo que puedan estar disponibles para otras aplicaciones incluso desde la red administrativa de la Electroquímica de Sagua.

CAPÍTULO 2

SOFTWARE PARA DATOS HISTÓRICOS

2.1. Introducción

En este capítulo se aborda más de cerca el uso de los software para almacenar datos históricos en las plantas de procesos. Primeramente se describen las generalidades de estos softwares. Luego se presentan las características que posee el Exaquantum, módulo de CENTUM VP que no fue adquirido, además de las necesidades de la Electroquímica de Sagua y se describen los criterios de selección a tener en cuenta. A partir de estos criterios se realiza una caracterización de varios de los softwares disponibles en el mercado. Después de este análisis se procede a la selección de uno de ellos y su descripción detallada.

2.2. Generalidades de los softwares de almacenamiento de datos históricos

Los software para almacenamiento de datos históricos están diseñados para el uso en la industria. Presentan características como la compatibilidad con *drivers* OPC de HMI, DCS, PLC; análisis específicos de ingeniería, visualización de datos, algoritmos de compresión de datos para ahorrar espacio de almacenamiento, así como interfaces que interactúan con puntos de recogida de datos y pasan información de regreso al historiador central (Nunan, 2018).

El software historiador tiene como objetivo integrar datos del proceso en tiempo real, o transformaciones de estos, con otros datos más o menos complejos del sistema de información de la empresa. Los datos agregados entonces pueden ser publicados para los diferentes usuarios dentro de la compañía (Fras, 2004).

La mayoría de estos software proporcionan una interfaz, o cliente OPC, para comunicarse con los equipos a través de servidores OPC. Los datos de serie temporal pueden entonces ser comprimidos con el propósito de remover información redundante o datos similares dentro de una zona muerta de valores configurada. La mayoría de estos softwares almacenan la información en archivos binarios especialmente diseñados que pueden almacenar grandes cantidades de datos en poco espacio. Las bases de datos relacionales

también pueden ser usadas, pero debido a su naturaleza, estas soluciones no son tan escalables y requieren mayor espacio de almacenamiento (Chretien, 2009).

La información que se archiva, tanto la pasada como la actual, es usada en varias aplicaciones, incluyendo el monitoreo de dispositivos, asistencia de mantenimiento, soporte de decisiones, publicación de estadísticas, cumplimiento con regulaciones ambientales, etc. El proceso de minería de datos puede ser desarrollado, esencialmente, con técnicas de procesamiento de señales como correlación cruzada, filtraje, reducción de dimensiones, análisis de espectro, predicción, entre otras (Chardin, 2012).

Los software para almacenar datos fueron originalmente criticados por solamente mostrar la información de las fuentes de datos sin mucho procesamiento, pero recientemente, funciones que antes eran reservadas para bases de datos relacionales se les han añadido. Los datos pueden ser categorizados por localización física, tipo de información o incluso tipo de equipamiento. Esta categorización permite una capa de presentación de los datos que toma ventajas de estas características. De esta manera, un nuevo nivel de capacidad de descubrimiento se introduce a datos con los que no era posible anteriormente, excepto con mucho trabajo y a un riesgo mayor de errores humanos (Chretien, 2009).

Estos programas almacenan los datos siguiendo un modelo de datos jerárquico que refleja el ambiente operativo. Este modelo debe ser consistente con la organización de la planta para facilitar la exploración y la agrupación de datos similares por subsistemas (Chardin, 2012).

Algunos de estos software contienen entre sus características herramientas de presentación de datos para mostrar los mismos, usando tecnologías de comunicación propietarias. Sin embargo, con el objetivo de proporcionar interoperabilidad entre estos programas y tecnologías de distintos proveedores, se utiliza la especificación OPC HDA. El advenimiento de esta tecnología ha permitido la creación de aplicaciones para propósitos específicos, sin la necesidad de integrarse con todos los proveedores de historiadores (Chretien, 2009).

La presentación de los datos puede realizarse de distintas maneras. Varía desde interfaces que toman una cantidad específica de entradas para producir un reporte especializado, a gráficos genéricos de tendencia que muestran la información en crudo, o reportes configurables por el usuario, donde el autor de los reportes tiene la capacidad de seleccionar ciertos datos y modificar la manera en la que estos se muestren.

Estos software proporcionan rápidas tasas de inserción, con capacidades de decenas de miles de *tags*¹ procesados por segundo. Este desempeño es alcanzado gracias a diseños específicos de *buffer*, que mantienen los valores recientes en la memoria volátil para escribir la información en el disco, organizada por marcas de tiempo crecientes (Chardin, 2012).

Como limitaciones se puede mencionar que estos software almacenan datos por mucho tiempo y no siempre son aprovechados como se debería por el personal de operación y de mantenimiento, la información permanece encerrada en los históricos, su desarrollo es muy especializado lo que lo hace caro. Las licencias son prohibitivas, la mayor parte de los vendedores por el tipo de licencia dejan disponibles una cantidad de *tags* para el usuario, por lo que los compradores deben tener presente la cantidad que necesitan y los que pueden pagar (Nunan, 2018).

El medio de almacenamiento de los datos depende del software. Existen dos vertientes fundamentales: Los programas para almacenar datos de procesos con bases de datos propietarias, especializados en compresión, velocidad y cantidad de datos; y por otro lado, el estándar SQL. Estas aplicaciones son normalmente asociados con los datos de los procesos industriales y se asume que la base de datos en SQL se use en la sección administrativa, o para datos que se encuentran relacionados. Es necesario destacar que los software para históricos y SQL no son estándares compitiendo, sino que son complementarios. En algunos casos los vendedores utilizan SQL en sus historiadores de proceso, otros como un complemento para su software propietario y otros utilizan bases de datos puramente propietarias.

Algunos de estos programas proporcionan una interfaz en SQL con el objetivo de permitir a los desarrolladores de software consultar los datos almacenados en la forma en la que están acostumbrados. Las interfaces SQL no están estandarizadas entre los proveedores, por lo que necesitan ser reescritos por cada proveedor si requirieran soporte para más de un software de históricos (Chretien, 2009).

La mayoría de los productos disponibles en el mercado están basados en una arquitectura de tres etapas: adquisición, servidor para el manejo de datos y el cliente que está a cargo de la presentación de los datos, recibir los eventos de usuario y controlar la interfaz de usuario (Fras, 2004).

¹Su significado es más que lo que se conoce como una variable ya que contiene, además de un nombre y un valor, campos como ID, marca de tiempo, calidad de la señal, alarmas y eventos asociados

Es importante tener conocimiento de los software actualmente disponibles en el mercado para recolectar datos. Los productos pueden ser elegidos por razones que varían desde requerimientos técnicos a cuestiones de presupuesto. Existe un conjunto de aplicaciones llamados data loggers que limitan su funcionamiento al almacenamiento de los datos de proceso con una frecuencia de muestreo relativamente baja, por lo general 1 Hz o menor (Gurav, 2016). Además poseen funciones de seguridad y diagnóstico de conexiones, entre otras. En un lugar superior en cuanto a complejidad se encuentran los denominados Historian, que muestran ofrecen tiempos de muestreo en el orden de los milisegundos, además de incorporar funciones de integración total de la fábrica, variando incluso índices de producción en función del mercado. Una tarea decisiva es desarrollar un documento señalando los requerimientos técnicos antes de pasar a escoger un software para el almacenamiento (Sherman, 2015).

El software a escoger depende mucho de las necesidades del lugar específicamente. Una solución integrada que proporcione tanto el almacenamiento de datos y el software de presentación se convierte en una opción de solución general para las empresas mayores que puedan incurrir en los gastos. Mientras que un simple *data logger* con soporte OPC HDA y algún seguimiento de tendencia genérico a un significativamente menor costo puede ser adecuado en otros casos (Chretien, 2009).

2.3. Lenguaje SQL

La versión original de este lenguaje fue desarrollada por IBM a principios de los años 70, y fue inicialmente denominado Sequel. Desde entonces ha evolucionado y su nombre ha pasado a ser SQL (*Structured Query Language*,) (Silberschatz, 2002). Su surgimiento representó un paso muy importante en la comunicación con las bases de datos. SQL permite una interfaz común para el acceso a los datos por parte de cualquier programa que admita este estándar (Peña, 2010).

Son bibliotecas de comandos almacenados en la base de datos. Permiten reducir el tráfico de red y simplificar los procedimientos de acceso a los usuarios de las bases de datos.

SQL es una tecnología que ofrece las siguientes posibilidades (Rodríguez, 2007):

- Eventos: Son comandos que se activan de forma automática bajo unas ciertas condiciones, facilitando el mantenimiento de la integridad de los datos.
- Replicación: Permite la duplicación y sincronización de bases de datos. Por ejemplo, para actualizar los datos de la base de datos central con los almacenados en una unidad remota (RTU), más actual o para actualizar un servidor de datos que ha quedado temporalmente fuera de servicio y se vuelve a poner en funcionamiento.

- **Accesibilidad:** Permite el intercambio o envío de información basándose en eventos. Por ejemplo, el envío automático de mensajes cuando se cumplen ciertas condiciones dentro de un sistema.

2.4. Exaquantum

Exaquantum es un PIMS, que es un componente del MES. No es sólo un simple software de almacenamiento de datos, es también un sistema computador de uso final (*End User Computing* o EUC) para la utilización flexible de la información de la planta por los usuarios. Además posee una función web que posibilita satisfacer necesidades del mercado como el acceso remoto y la configuración de clientes ligeros (Yokogawa, 2018a).

En el mercado mundial, estos sistemas son apreciados como un componente esencial en función de conectar el sistema de control de la planta y el sistema de información corporativo (Kishimoto, 2004).

Exaquantum permite visualizar los indicadores de desempeño fundamentales, con la capacidad de monitorear y agregar datos de la planta, no sólo en términos del proceso, sino también administrativos y de negocio. Todo ello contribuye a agilizar la toma de decisiones, mejorar la calidad e incrementar las ganancias.

Este software hace disponible para el análisis tanto la información actual como la histórica. Exaquantum/Explorer proporciona una interfaz de usuario basada en Microsoft Windows que presenta pantallas claras, sencillas de usar y configurables. Exaquantum/Web es una interfaz de usuario basada en explorador de intranet que tiene como beneficios una reducción en el costo total y la posibilidad de exponer la información de Exaquantum mediante XML (Yokogawa, 2016).

Los componentes fundamentales de Exaquantum se señalan entre líneas discontinuas en la siguiente figura.

Es compatible con las siguientes especificaciones OPC:

- OPC DA 2.05a
- OPC A&E 1.1
- OPC HDA 1.1

Este software permite almacenar también valores agregados con funciones estándar como valor mínimo, máximo, promedio, media, desviación estándar, sumatoria, entre otros. Su sistema de almacenamiento funciona basado en eventos, es decir, almacena el valor con la marca de tiempo y la calidad una vez que el primero cambia. De esta forma se ahorra gran cantidad de espacio de almacenamiento (Yokogawa, 2018a).

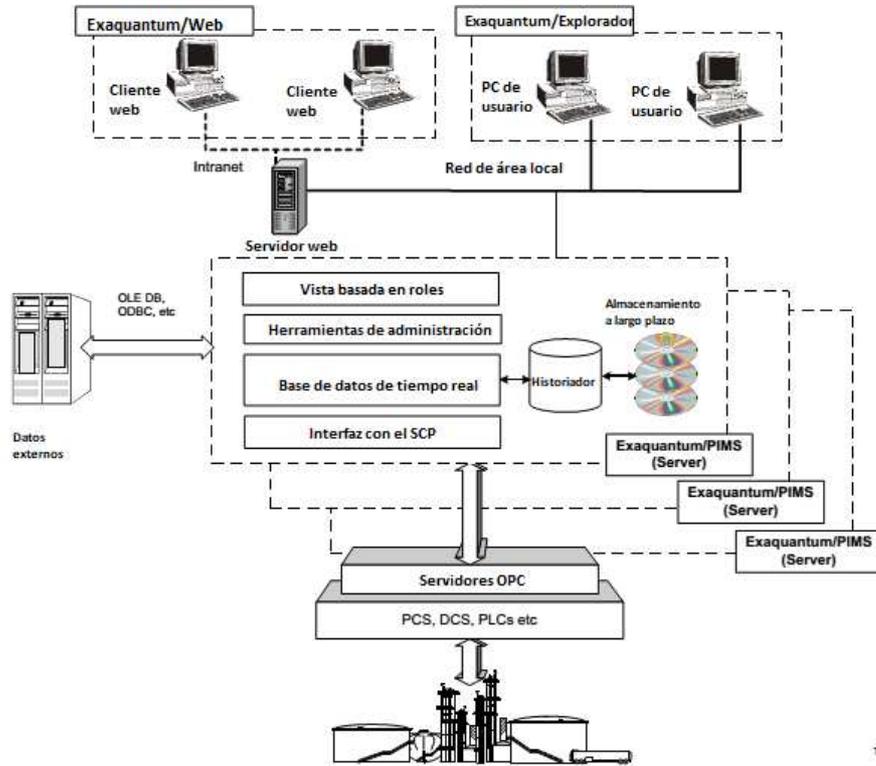


Figura 2-1: Visión general del Exaquantum.

En las tablas 2-1 y 2-2 se presentan los requerimientos fundamentales de hardware y software de este sistema con el objetivo de comparar con los software que serán evaluados para reemplazarlo.

Sistema Operativo	Windows Server 2000
Procesador	Pentium 1 GHz o superior
Memoria RAM	512 como mínimo (Hasta 10000 ítems)
Espacio en disco	Depende del volumen de datos a archivar

Tabla 2-1: Requerimientos del servidor Exaquantum

2.5. Criterios de selección

Para escoger un software que posibilite la creación y gestión de una base de datos del proceso, se tuvieron en cuenta los siguientes elementos:

- **Requerimientos de hardware:** En este aspecto nos detenemos para conocer elementos como memoria RAM necesaria, capacidad de disco duro y frecuencia del procesador fundamentalmente, porque constituyen elementos claves a la hora de comprobar si será o no compatible con la computadora habilitada en la empresa para que se ejecute el programa.

Sistema operativo	Windows 2000 Profesional Windows 2000 Server Windows XP Profesional
Procesador	Pentium 333 MHz o superior
Memoria RAM	128 MB como mínimo
Espacio en disco	2 GB como mínimo

Tabla 2–2: Requerimientos técnicos del cliente Exaquantum

- **Requerimientos de software:** La versión de Windows necesaria, así como programas adicionales que requieran también de licencia influye considerablemente a la hora de determinar la factibilidad de adquirir un programa determinado.
- **Soporte técnico a Cuba:** El hecho de que varios vendedores sean compañías norteamericanas es una limitante para la industria cubana debido al bloqueo que prohíbe los vínculos entre la industria de ambos países. La posibilidad de contar con el servicio y la disponibilidad de profesionales de la compañía que distribuye el software es una garantía que no debe desecharse ya que puede ser una ventaja a la hora de configurar el software y lograr la plena integración con la empresa.
- **Precio:** Entre aplicaciones que pudieran brindar de manera efectiva solución a la problemática existente es eficiente seleccionar aquel cuyo costo total resulte más económico.

2.5.1. Requisitos de ELQUIM

En estos momentos es necesario almacenar en la base de datos por interés de la sección administrativa cerca de 720 variables, en las que se registran entre otros aspectos la temperatura, presión, nivel, analizadores, entre otros.

Para realizar la validación de la propuesta se cuenta con una computadora personal con las siguientes características:

Procesador:

- Intel Core i3- 4160 a una frecuencia de 3.6 GHz

Memoria RAM:

- 4GB

Capacidad de disco duro:

- 1 TB

Sistema Operativo:

- Microsoft Windows Seven Service Pack 1

Otros programas:

- .Net Framework 3.5
- Microsoft SQL Server 2008

Estas características no son necesariamente las de la computadora que va a desempeñar este rol, pero de funcionar el software bajo estas condiciones, pudiera establecerse una computadora con prestaciones similares.

2.6. Análisis de los principales software disponibles en el mercado

A partir de la bibliografía revisada se procede a analizar cinco de los softwares encontrados teniendo en cuenta los criterios previamente descritos, con el fin de determinar cuál de ellos pudiera ser la solución a la problemática encontrada en ELQUIM. Estos software son:

- Enterprise Historian de Canary Labs
- Vijeo Historian de Schneider Electric
- OPC2DB de Prosys OPC
- Desktop Historian de Matrikon OPC
- OPC Expert del Instituto de Entrenamiento OPC (OPCTI)

En las siguientes sub-epígrafes se exponen las características fundamentales de cada uno de ellos, en base a los criterios de selección escogidos:

2.6.1. Enterprise Historian

- Requerimientos de hardware:
 - Procesador Dual Core de 2 Ghz o superior
 - Memoria RAM de 4 GB
 - 10 GB de espacio disponible
 - UPS (altamente recomendado)
- Requerimientos de software:
 - Sistema operativo:
 - Microsoft Windows 7x 64 o superior
 - Microsoft Windows Server 2008 x64 o superior
 - Otros:
 - Microsoft .NET Framework 4.5
- Soporte técnico a Cuba:

El consultor de ventas se ha mostrado interesado y presto para cualquier situación que surja. No hay problemas de comercio con Cuba.

- Precio:

Tipo de Licencia	Precio mensual (en USD)
Pequeña (50 <i>tags</i>)	\$115.00
Media (2 500 <i>tags</i>)	\$535.00
Grande (15 000 <i>tags</i>)	\$1 170.00
Extra Grande (50 000 <i>tags</i>)	\$2 665.00
Ilimitada (<i>tags</i> ilimitados)	\$6 995.00
Nube	\$195.00

Tabla 2–3: Listado de precios del software Enterprise Historian

2.6.2. Vijeo Historian

- Requerimientos de hardware:

Para la instalación mínima de 1 a 5000 variables:

- Procesador Dual-Core Intel Xeon de 3.6 GHz
- 4 GB de memoria RAM
- 30 GB de espacio para almacenamiento (mínimo para 1 semana al máximo de frecuencia)

- Requerimientos de software:

Sistema operativo:

- Microsoft Windows XP Business SP3
- Microsoft Windows Vista Business SP3
- Microsoft Windows Server 2003 SP2, 2008 R2
- Microsoft Windows 7 SP1

Otros:

- Microsoft .NET Framework 3.5

- Soporte técnico a Cuba:

Este software, propiedad de Schneider Electric, no tiene problemas para la distribución hacia nuestro país.

- Precio:

Sumando las licencias del propio software, los clientes, y otros requerimientos para tenerlo a plena disposición se requieren cerca de \$10 000 USD.

2.6.3. OPC2DB

- Requerimientos de hardware:

- Procesador Intel Dual Core
- Memoria RAM de 512 MB
- Disco duro de 40 GB

- **Requerimientos de software:**
 - Sistema Operativo:
 - Microsoft Windows XP
 - Microsoft Windows Vista
 - Microsoft Windows Server 2003
 - Otros:
 - Microsoft SQL Server 2005 en alguna de sus ediciones (Express, Workgroup, Standard, Enterprise)
- **Soporte técnico a Cuba:**

Esta compañía ha expresado la dificultad de vender sus aplicaciones a Cuba, normalmente no tienen relaciones comerciales con nuestro país.
- **Precio:**

La licencia para este software cuesta 490 euros, sin ella el programa puede utilizarse durante 5 horas en modo de evaluación.

2.6.4. Desktop Historian

- **Requerimientos de hardware:**
 - Procesador Intel Pentium 4
 - Memoria RAM de 512 MB
 - Disco duro de 40 GB 7200 RPM
 - Red IP compatible para acceso a servidores OPC remotos
 - Espacio libre en disco, como mínimo 200 MB son requeridos para los archivos de datos históricos
- **Requerimientos de software:**
 - Sistema Operativo:
 - Microsoft Windows XP SP1
 - Microsoft Windows 2003 SP0
 - Microsoft Windows 2008 SP0
 - Microsoft Windows 7 SP0
 - Otros:
 - Internet Explorer 6.0, Service Pack 1 (o superior)
 - Microsoft .NET Framework 2.0
 - Desktop Historian necesita ejecutarse como un servicio Windows

Para el Matrikon Analytics Excel Reporter:

 - Microsoft Excel 97, 2000, 2003, 2007, o 2010
- **Soporte técnico a Cuba:**

La compañía Matrikon ha declarado la imposibilidad de venderle su software a una empresa cubana. Pudiera gestionarse una compra por una tercera parte pero se pierden para ELQUIM las garantías y el soporte técnico que brinda el vendedor.

- Precio:

Tipo de Licencia	Precio (en USD)
Pequeña (50 <i>tags</i>)	Gratis
Media (500 <i>tags</i>)	\$2 400.00
Grande (<i>Tags</i> ilimitados, graficador de tendencias, reportes a Excel)	\$7 800.00

Tabla 2-4: Listado de precios del software OPC Desktop Historian.

2.6.5. OPC Expert

- Requerimientos de hardware:

El software fue probado con 1 CPU y 256 MB de RAM

- Requerimientos de software:

Sistema Operativo:

- Cualquier versión de Microsoft Windows

Otros:

- Microsoft .NET Framework 3.5

- Soporte técnico a Cuba:

La compañía es un instituto canadiense, no tiene problema con venderle a Cuba y se han mostrado muy colaborativos y dispuestos a brindar su ayuda ante cualquier problema.

- Precio:

El software puede descargarse gratuitamente de internet en su versión de demostración y presenta la limitante de que funciona consecutivamente sólo durante cuatro horas, luego se cierra. Para adquirir la versión profesional es necesario pagar \$995 USD.

En base a los criterios analizados para cada caso particular se propone el empleo del OPC Expert en la Electroquímica de Sagua para recoger y almacenar los datos de proceso, basando la selección fundamentalmente en los pocos recursos que requiere el programa, la posibilidad de comercio que tiene su proveedor con Cuba y además el relativamente bajo valor de la licencia.

2.7. Descripción de las principales características del software

OPC Expert en su versión 8.1.1711.10 del 2017 es un software que permite al usuario la visualización y la transferencia de datos de tiempo real entre computadoras. También

permite la detección y diagnóstico de problemas de comunicación OPC, realizando sugerencias para darle solución a los mismos. Este software no requiere instalación, no realiza cambios en el registro de Windows y se descarga gratis, lo que hace que su uso sea seguro en cualquier computadora.

Entre las herramientas que posee el OPC Expert destacan:

- **Espectador OPC:** Además de permitir la visualización de la información, posee todas las herramientas para analizarla. Soporta las especificaciones OPC clásicas (OPC DA, HDA y A&E), OPC .NET y OPC UA. Posee también señalizaciones con códigos de colores para identificar con mayor facilidad cuando la conexión está bien, tiene problemas corregibles o es una conexión con errores, destacándolas en verde, amarillo y rojo respectivamente.
- **Graficar tendencias:** Permite realizar gráficos de tendencia con los datos actuales o por datos históricos, incluso con varias variables en un mismo gráfico simultáneamente para el análisis de períodos de tiempo de interés. Brinda también la posibilidad de realizar estos gráficos con tiempos de inicio y final especificados por el usuario, así como de hacer una ampliación para ir a mayores detalles.
- **Redundancia OPC:** Evita la pérdida de datos con la conexión a múltiples servidores redundantes, haciendo automática la sustitución de un servidor primario por el que está en espera ante cualquier fallo.
- **Vinculación con Microsoft Excel:** Los ítems pueden ser seleccionados desde el OPC Expert y arrastrados hasta una tabla en Excel, o incluso a la inversa, se pueden utilizar valores obtenidos en Excel a partir de funciones o cálculos para escribirlos en cualquier servidor OPC DA.
- **Realización de cálculos:** Permite la creación de nuevos ítems virtuales a partir de operaciones realizadas sobre uno o varios ítems ya existentes. La generación de resultados mejora gracias a que los cálculos son realizados en tiempos programados o cuando cambian los valores que recibe.
- **Archivar la información:** Sin llegar a ser una herramienta tan completa como otros PIMS como Exaquantum, OSIsoft PI o Wonderware; OPC Expert ofrece una solución idónea al problema de registrar los datos procedentes del proceso en la forma que el operador puede necesitarlos más adelante. El software optimiza el espacio ocupado por la base de datos almacenando sólo cuando el valor cambia, también pueden ser configurados eventos que comiencen y detengan el proceso de registro de datos.

Además este software posee una interfaz de usuario intuitiva y fácil de entender para el operador con poca experiencia, lo que facilita su uso.

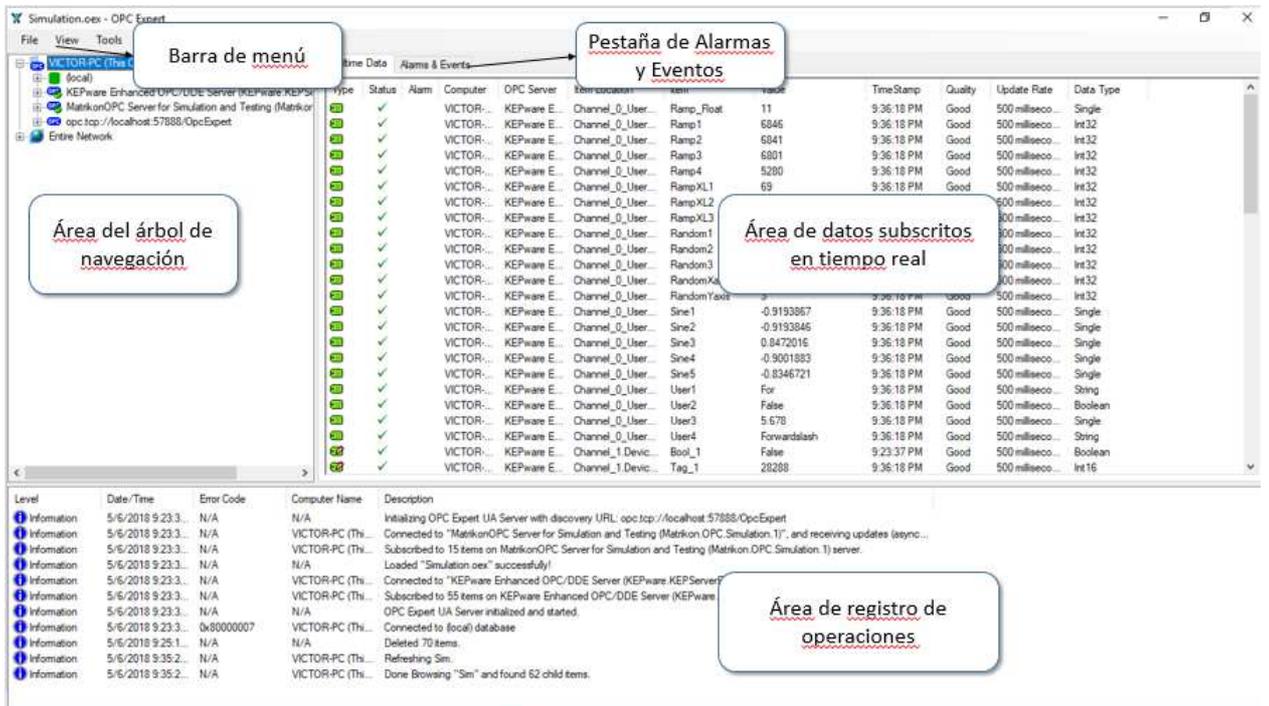


Figura 2-2: Ambiente de trabajo del OPC Expert.

2.8. Consideraciones Finales

Al terminar este capítulo se arriba a las siguientes conclusiones:

- Existen múltiples opciones en el mercado de softwares para el almacenamiento de datos históricos y la administración de plantas.
- Exaquantum es el paquete oficial de Yokogawa para resolver el tema de históricos, este paquete además de un historiador tiene herramientas de análisis, reportes, optimizan y comprimen su sistema de archivos, etc. Su equivalente sería: Vijeo Historian, Matrikon Desktop Historian. Estos paquetes tienen el inconveniente de que su despliegue es muy complejo y si se quieren explotar sus funcionalidades, su costo es alto.
- Si se analizan los requisitos de la planta se observa que más que un *historian* lo que necesitan es un *data logger*.
- OPC Expert es una herramienta muy completa, de fácil empleo y que requiere pocos recursos de hardware y software, además de una licencia completa por un precio relativamente bajo en comparación al resto de los softwares de su tipo. Estas razones hacen que este programa sea seleccionado por encima de otros disponibles en el mercado.

CAPÍTULO 3

AJUSTE Y EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL SOFTWARE OPC-EXPERT

3.1. Introducción

El objetivo principal de esta investigación se basa en la propuesta de un software para el almacenamiento de datos históricos que garantice la recolección de los datos del DCS de la Electroquímica de Sagua para su posterior análisis. Para la realización de las pruebas se utilizan primeramente servidores OPC de simulación y luego el servidor ExaOPC de la empresa, por lo que al inicio del capítulo se presentan aspectos relacionados con la frecuencia de muestreo de las variables en las pruebas y la configuración del software OPC Expert, para luego analizar los resultados obtenidos en las pruebas realizadas. También este capítulo incluye un análisis económico que respalda la factibilidad de la propuesta.

3.2. Configuración de la estación de prueba

La configuración para la utilización del software OPC Expert consta de varias etapas porque requiere la instalación de software adicional, cambios en la configuración de Windows y en la del software propiamente.

Se realizarán dos pruebas de almacenamiento de datos, una de ellas con variables que se extraen de dos servidores de simulación que proveen Kepware y Matrikon OPC para la realización de este tipo de experimentos y la segunda se ejecutará conectándose directamente al servidor ExaOPC en una estación de prueba en la Electroquímica de Sagua la Grande el día 30 de abril.

3.2.1. Software adicional requerido

OPC Expert es compatible con cualquier versión de Microsoft SQL Server, para desarrollar este trabajo de pruebas se empleó la versión Express (gratuita) y se recomienda el uso de la versión Enterprise. Durante la instalación es necesario habilitar los permisos de administración de la base de datos al usuario de la computadora con el que se va a realizar la conexión al servidor OPC.

Una vez instalado el MSSQLServer se pueden explorar y administrar las bases de datos mediante la herramienta SQL Server Management Studio. Al abrir esta, nos solicita la configuración de una conexión a servidor que debe ajustarse como se muestra en la figura 3-1. El tipo de servidor es Motor de Base de Datos. Para indicar que dicho servidor es la propia computadora aparece por defecto la palabra *local* entre paréntesis.



Figura 3-1: Configuración de la conexión con un servidor SQL.

Cuando se realiza esta conexión aparece en el panel de la izquierda un árbol de exploración que muestra los elementos y herramientas presentes en el servidor como bases de datos, seguridad, administración, entre otros.

Para conectarse con los servidores OPC y obtener la lista de los disponibles es necesario realizar cambios en la configuración DCOM de Windows. Antes es imprescindible instalar los componentes OPC principales (*OPC Core Components*), ofrecidos por la OPC Foundation, porque estos no se incluyen en la instalación del sistema operativo. La descarga de estos componentes es gratuita, solo requiere registrarse como usuario de la Fundación OPC.

3.2.2. Configuración de Windows

Con el objetivo de conectarse exitosamente al servidor, por cuestiones de seguridad es necesario crear un usuario, con privilegios de administrador, que coincida en los campos de Nombre y Contraseña con la estación del servidor.

Para acceder a la configuración DCOM de Windows se escribe en Ejecutar el comando *dcomcnfg*. En la ventana de servicios de componentes aparece a la izquierda un árbol de navegación en el que debemos buscar el ítem *OPCEnum*, que pertenece a DCOM Config, desplegando de la manera que se muestra en la figura a continuación. Este ítem es el que permite obtener una lista de los servidores OPC disponibles.

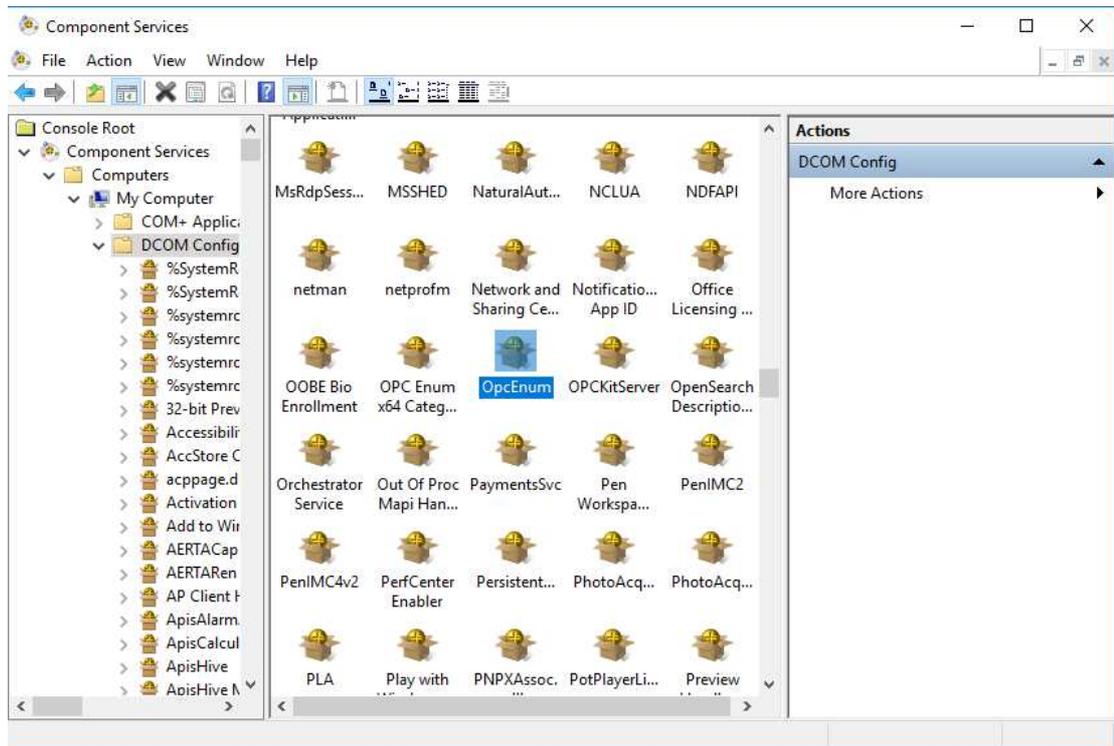


Figura 3-2: Configuración de servicios DCOM de Windows.

Al buscar las propiedades de OPCEnum aparece una ventana con varias pestañas en las que debemos realizar ajustes. En General debe quedar en el **Nivel de Autenticación** la opción **Conectar**. En la pestaña de Seguridad es necesario Editar en los 3 campos disponibles, brindándole todos los permisos al usuario que va a ser utilizado para la extracción de los datos. Por último, en la pestaña de Identificación se marca la opción de un usuario determinado, habilitando sólo al que coincide con el servidor. Esta personalización se muestra en la figura siguiente:

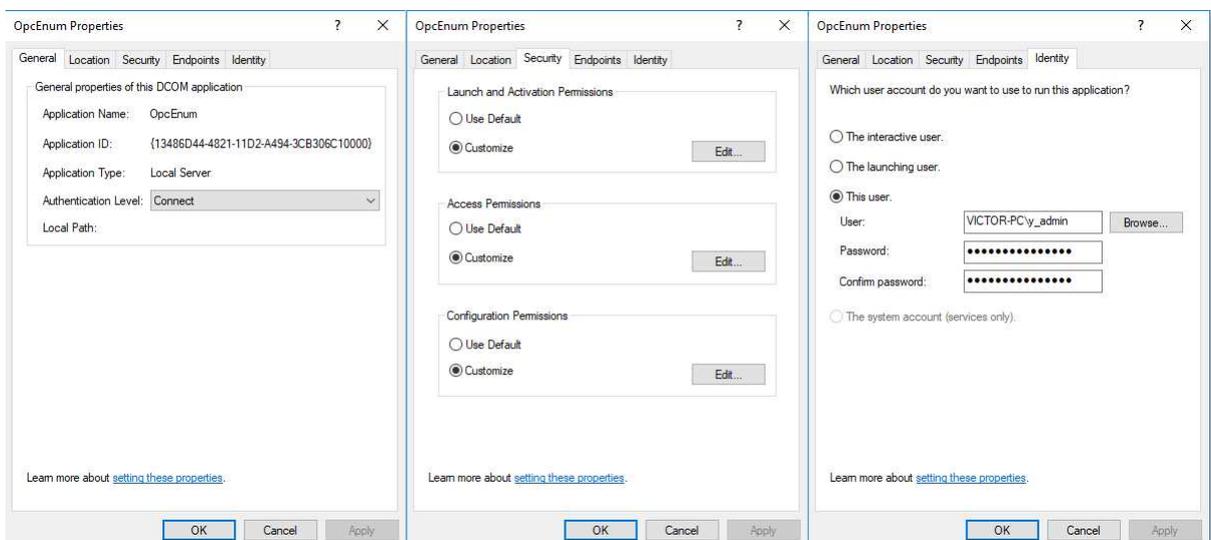


Figura 3-3: Configuración de OPCEnum.

3.2.3. Configuración del OPC Expert

El OPC Expert es un programa portable, o sea que no necesita instalación, sin embargo para su uso es necesario realizar ajustes en la configuración que trae por defecto este software. Por ejemplo, debe ejecutarse como un servicio de Windows, con este fin debemos buscar en las opciones del menú Herramientas (*Tools*). Una vez que accedamos a esta ventana, seleccionamos en la pestaña de Servicio y marcar Ejecutar OPC Expert como un servicio de Windows y establecer las condiciones de usuario y auto-arranque como muestra la figura siguiente.

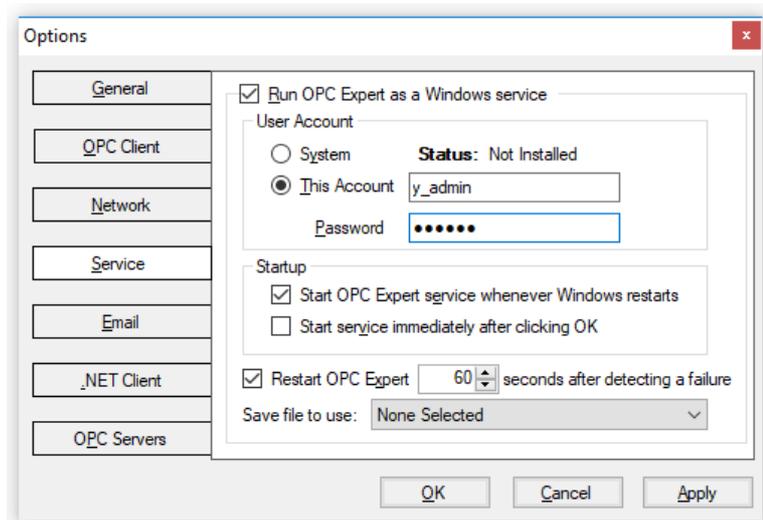


Figura 3–4: Sección de servicios en la configuración del OPC Expert.

Para añadir una fuente de datos se puede desplegar la red local para que el software busque los servidores OPC disponibles. Este procedimiento no siempre resulta exitoso, por lo que se puede añadir manualmente una fuente de datos, como se muestra en la figura 3–5.

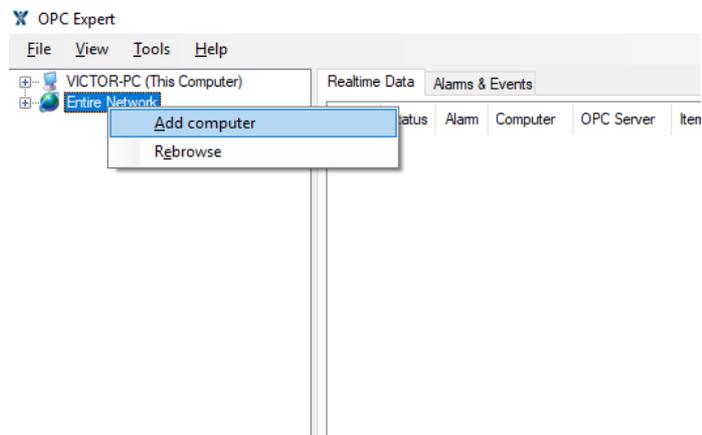
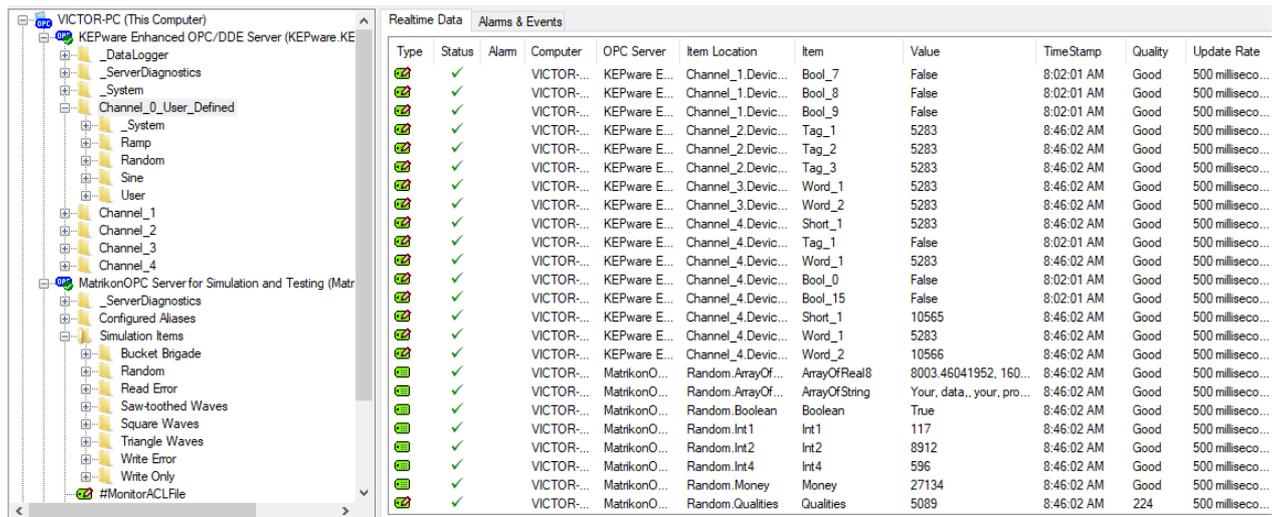


Figura 3–5: Inserción manual de una fuente de datos.

Haciendo *click* derecho sobre la red, se selecciona la opción de añadir una computadora. En el menú contextual que aparece se inserta la dirección IP de la fuente de datos y luego de aceptar, el software comienza a conectarse a dicha computadora. Tras un lapso de tiempo de alrededor de un minuto, aparecerá en el árbol de exploración la lista de servidores OPC disponibles en esa dirección.

Con los servidores de simulación previamente instalados, no es necesario buscar en la red, el OPC Expert los debe encontrar en la propia computadora. En la figura 3-6 se puede apreciar como pueden desplegarse del servidor las carpetas que contiene hasta llegar a los ítems que luego son añadidos al panel de la derecha, haciendo doble *click* sobre ellos o seleccionándolos individualmente y arrastrándolos, acción que también se puede hacer sobre la carpeta para añadir todos los ítems dentro de ella.

Para la simulación local no se realizan cambios en las variables ya que cada una tiene un nombre diferente como se aprecia en la columna ítem de la figura 3-6.



Type	Status	Alarm	Computer	Item Location	Item	Value	TimeStamp	Quality	Update Rate	
✔	✔		VICTOR...	KEPware E...	Channel_1.Devic...	Bool_7	False	8:02:01 AM	Good	500 milliseco...
✔	✔		VICTOR...	KEPware E...	Channel_1.Devic...	Bool_8	False	8:02:01 AM	Good	500 milliseco...
✔	✔		VICTOR...	KEPware E...	Channel_1.Devic...	Bool_9	False	8:02:01 AM	Good	500 milliseco...
✔	✔		VICTOR...	KEPware E...	Channel_2.Devic...	Tag_1	5283	8:46:02 AM	Good	500 milliseco...
✔	✔		VICTOR...	KEPware E...	Channel_2.Devic...	Tag_2	5283	8:46:02 AM	Good	500 milliseco...
✔	✔		VICTOR...	KEPware E...	Channel_2.Devic...	Tag_3	5283	8:46:02 AM	Good	500 milliseco...
✔	✔		VICTOR...	KEPware E...	Channel_3.Devic...	Word_1	5283	8:46:02 AM	Good	500 milliseco...
✔	✔		VICTOR...	KEPware E...	Channel_3.Devic...	Word_2	5283	8:46:02 AM	Good	500 milliseco...
✔	✔		VICTOR...	KEPware E...	Channel_4.Devic...	Short_1	5283	8:46:02 AM	Good	500 milliseco...
✔	✔		VICTOR...	KEPware E...	Channel_4.Devic...	Tag_1	False	8:02:01 AM	Good	500 milliseco...
✔	✔		VICTOR...	KEPware E...	Channel_4.Devic...	Word_1	5283	8:46:02 AM	Good	500 milliseco...
✔	✔		VICTOR...	KEPware E...	Channel_4.Devic...	Bool_0	False	8:02:01 AM	Good	500 milliseco...
✔	✔		VICTOR...	KEPware E...	Channel_4.Devic...	Bool_15	False	8:02:01 AM	Good	500 milliseco...
✔	✔		VICTOR...	KEPware E...	Channel_4.Devic...	Short_1	10565	8:46:02 AM	Good	500 milliseco...
✔	✔		VICTOR...	KEPware E...	Channel_4.Devic...	Word_1	5283	8:46:02 AM	Good	500 milliseco...
✔	✔		VICTOR...	KEPware E...	Channel_4.Devic...	Word_2	10566	8:46:02 AM	Good	500 milliseco...
✔	✔		VICTOR...	MatrikonO...	Random.ArrayOf...	ArrayOfReal8	8003.46041952, 160...	8:46:02 AM	Good	500 milliseco...
✔	✔		VICTOR...	MatrikonO...	Random.ArrayOf...	ArrayOfString	Your. data., your. pro...	8:46:02 AM	Good	500 milliseco...
✔	✔		VICTOR...	MatrikonO...	Random.Boolean	Boolean	True	8:46:02 AM	Good	500 milliseco...
✔	✔		VICTOR...	MatrikonO...	Random.Int1	Int1	117	8:46:02 AM	Good	500 milliseco...
✔	✔		VICTOR...	MatrikonO...	Random.Int2	Int2	8912	8:46:02 AM	Good	500 milliseco...
✔	✔		VICTOR...	MatrikonO...	Random.Int4	Int4	596	8:46:02 AM	Good	500 milliseco...
✔	✔		VICTOR...	MatrikonO...	Random.Money	Money	27134	8:46:02 AM	Good	500 milliseco...
✔	✔		VICTOR...	MatrikonO...	Random.Qualities	Qualities	5089	8:46:02 AM	224	500 milliseco...

Figura 3-6: Simulación con servidores de prueba.

Las señales procedentes del DCS son agrupadas de la misma manera que el modelo real de la planta, en estructuras jerárquicas que encabeza el tipo de servidor OPC, a partir de ahí se despliegan las *FCS*, las *HIS* y de estos cada dispositivo con las señales que se derivan de cada uno. El valor de interés de estos dispositivos para la planta es el *PV* (abreviatura de *Process Value*).

De cada dispositivo medidor de nivel, presión flujo o temperatura son extraídas las señales *PV*, haciendo doble *click* sobre ellas o arrastrándolas hacia la zona de datos en tiempo real. Por defecto se suscribe a un tiempo de actualización de 1 segundo, cabe aclarar que el servidor ExaOPC no admite tiempos de actualización menores.

Como se observa en la figura 3-7 el nombre de cada ítem es *PV*, aunque provengan de dispositivos diferentes, esto genera un problema a la hora de almacenar en una base de datos porque se registrarán todos los datos mezclados como si fuera una sola señal. Para resolver esta problemática se utiliza otra de las funcionalidades del OPC Expert que consiste en establecer un alias para cada elemento, declarando en este a qué señal en específico pertenece, de modo que al generar la base de datos se crea una tabla para cada elemento independiente marcado por los alias.

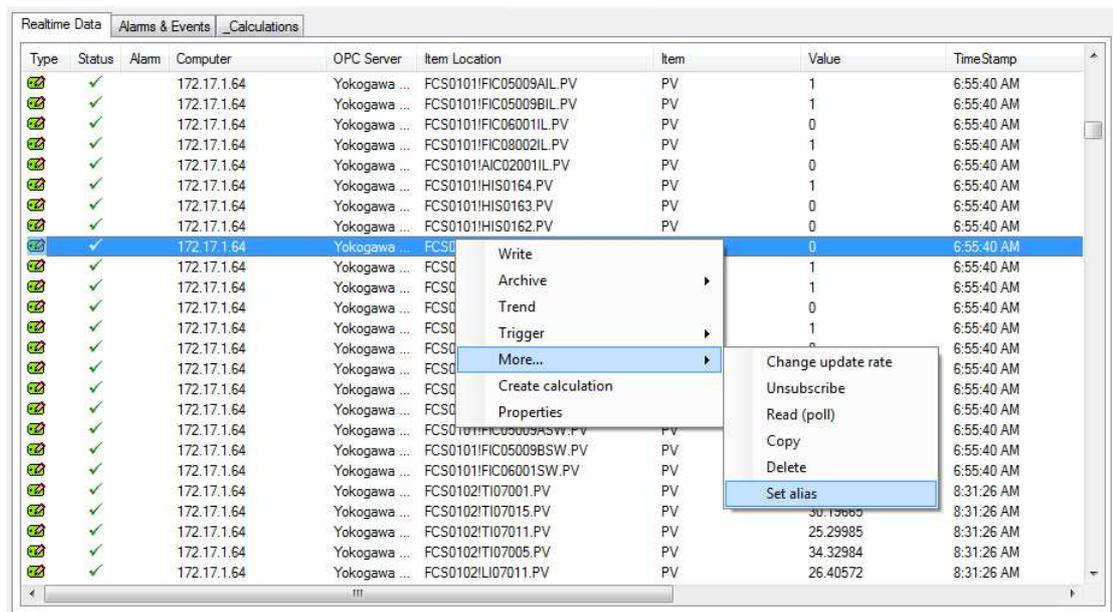


Figura 3-7: Establecer Alias para ítems con el mismo nombre.

3.3. Frecuencia de muestreo

En la industria normalmente los datos se almacenan con una frecuencia acorde al propósito con que serán más tarde empleadas, por ejemplo:

- Valores de velocidad de motores o bombas de interés para la sección de mantenimiento deben almacenarse en cada lapso de tiempo menor a 5 segundos.
- Indicadores de temperatura o presión en reacciones químicas pueden ser almacenados en tiempos de 10 segundos o superiores.
- Índices de producción, rendimiento y otros valores agregados se registran diariamente.

Para el caso de la simulación se registran los valores de 70 ítems que provienen de los servidores de simulación de Kepware y Matrikon. Estos son muestreados cada 500 milisegundos, una velocidad dos veces superior a la que soporta el servidor ExaOPC de la Electroquímica. Esta frecuencia pone a prueba la capacidad de procesamiento de la computadora, estresando el sistema y demostrando la posibilidad de más tarde archivar un mayor número de ítems a una frecuencia más baja.

De manera similar se procede en la prueba realizada en la Electroquímica donde en el programa se suscriben 125 variables para almacenar a la frecuencia máxima que soporta el servidor del DCS, muestreando cada 1 segundo estos ítems.

3.4. Análisis de la simulación

Una vez instalados todos los programas y realizada la configuración del software como ha sido descrita previamente, se procede a almacenar los valores de las variables que proveen los servidores.

Para comenzar el proceso de registrar los datos se deben seleccionar, del área de datos en tiempo real, aquellas variables que se quieran almacenar y hacer *click* derecho encima de una de ellas. En el menú contextual que aparece, se debe buscar la opción de archivar y seleccionar si añadirlo a una base de datos nueva o a una ya existente, como se muestra en la figura 3-8.

Type	Status	Alarm	Computer	OPC Server	Item Location	Item	Value	TimeStamp	Quality	Update Rate	Data Type
OK	✓		VICTOR...	KEPware E...	Channel_0_User...	Ramp_Float	96	11:24:17 PM	Good	500 milliseco...	Single
OK	✓		VICTOR...	KEPware E...	Channel_0_User...	Ramp1	9985	11:24:17 PM	Good	500 milliseco...	Int32
OK	✓		VICTOR...	KEPware E...	Channel_0_User...	Ramp2	9981	11:24:17 PM	Good	500 milliseco...	Int32
OK	✓		VICTOR...	KEPware E...	Channel_0_User...	Ramp3	9901	11:24:16 PM	Good	500 milliseco...	Int32
OK	✓		VICTOR...	KEPware E...	Channel_0_User...	Ramp4	6020	11:24:17 PM	Good	500 milliseco...	Int32
OK	✓		VICTOR...	KEPware E...	Channel_0_User...	RampXL1	97	11:24:17 PM	Good	500 milliseco...	Int32
OK	✓		VICTOR...	KEPware E...	Channel_0_User...	RampXL2	5	11:24:17 PM	Good	500 milliseco...	Int32
OK	✓		VICTOR...	KEPware E...	Channel_0_User...	RampXL3	9901	11:24:17 PM	Good	500 milliseco...	Int32
OK	✓		VICTOR...	KEPware E...	Channel_0_User...	Random1	-395	11:24:17 PM	Good	500 milliseco...	Single
OK	✓		VICTOR...	KEPware E...	Channel_0_User...	Random2	2383	11:24:17 PM	Good	500 milliseco...	Single
OK	✓		VICTOR...	KEPware E...	Channel_0_User...	Random3	209	11:24:16 PM	Good	500 milliseco...	Int32
OK	✓		VICTOR...	KEPware E...	Channel_0_User...	RandomXaxis	16	11:24:17 PM	Good	500 milliseco...	Int32
OK	✓		VICTOR...	KEPware E...	Channel_0_User...	RandomYaxis	7	11:24:17 PM	Good	500 milliseco...	Int32
OK	✓		VICTOR...	KEPware E...	Channel_0_User...	Sine1	-0.1998138	11:24:17 PM	Good	500 milliseco...	Single
OK	✓		VICTOR...	KEPware E...	Channel_0_User...	Sine2	-0.199819	11:24:17 PM	Good	500 milliseco...	Single
OK	✓		VICTOR...	KEPware E...	Channel_0_User...	Sine3	0.2787361	11:24:17 PM	Good	500 milliseco...	Single
OK	✓		VICTOR...	KEPware E...	Channel_0_User...	Sine4	0.5353782	11:24:17 PM	Good	500 milliseco...	Single
OK	✓		VICTOR...	KEPware E...	Channel_0_User...	Sine5	-0.1004144	11:24:17 PM	Good	500 milliseco...	Single
OK	✓		VICTOR...	KEPware E...	Channel_0_User...	User1	Choosing	11:24:17 PM	Good	500 milliseco...	String
OK	✓		VICTOR...	KEPware E...	Channel_0_User...	User2	True	11:24:17 PM	Good	500 milliseco...	Boolean
OK	✓		VICTOR...	KEPware E...	Channel_0_User...	User3	1.25	11:24:17 PM	Good	500 milliseco...	Single
OK	✓		VICTOR...	KEPware E...	Channel_0_User...	User4	if	11:24:17 PM	Good	500 milliseco...	String
OK	✓		VICTOR...	KEPware E...	Channel_1_Devic...	Bool_1	False	11:22:37 PM	Good	500 milliseco...	Boolean
OK	✓		VICTOR...	KEPware E...	Channel_1_Devic...	Tag_1	204	11:24:17 PM	Good	500 milliseco...	Int16

Figura 3-8: Archivar ítems de simulación

En la ventana que aparece a continuación de esta acción, se muestran una lista de los servidores SQL disponibles, como se observa en la figura 3-9, en este caso con una instancia local. Es en esta ventana en la que se define el nombre que tendrá la base de datos, así como las opciones para su crecimiento, configuración de las tablas y el tipo de marca de tiempo a registrar.

Una de las formas de comprobar el correcto funcionamiento del programa es a través de la herramienta SQL Server Management Studio que permite explorar las bases de datos disponibles en el sistema y realizar sobre ellas operaciones sencillas como visualizar las tablas, editar un número de ítems determinado, o realizar consultas empleando el lenguaje SQL.

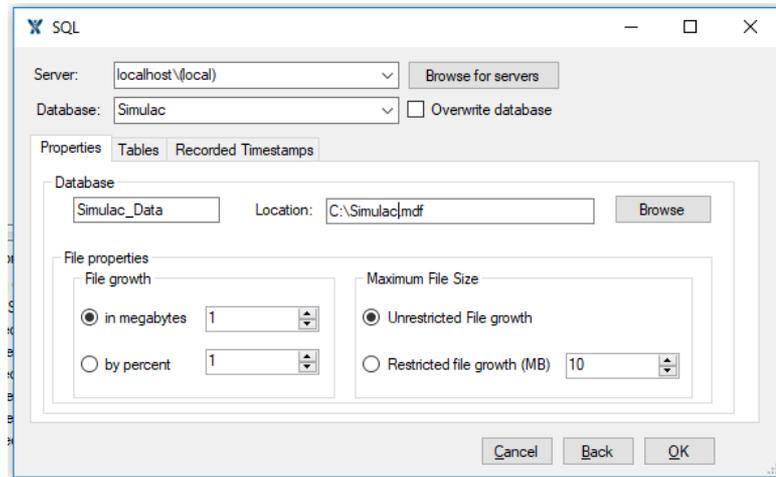


Figura 3–9: Crear base de datos con los ítems simulados

La figura 3–10 muestra a la izquierda el árbol de navegación partiendo desde la carpeta de bases de datos hasta llegar a las tablas con los nombres de cada una de las variables y a la derecha una tabla con los últimos 200 valores de la variable RampXL1, que se obtiene al seleccionar el ítem de interés y hacer *click* derecho y en el menú contextual seleccionar la opción Editar las últimas 200 rondas.

Value	Quality	TimeStamp
81	Good	2018-05-02T17:...
91	Good	2018-05-02T17:...
1	Good	2018-05-02T17:...
11	Good	2018-05-02T17:...
21	Good	2018-05-02T17:...
31	Good	2018-05-02T17:...
40	Good	2018-05-02T17:...
50	Good	2018-05-02T17:...
60	Good	2018-05-02T17:...
70	Good	2018-05-02T17:...
80	Good	2018-05-02T17:...
99	Good	2018-05-02T17:...
9	Good	2018-05-02T17:...
19	Good	2018-05-02T17:...
29	Good	2018-05-02T17:...
39	Good	2018-05-02T17:...
49	Good	2018-05-02T17:...
58	Good	2018-05-02T17:...
68	Good	2018-05-02T17:...
78	Good	2018-05-02T17:...
88	Good	2018-05-02T17:...
98	Good	2018-05-02T17:...

Figura 3–10: Base de datos de simulación

También se comprobó el estado de la base de datos mediante consultas a la misma utilizando sentencias SQL. Por ejemplo el código a continuación debe devolver todos los campos de la tabla `dbo.Tag_3` en donde el valor de la columna `Value` sea menor que 380.

```
SELECT *
FROM dbo.Tag_3
WHERE Value<380
```

Al introducir y ejecutar este código el programa devuelve la tabla de la figura 3-11 en la que aparecen distintos valores en distintos momentos pero todos menores que 380.

	Value	Quality	Time Stamp
59	376	Good	2018-05-02T17:44:43.182
60	376	Good	2018-05-02T17:44:43.182
61	377	Good	2018-05-02T17:44:43.687
62	377	Good	2018-05-02T17:44:43.687
63	378	Good	2018-05-02T17:44:44.183
64	378	Good	2018-05-02T17:44:44.183
65	379	Good	2018-05-02T17:44:44.682
66	379	Good	2018-05-02T17:44:44.682
67	1	Good	2018-05-02T22:22:35.588
68	1	Good	2018-05-02T22:22:35.586
69	2	Good	2018-05-02T22:22:36.090
70	2	Good	2018-05-02T22:22:36.090
71	3	Good	2018-05-02T22:22:36.594
72	3	Good	2018-05-02T22:22:36.594
73	4	Good	2018-05-02T22:22:37.089
74	4	Good	2018-05-02T22:22:37.089
75	5	Good	2018-05-02T22:22:37.584

Query executed successfully. (local) (10.50 RTM)

Figura 3-11: Resultados de la consulta en SQL

En esta prueba la base de datos crece 25 MB por hora aproximadamente, poco más de 1 GB cada 2 días y en cuanto a los recursos de la computadora el procesador se mantiene cerca del 25 % mientras que la memoria RAM apenas tiene ocupados 2.3 GB, o sea, cerca del 39 %. Estos resultados, principalmente el almacenamiento, inclinan hacia el trazado de estrategias para administrar este espacio y además contar con un respaldo de los datos.

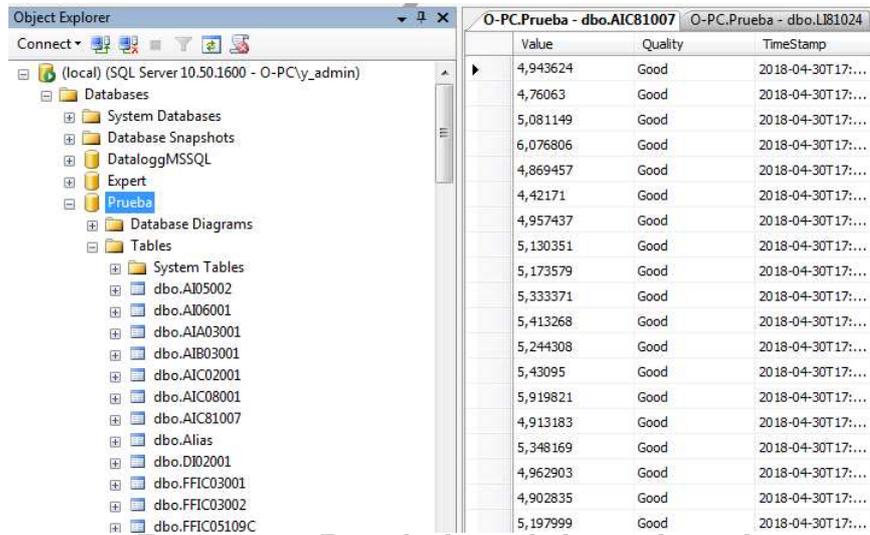
3.5. Análisis de la prueba en la Electroquímica

De manera similar sucede en la estación de prueba en la Electroquímica, luego de configurar el software, el sistema operativo y la conexión en la estación de prueba se seleccionan los ítems a archivar y comienza el proceso de almacenamiento como se muestra en la figura 3-12.

Type	Status	Alarm	Computer	OPC Server	Item Location	Item	Value	TimeStamp
✓	✓	✓	172.17.1.64	Yokogawa ...	FCS0101FIC02003.PV	PV	0.007126925	8:58:50 AM
✓	✓	✓	172.17.1.64	Yokogawa ...	FCS0101FIC81007.PV	PV		8:58:50 AM
✓	✓	✓	172.17.1.64	Yokogawa ...	FCS0101FI81036.PV	PV		8:58:50 AM
✓	✓	✓	172.17.1.64	Yokogawa ...	FCS0101PI04003.PV	PV		8:58:50 AM
✓	✓	✓	172.17.1.64	Yokogawa ...	FCS0101FI81018.PV	PV		8:58:50 AM
✓	✓	✓	172.17.1.64	Yokogawa ...	FCS0101LI02001.PV	PV		8:58:38 AM
✓	✓	✓	172.17.1.64	Yokogawa ...	FCS0101DI02001.PV	PV	1096.92	8:58:50 AM
✓	✓	✓	172.17.1.64	Yokogawa ...	FCS0101LI03002A.PV	PV	-1.971196	8:58:50 AM
✓	✓	✓	172.17.1.64	Yokogawa ...	FCS0101LI03002B.PV	PV	-1.306322	8:58:50 AM
✓	✓	✓	172.17.1.64	Yokogawa ...	FCS0101AIB03001.PV	PV	0.09543656	8:58:50 AM
✓	✓	✓	172.17.1.64	Yokogawa ...	FCS0101AIA03001.PV	PV	0.5428939	8:58:50 AM
✓	✓	✓	172.17.1.64	Yokogawa ...	FCS0101LI04004.PV	PV	38.45514	8:58:50 AM
✓	✓	✓	172.17.1.64	Yokogawa ...	FCS0101PI05008.PV	PV	-0.09535275	8:58:50 AM
✓	✓	✓	172.17.1.64	Yokogawa ...	FCS0101LI05004.PV	PV	-0.1562925	8:58:50 AM

Figura 3-12: Selección de los ítems a archivar

En la figura 3-13 se muestra en el Microsoft SQL Management Studio como la base de datos con las variables reales del proceso funciona correctamente, creando una tabla por ítem con las columnas de Valor, Calidad de la señal y Marca de tiempo.



The screenshot shows the SQL Server Object Explorer on the left, displaying a tree view of the 'Prueba' database. The right pane shows a query result table with the following data:

Value	Quality	TimeStamp
4,943624	Good	2018-04-30T17:...
4,76063	Good	2018-04-30T17:...
5,081149	Good	2018-04-30T17:...
6,076806	Good	2018-04-30T17:...
4,869457	Good	2018-04-30T17:...
4,42171	Good	2018-04-30T17:...
4,957437	Good	2018-04-30T17:...
5,130351	Good	2018-04-30T17:...
5,173579	Good	2018-04-30T17:...
5,333371	Good	2018-04-30T17:...
5,413268	Good	2018-04-30T17:...
5,244308	Good	2018-04-30T17:...
5,43095	Good	2018-04-30T17:...
5,919821	Good	2018-04-30T17:...
4,913183	Good	2018-04-30T17:...
5,348169	Good	2018-04-30T17:...
4,962903	Good	2018-04-30T17:...
4,902835	Good	2018-04-30T17:...
5,197999	Good	2018-04-30T17:...

Figura 3–13: Base de datos de la prueba real

Con el software funcionando, el desempeño de la computadora fue correcto, el micro-procesador se mantuvo por debajo del 5% y la memoria RAM funcionó al 40% de su capacidad.

3.6. Análisis económico y medioambiental

Los clientes OPC en los sistemas de control industrial pueden ser un paquete propio de estos sistemas o una aplicación de terceros cuyo costo es independiente al del sistema de control industrial. Como aplicación desde el punto de vista económico deben analizarse una serie de aspectos. En primer lugar el precio de adquisición en correspondencia con el tipo de licencia, en segundo lugar los costos asociados a temas de capacitación de los usuarios finales y personal de mantenimiento encargado de estas aplicaciones, como parte del sistema de control industrial; en un tercer lugar se encuentran los temas asociados a costos de actualización de estas aplicaciones y por último el costo de servicio de soporte técnico especializado.

3.6.1. Precios de adquisición en correspondencia con el tipo de licencia

El costo de la aplicación de terceros está asociado al valor de la licencia fundamentalmente porque el software generalmente está disponible para descargar en versión de prueba, de ahí la importancia de seleccionar correctamente el tipo de licencia. Estos valores dependen de dos factores: las funcionalidades (cantidad de *tags*, herramientas de análisis de los datos, versiones de las especificaciones OPC soportadas) y el tiempo de vida útil asociado a dicha licencia (existen licencias expresamente temporales, por suscripción y licencias completas).

En la tabla 3.6.1 se muestran los precios para cada uno de los software analizados, si se quisieran emplear en la Electroquímica de Sagua por dos años y con una capacidad de mayor a 720 *tags*.

Software	Precio (en USD)
Enterprise Historian	\$12 840.00 (\$535.00/mes)
Vijeo Historian	\$10 000.00 (licencia completa)
OPC2DB	\$590.00 (licencia completa)
Desktop Historian	\$7 800.00 (licencia completa)
OPC Expert	\$995.00 (licencia completa)

Tabla 3–1: Precios de distintos clientes bajo las mismas condiciones

3.6.2. Capacitación

En muchas ocasiones para dominar las interioridades de cada uno de estos software es necesario un esquema de capacitación brindado por el fabricante, en el que pueden emitirse certificaciones o acreditaciones del nivel adquirido. Estos esquemas tienen un costo asociado que varía en dependencia de las complejidades de la aplicación y del nivel que se pretende adquirir.

En Cuba los costos de capacitación o acreditación en manejo de software de terceros puede oscilar entre 200 y 1500 USD por especialista a capacitar (ofertas de Yokogawa para la planta de cloro-sosa). En el caso de los *historian* es muy probable que se requiera un proceso de capacitación y habría que solicitar ofertas.

En el caso de OPC Expert no es necesario este tipo de atención pues el software es muy intuitivo, además de que existen disponibles para su consulta materiales como el manual de usuario y videos tutoriales que facilitan el desarrollo de habilidades con el programa.

3.6.3. Costo de actualización

Las actualizaciones de los DCS de Yokogawa garantizan compatibilidad total con las versiones anteriores sin costos adicionales asociados a la licencia, mientras las funcionalidades requeridas en cuanto a la actualización se mantengan. Sin embargo, en el caso de las aplicaciones de terceros que interactúan con sistemas de control industrial, existe susceptibilidad a estos cambios debido a que pueden cambiar las condiciones de operación de dichas aplicaciones (actualización de las especificaciones, actualización de sistema operativo, etc). Además, como no siempre se garantiza compatibilidad total con versiones anteriores en algunos casos es necesario volver a adquirir las licencias.

A pesar de que no se compra la licencia del software de tercero bajo la premisa de que será actualizado, debe tenerse en cuenta que el sistema de control industrial sufrirá actualizaciones y por tanto es lógico analizar el caso en que sean necesarias las actualizaciones del software de terceros.

Por ejemplo Prosys no garantiza que las tablas creadas con una nueva versión de OPC2DB puedan funcionar con versiones anteriores del programa. En el caso de OPC Expert no se encontró información al respecto.

3.6.4. Soporte técnico

El servicio de soporte técnico especializado garantiza minimizar las interrupciones en este tipo de aplicaciones, lo que implica minimizar los costos en cuanto a tiempo y operatividad del sistema en su conjunto. En la mayoría de los clientes OPC analizados el servicio de soporte técnico especializado se realiza a distancia, vía web o telefónica y sin coste alguno.

En el caso de nuestro país debe tenerse en cuenta que producto al bloqueo es necesario garantizar el acceso a estos servicios. Hay compañías que tienen restricciones respecto a Cuba y no permiten desde aquí la entrada a foros y páginas de descarga de software o materiales de apoyo. Tal es el caso de Prosys, que al iniciar el interés en el software, un empleado rápidamente alertó sobre las posibles limitaciones para su comercio con nuestro país. El OPCTI no ofrece este problema debido a que es un centro canadiense y su personal está siempre presto a brindar su ayuda ante cualquier situación.

El OPC Expert es el segundo de los software analizados que resulta más económico por concepto de licencias. No requiere capacitación, a diferencia de varios otros. Una actualización del software no requiere una nueva licencia, pero no se conoce si componentes de una versión adelantada sean compatibles con versiones anteriores del programa. El soporte técnico, al igual que las otras aplicaciones se realiza vía telefónica o web. Debido a estas razones se considera el software más factible para la Electroquímica de Sagua.

3.6.5. Análisis medioambiental

La situación internacional por el empleo de armas químicas es cada vez más tensa. El cloro es considerado dentro de esta categoría, por lo que el transporte para su importación se ve comprometido, de ahí la necesidad de producir en Cuba el que se consume internamente. La demanda de este material es creciente debido a las enfermedades por déficit sanitario que azotan la Isla y el desarrollo de industrias que necesitan de un tratado efectivo de aguas residuales. Además, resulta una necesidad inmediata sustituir la antigua planta ya que debido a su deterioro existen fugas y explosiones de sustancias

que amenazan, no sólo al personal que trabaja en la empresa, sino a toda la zona de Sagua la Grande y Quemado de Güines.

3.7. Consideraciones finales del capítulo

Es necesario un proceso detallado de configuración para que se ejecute correctamente el software OPC Expert. Este programa demanda pocos recursos y en computadoras sin grandes prestaciones tiene un rendimiento adecuado, así lo demuestran la simulación y la prueba real que se realizó en ELQUIM. Su empleo presupone un ahorro considerable en comparación con otros software disponibles en el mercado, debido al bajo precio de su licencia, al hecho de que no es necesaria una capacitación del personal y la facilidad del soporte técnico gratuito vía web. En la Electroquímica de Sagua, este software constituye una solución factible para el almacenamiento de los datos provenientes de la planta.

CONCLUSIONES

Como resultado final de esta investigación, se propone un cliente OPC comercial que posibilita almacenar en una base de datos los valores de las variables de proceso en la Electroquímica de Sagua, lo cual queda demostrado mediante la simulación y pruebas reales en dicha empresa. A partir de estos resultados, se plantean las conclusiones generales siguientes:

- A partir del estudio realizado en la literatura especializada sobre los sistemas de control distribuido que emplean clientes OPC, se establece la factibilidad de uso de esta tecnología y se determina como mejor alternativa el empleo de un software comercial especializado para la historización para los datos provenientes de la empresa ELQUIM.
- El uso de un software *historian* profesional conlleva a un complejo despliegue en la configuración, requiere de hardware y software de alto nivel, contiene funcionalidades por encima de la explotación real que tendría, además de poseer un costo considerable. En su lugar se propone el empleo de un data logger que realiza las funciones fundamentales de almacenamiento y seguridad, entre ellos el que mejores características ofrece es el OPC Expert.
- El software OPC Expert asegura el almacenamiento de los datos de proceso para su posterior análisis en la sección administrativa de la red de ELQUIM. Los resultados de la simulación y la prueba real efectuada, utilizando altos valores de frecuencia de muestreo, demuestran la validez de esta propuesta.

RECOMENDACIONES

Para desarrollar este trabajo se recomienda lo siguiente:

- Extender el uso de la tecnología OPC a otras soluciones que brinda la empresa CEDAI Villa Clara.
- Realizar un trabajo detallado en la determinación de las variables necesarias a almacenar en estas bases de datos, así como sus respectivos tiempos de muestreo. Estos factores son determinantes en el espacio que ocupará la base de datos y su velocidad de crecimiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, R.; Normey-Rico, J. E.; Merino A.; de Prada C. (2003). Un scada vía opc aplicado a una planta piloto. In: *2º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo & Gas*.
- Bateson, R. N. (1989). *Introduction to control system technology*. Prentice Hall PTR.
- Blanco, P. M.; Poli, M. A.; Barretto M. (2003). Opc and corba in manufacturing execution systems: a review. In: *Emerging Technologies and Factory Automation, 2003. Proceedings. ETFA'03. IEEE Conference*. Vol. 2. IEEE. pp. 50–57.
- Chao, D. (2009). Research and application of opc technology in interconnection of heterogeneous control networks. *Process automation instrumentation* **12**, 019.
- Chardin, B.; Lacombe, J.; Petit J. (2012). Data historians in the data management landscape. In: *Technology Conference on Performance Evaluation and Benchmarking*. Springer. pp. 124–139.
- Chretien, J.; Peters, M. ; Dubreuil P. (2009). Real-time air quality monitoring: Challenges and considerations.
- Creus, A. (2012). *Instrumentación industrial*. Marcombo.
- Farnham, B.; Barillere, R. (2011). Migration from opc-da to opc-ua. Technical report. CERN, Ginebra, Suiza.
- Fras, A.; Dang, T. (2004). Improving industrial application's performances with an historian. In: *Industrial Technology, 2004. IEEE ICIT'04. 2004 IEEE International Conference on*. Vol. 2. IEEE. pp. 718–721.
- Georgoudakis, M.; Kapsalis, V.; Koubias S.; Papadopoulos G. (2003). Advancements, trends and real-time considerations in industrial ethernet protocols. In: *Industrial Informatics, 2003. INDIN 2003. Proceedings. IEEE International Conference on*. IEEE. pp. 112–117.
- Gurav, V.; Naikawadi, S.; Patil R.; Patil S. (2016). Data logger system. In: *International Journal of Innovative Research in Science and Engeneering*. Vol. 2. DMGOI. pp. 725–729.
- Hong, X.; Jianhua, W. (2006). Using standard components in automation industry: A study on opc specification. *Computer Standards & Interfaces* **28**(4), 386–395.
- Kaschel, H.; Pinto, E. (2001). Análisis del estado del arte de los buses de campo aplicados al control de procesos industriales. *Ciencia Abierta*.
- Kishimoto, N.; Masuta, K. (2004). Enhancement of exaquantum using new technologies. *Yokogawa Technical Report-English Edition-* pp. 25–28.

- Labs, Canary (2018). Process Data Historian Storage & Analysis Software | Canary Labs. URL: <https://www.canarylabs.com/en/products/historian> [Online; accedido 28. Marzo 2018].
- Lee, K. ; Tamayo, E.; Huang B. (2010). Industrial implementation of controller performance analysis technology. *Control Engineering Practice* **18**(2), 147–158.
- Leitner, S.; Mahnke, W. (2006). Opc ua–service-oriented architecture for industrial applications. *ABB Corporate Research Center*.
- Lieping, Z.; Aiqun, Z.; Yunsheng Z. (2007). On remote real-time communication between matlab and plc based on opc technology. In: *Control Conference, 2007. CCC 2007. Chinese*. IEEE. pp. 545–548.
- López, O. (2011). Diseño de un control distribuido para una planta. tesis de doctorado. universidad de rovira y virgili.
- Luz, D. A.; Forero, L. G. (2015). Estudio y diseño de una plataforma de entrenamiento de alto nivel en control electrónico a partir de sistemas de control distribuido (dcs).
- Mahnke, W.; Leitner, S.; Damm M. (2009a). *OPC unified architecture*. Springer Science & Business Media.
- Mahnke, Wolfgang; Leitner, S (2009b). Arquitectura opc unificada. *Revista ABB 3* pp. 56–61.
- Matrikon OPC, Inc. (2018). Historización OPC. URL: <http://www.matrikonopc.es/products/opc-archiving/index.aspx> [Online; accedido 5. Diciembre 2017].
- McCarthy, J.; O’Sullivan, D. (2014). A data access framework for integration to facilitate efficient building operation. In: *Emerging Technology and Factory Automation (ETFA), 2014 IEEE*. IEEE. pp. 1–4.
- McMahon, T. (1979). Distributed digital control-control technology breakthrough. *Chemical Engineering* **86**(22), 117–119.
- Miller, J. P.; Lundeberg, M. R. (2008). Process data storage for process plant diagnostics development. US Patent App. 11/531,057.
- Moreno, E. (2001). *Automatización de procesos industriales*. Alfaomega Valencia.
- Moscoso, J. J. (2014). Integración de diferentes sistemas de control distribuido (dcs) utilizando software estándar y tecnología opc. tesis de diploma. universidad nacional de san agustín de arequipa.
- Nunan, G. (2018). Data historians vs time-series: which is better for data analysis? URL: <http://www.nukon.com.au/blog/time-series-vs-data-historians-which-is-better-for-big-data-analysis> [Online; accedido 2. Mayo 2018].
- Oda, S.; Torigoe, K. (2008). Development concept of the centum vp new integrated production control system-operational excellence by vigilantplant. *Yokogawa Technical*

Report-English Edition- **45**, 35.

- OPC Foundation, inc. (2018). Free stuff - opc clients. URL: <http://www.opcconnect.com/freecli.php> [Online; accedido 14. Diciembre 2017].
- OPC, Prosys (2018). Prosys OPC Client - Prosys OPC. URL: <https://www.prosysopc.com/products/opc-client> [Online; accedido 28. Marzo 2018].
- OPCTI (2018). OPC Expert software - download for free. URL: <https://opcexpert.com> [Online; accedido 28. Marzo 2018].
- Otero, S.; Rodríguez, R. C. (2007). Interfaz OPC para SCADA Nacional de PDVSA. PhD thesis. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- Oyaga, G.; Izquierdo, M.; Fuentesfría M. Á. (2003). Sistema scada. *Informador Técnico* **66**, 42–49.
- Peña, L. (2010). Implementación de servicio de obtención y almacenamiento de datos usando el modelo cliente-servidor de opc.
- Rodríguez, A. (2007). Sistemas scada. *Marcombo, Barcelona*.
- Rojas, J. J. (2010). La evolución del control de procesos y la telemetría. *Boletín electrónico*.
- Sánchez, R. D. (2010). Camino hacia la creación de clientes y servidores bajo el estándar ua de la fundación opc. *INGE CUC* **6**(1), 157–166.
- Schwarz, M. H.; Boercsoek, J. (2008). Advances of opc client server architectures for maintenance strategies—a research and development area not only for industries. *WSEAS Transactions on Systems and Control* **3**(3), 195–207.
- Sherman, D. (2015). Dynamic positioning data using opc data exchange standard. URL: <http://www.nukon.com.au/blog/time-series-vs-data-historians-which-is-better-for-big-data-analysis>[Online; accedido 2. Mayo 2018].
- Shi, Z.; Huilong, C. (1995). Principle and application of field communication protocol hart. *Measurement & Control Technology* **2**, 019.
- Silberschatz, A.; Korth, H.; Sudarshan S.; Pérez F.; Santiago A.; Sánchez A. (2002). *Fundamentos de bases de datos*. number 04; QA76. 9. D3, S5y 2002.. McGraw-Hill.
- Sinnot, R. K (1993). *Coulson & Richardson's chemical engineering*. Vol. 2. Pergamon.
- Son, M. ;Yi, M. (2010). A study on opc specifications: Perspective and challenges. In: *Strategic Technology (IFOST), 2010 International Forum on*. IEEE. pp. 193–197.
- Traub, A.; Schraft, R. (1999). An object-oriented realtime framework for distributed control systems. In: *Robotics and Automation, 1999. Proceedings. 1999 IEEE International Conference on*. Vol. 4. IEEE. pp. 3115–3121.
- Vázquez, I. (2014). Se prepara empresa electroquímica de sagua la grande para cambio de tecnología.

- Venkatesh, S.; Sides, B.; Michaloski J.; Proctor F. (2007). Case study in the challenges of integrating cnc production and enterprise systems. In: *ASME 2007 International Mechanical Engineering Congress and Exposition*. American Society of Mechanical Engineers. pp. 207–213.
- Villajulca, J. C. (2011). Introducción a los sistemas de control distribuido DCS. URL: <http://www.instrumentacionycontrol.net/cursos-libres/automatizacion/cursos-redes-industriales/item/287-introducci>[Online; accedido 13. Dic. 2017].
- Villarrubia, J. (2002). Opc: Ole para control de procesos. *Ingeniería química* (392), 68–74.
- Yokogawa (2016). Technical information exaquantum plant information management system. [Online; accedido 2. Mayo 2018].
- Yokogawa (2018a). General specifications exaquantum plant information management system. [Online; accedido 2. Mayo 2018].
- Yokogawa (2018b). Integrated Production Control System CENTUM VP System Overview.pdf. URL: <https://partner.yokogawa.com/global/pdf/provide/E/GW/GS/0000029072/0/GS33J01A10-01EN.pdf> [Online; accessed 27. Mar. 2018].
- Yokogawa, México (2017). Sistema de control distribuido (DCS) |. URL: <https://www.yokogawa.com/mx/solutions/solutions/safety-case-regime/control-system/distributed-control-systems-dcs> [Online; accedido 13. Dic. 2017].
- Zamarreño, J.; Cristea, S.; Rueda A.; Ghraizi R. (2015). Módulos opc para control y supervisión de entornos industriales.