



AUTOMATIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CRISTALES DE STEVIA

Jessica Raquel Fernández Gómez y Bernardo Rivas Giménez

Universidad Nacional de Asunción - Facultad Politécnica

Paraguay

RESUMEN

En la actualidad la mayoría de las industrias buscan mejorar sus procesos de producción, para obtener mayor competitividad de sus productos frente a productos afines a otras industrias, logrando con esto mantenerse en el mercado. Con esta filosofía, se ha encaminado los esfuerzos hacia la Automatización de los procesos de producción en la obtención de cristales de *Stevia*.

Actualmente la *Stevia* paraguaya se exporta a EEUU, Europa, Asia y a otros países de la región. Paraguay apunta a ser el mayor exportador de *Stevia* en el mundo. La demanda del edulcorante a base de *Stevia* aumentó debido a varios puntos. El extracto de *Stevia* es 300 veces más dulce que el azúcar (1 gr de Cristal de *Stevia*= 300 gr de azúcar). La *Stevia* es un producto de 0 calorías y 100% dulzor; regula el nivel de azúcar en la sangre (insulina) por lo cual es beneficiosa para diabéticos; ayuda a reducir el almacenamiento de grasa en el organismo; es un fuerte antioxidante y dificulta la aparición de caries.

Con el objetivo de proponer la implementación de un Sistema de Control y monitoreo de la producción de cristales de *Stevia*, a fin de contribuir en la optimización del producto con criterios de calidad para el proceso de producción, se realizó un estudio de las fases de producción. Se determinó que los procesos más importantesson la fase de filtrado y macerado, donde se realiza la extracción de la parte soluble de la *Stevia* y eliminación de partículas en suspensión. Considerando la complejidad de las fases mencionadas, se diseñó un sistema que permite realizar el control y monitoreo, en tiempo real, de la presión diferencial, el caudal del líquido, la temperatura en el proceso de maceración y el nivel de tanque en todas las fases, por medio de dispositivos de control modernos, que permitan el ahorro de tiempo y de mano de obra, y la obtención de un proceso continuo. Como resultado se obtuvo un sistema de control autónomo, centralizado y eficiente que permite el control en tiempo real del proceso de filtrado y macerado, verificando las variables implicadas en las fases.

De manera a lograr los objetivos de un control y monitoreo eficaz, se aplica un software SCADA que reúne los requisitos necesarios para el seguimiento de las variables involucradas en los procesos citados, así como un historial de comportamiento de los procesos.

PALABRAS CLAVES

Stevia-Producción, Control y Monitoreo, Control Autónomo, SCADA, Filtración-Maceración.



Fases que conlleva la extracción del esteviósido basado en la separación por membranas

- Osmosis inversa: purificación del agua.
- Maceración: extracción solido- líquida.
- Microfiltración: eliminación de partículas mayores a 0,2 micras.
- Cromatografía: separación de componentes de la mezcla mediante la inyección de alcohol orgánico.
- Clarificación: decoloración del concentrado.
- Cristalización: formación de paredes cristalinas a partir del concentrado líquido.
- Atomización: extracción del polvo (esteviósido) a partir del cristal.

1. Diseño propuestos de las soluciones técnicas

El diseño propuesto se presenta a continuación, mediante el diagrama de tuberías e instrumentación (P&ID- Piping And Instrumentation) equivalente, basado en la norma ISA-5.1-1984 (R1992)-Instrumentation Symbols and Identification.

Toda la descripción del diseño se basará en este diagrama modificado de acuerdo a la propuesta tecnológica a ser introducida, con los diferentes equipos utilizados en la planta y con la implementación de nuevos equipos y materiales apropiados para la automatización y control; tomando como referencia todas la nomenclaturas (tags), asignados a sus distintos componentes basándose en el cumplimiento de la norma expuesta.

2. Sistema de control de procesos

Para el control de la temperatura del concentrado de este tanque, se debe realizar un lazo de control sobre la variable temperaturadel líquido. Cabe mencionar que el método actual utilizado por la empresa es el control manual. Se instalará un sensor de temperatura en el tanque con transmisor de señal incorporado de 4-20mA. El mismo, enviará la señal al PLC, el cual realizará un cálculo por medio de un bloque de control PID, que estará configurado para enviar la señal de acción al relé en estado sólido, y este a su vez enviará la señal eléctrica a las dos resistencias ubicadas en el tanque. El rango configurado del sensor de temperatura será de 0 - 100°C, siendo el valor nominal de trabajo de 60°C.



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
25 y 26 de Agosto de 2016

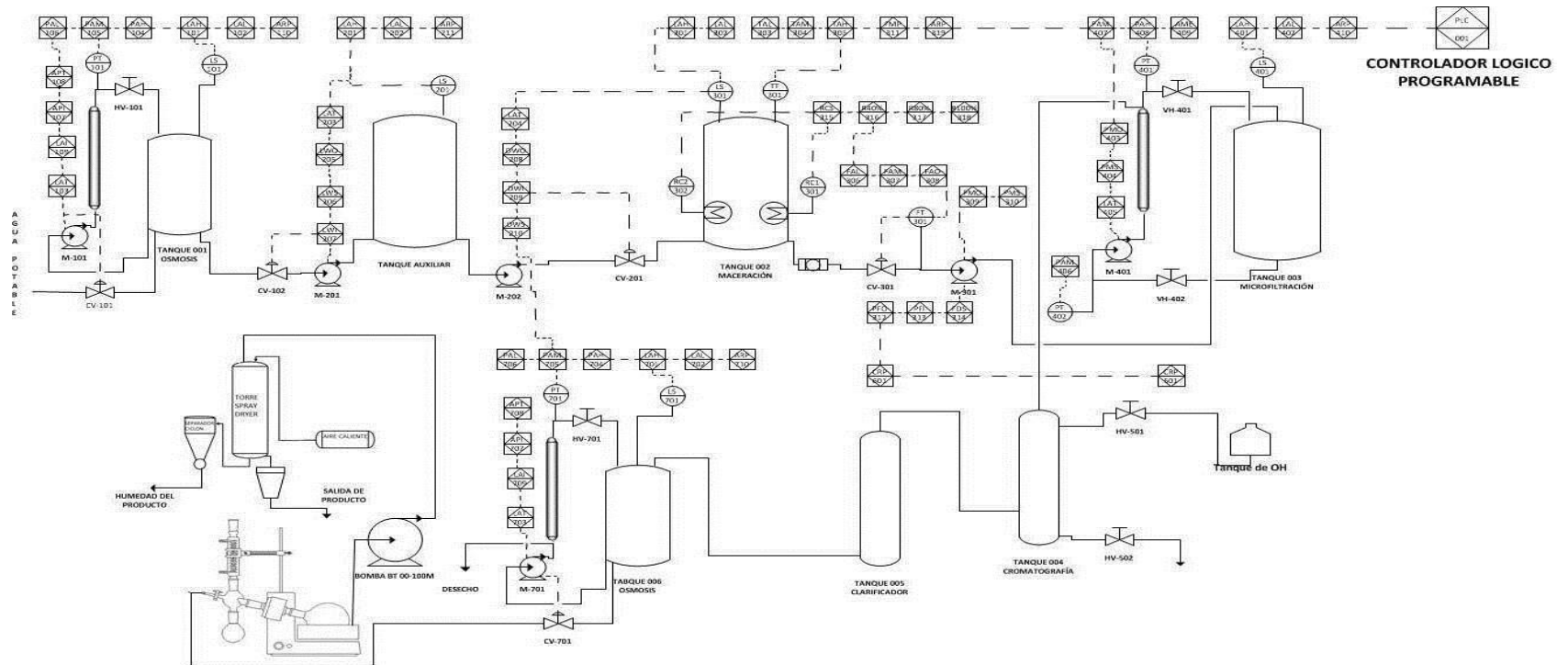


Figura N° 1 Diseño propuesto de soluciones técnicas

3. Sintonización de los valores del controlador PID

La sintonización del sistema se realizó mediante mediciones en la planta. Para ello se utilizaron: un tanque (capacidad de 100Lts), en el cual ya se encuentra instalada una resistencia de calentamiento de 3000 Watts; sensor de temperatura tipo RTD con transmisor; una PC, cronómetro; lápiz y una planilla; con la finalidad de determinar la respuesta del sistema, y a su vez, visualizando la variación de la temperatura en el tanque para un rango entre el 0% y 100% del funcionamiento de la resistencia. Para obtener la gráfica de la respuesta del sistema, se procedió de la siguiente manera:

- Se vertió 60 litros de agua al tanque a temperatura ambiente (26°C).
- Se observó el valor de la temperatura medido por el sensor.
- Se procedió a activar la resistencia al 100%.
- Se procedió a registrar, en intervalos de 5 minutos, el valor de la temperatura medido por el sensor de temperatura.
- Se registró los datos, el tiempo final sería el tiempo donde se produce la estabilización de la temperatura.

Teniendo en cuenta los procedimientos descritos y luego de un minucioso análisis se tuvo como resultado la gráfica de la curva de respuesta de la temperatura del fluido en el tanque, en función al tiempo.

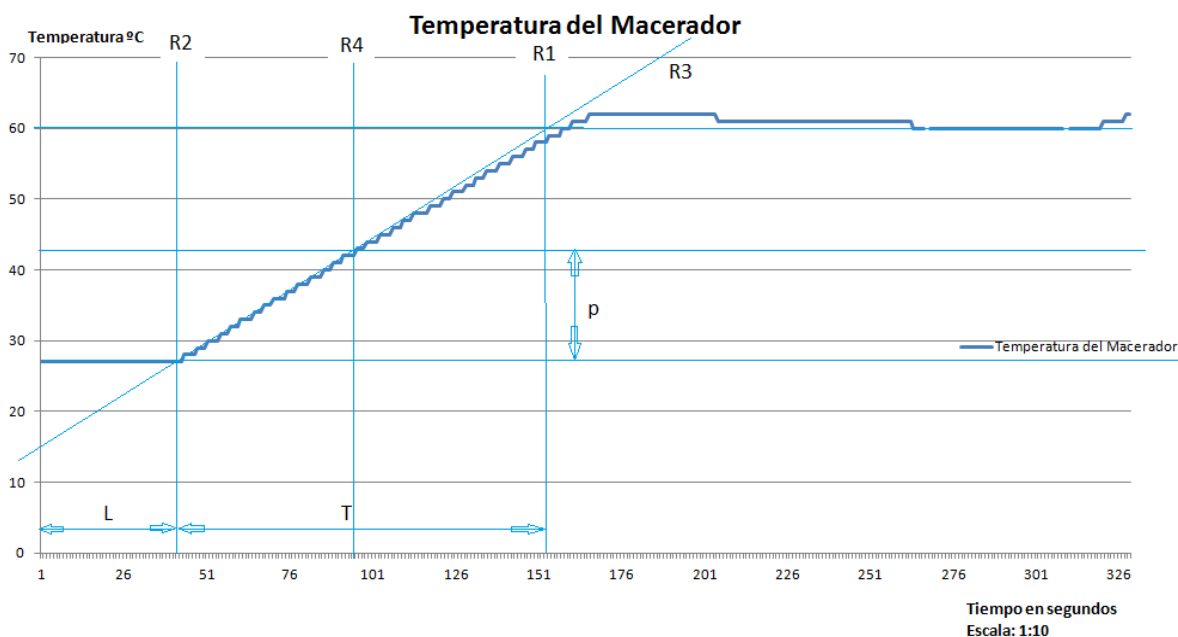


Figura N° 2 Curva de respuesta del macerador.

A partir del gráfico anterior y aplicando el método de ajuste por la curva de reacción, reglas de Ziegler-Nichols, se puede determinar la función de transferencia del sistema y los valores del controlador PID. De la curva de reacción de este proceso se obtienen dos factores característicos del mismo, a partir de los cuales, se realiza el ajuste del controlador aplicando una fórmula simple. La controlabilidad del lazo se puede fijar con bastante sensibilidad, a partir de las dos características siguientes obtenidas de la curva de reacción:

- Valor de reacción, constante de tiempo T .

XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
25 y 26 de Agosto de 2016

- Tiempo de retardo o muerto de la respuesta L .

El tiempo de retardo y la constante de tiempo se determinan dibujando una recta tangente en el punto de inflexión de la curva en forma de “S” y determinando las intersecciones de esta recta tangente con el eje del tiempo y la línea $c(t)=K$ como se aprecia en la figura 2. En este caso la función de transferencia $C(s)/U(s)$ se aproxima mediante un sistema de primer orden con retardo de transporte.

Para este caso se traza una línea recta tangente al punto de inflexión $R4$, el primer factor, el tiempo muerto L , es el tiempo en minutos entre el momento del cambio en escalón, provocado en el tiempo cero, y el punto donde la tangente cruza el valor de la variable controlada en el estado estacionario inicial, línea $R2$. De acuerdo a la figura2, se tiene que el tiempo de retardo es $L= 410 \text{ seg}$. El valor T (el tiempo de asentamiento), es la pendiente de la recta trazada. El tiempo se obtiene como la diferencia entre el punto de inflexión donde empieza el estado estacionario final, representado por $R1$ y la recta de reacción $R2$, que representa el límite del tiempo muerto, saliendo del estado estacionario inicial donde el valor de la constante de reacción obtenida es $T= 1110 \text{ seg}$.

La respuesta de la planta a una entrada escalón unitario se obtiene de manera experimental. Si la planta no contiene integradores ni polos dominantes complejos conjugados, la curva de respuesta escalón unitario puede tener forma de S, como se observa en la figura 2. A continuación, se resumen los cálculos basados en la curva de respuesta obtenida experimentalmente:

- Tiempo de retardo (L): $410 \text{ seg} = 6.833 \text{ min}$
- Tiempo de asentamiento (T): $1110 \text{ seg} = 18.5 \text{ min}$
- Rango de calibración: 27°C a 60°C
- Punto de inflexión (P): 47°C , representa el 63% del rango calibrado en el tiempo de 10 minutos posterior al tiempo de retardo
- Constante de tiempo (t): $600 \text{ seg.} = 10 \text{ min.}$
- Banda proporcional (BP): $47\%/\text{min}$
- Ganancia de la función de transferencia del sistema (K): $0,6$

La ganancia K del sistema está dada por la razón entre la tasa porcentual de asentamiento en el estado estacionario final y la banda proporcional BP . Por consiguiente, la función de transferencia obtenida experimentalmente es:

$$\frac{G(s)}{U(s)} = \frac{K e^{-6.833s}}{10s+1}$$

Se determina por medio de la observación de la curva de respuesta del sistema y en base a los conocimientos adquiridos que, para sistemas de respuesta lenta y con tiempo de retardo importante, la selección de un tipo de control adecuado para este caso sería el control PID. Por último, para determinar los valores de

sintonización del controlador mencionado, se procede a la aplicación de la regla de sintonía de Ziegler – Nichols.

Tabla I: Regla de sintonía de Ziegler-Nichols para calcular parámetros del PID

Controlador	Kp	Ki	Kd
P	T/L	Infinito	0
PI	0,9 T/L	L/0,3	0
PID	1,2 T/L	2 L	0,5L

De la tabla anterior, se calculan los parámetros del controlador PID, mediante los valores de la constante de tiempo (t) y tiempo muerto (L) del sistema de transferencia en lazo cerrado:

- Constante de proporcionalidad (Kp) = 1,76
- Constante de tiempo de integración (Ti) = 13,6
- Constante de tiempo derivativo (Td) = 3,4

4. Sistema de monitoreo del tanque de maceración y microfiltración

El sistema SCADA fue diseñado mediante el software Monitoriza del grupo ACIMUT, el cual está basado en una plataforma de desarrollo compatible con el PLC; es de instalación sencilla e inmediata, incluye comunicaciones nativas ModBUS, Ethernet S7 para S7-300 y conectividad OPC; no precisa programación para la creación de proyectos; es extensible mediante programación en C# o VB.Net; a nivel de proyecto podemos definir los usuarios y los permisos asignados a cada uno ellos y su licencia tiene un costo accesible de 100 variables. El mismo es seleccionado debido a la facilidad de la comunicación, la asignación de variables, la compatibilidad con una amplia variedad de equipos. La comunicación utilizada es por medio de una red LAN – Ethernet, a través del protocolo MODBUS TCP/IP utilizados entre el SCADA y el PLC.

El sistema de monitoreo del tanque de maceración y microfiltración está desarrollado para la visualización de las variables dentro de los mismo, lo cual permite obtener el estado y control a lo largo del proceso continuo, obtener un registro, ajustar los actuadores y generar alarmas.

El SCADA presenta en la pantalla principal el esquema del proceso de maceración y microfiltración, los indicadores de la temperatura, caudal, presión, la fecha de producción, los controles remotos para encendido y revisión del estado de las bombas en general. Como se observa en la figura 4, con el SCADA se puede tener una información de las variables implicadas en el proceso. En la parte superior derecha se observa la fecha y los valores iniciales del proceso. El SCADA también permite el arranque, parada y visualización de estado, de las bombas así como la visualización del funcionamiento de las resistencias de calentamiento.

El SCADA permite también acceder a las opciones para observar el plano esquemático de equipos instalados en campo, archivos históricos para exportar, alarmas y eventualmente visualizar la curva de temperatura, permitiendo tener un gráfico de reportes del proceso en un determinado tiempo deseado. Con el software SCADA también se puede tener una vista de las etapas de cada proceso y la duración del mismo.

XII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
25 y 26 de Agosto de 2016

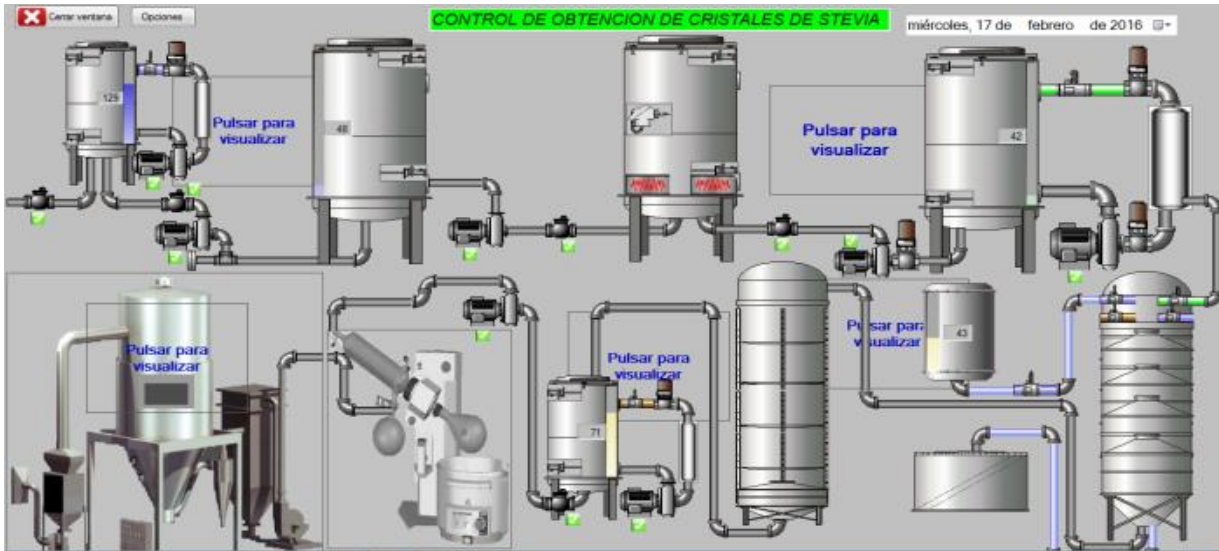


Figura N°4: Pantalla principal del sistema SCADA.

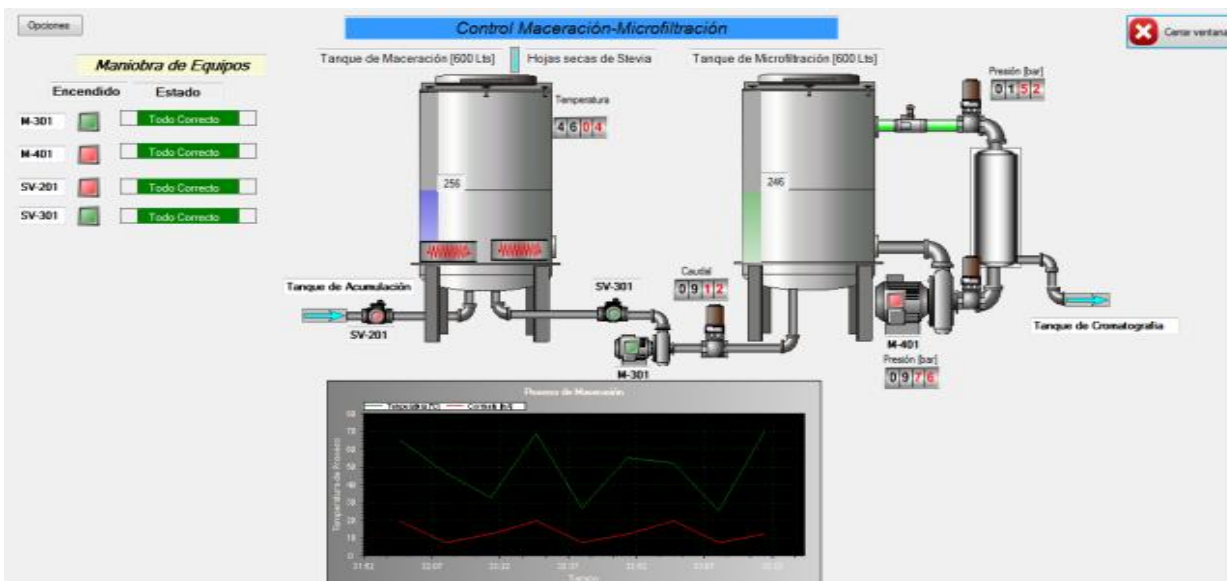


Figura N° 5: Subproceso maceración - microfiltración.



5. Conclusiones

Con este proyecto se implementa un sistema de control y monitoreo de la presión diferencial, el caudal del fluido, la temperatura en el macerado y el nivel de los tanques, que permite obtener una mejor respuesta de las variables implicadas en el proceso, permitiendo:

- El ahorro de tiempo y mano de obra;
- Un proceso continuo;

Se selecciona instrumentos adecuados de acuerdo a las condiciones de proceso, además de un sistema de interacción entre el operario, los instrumentos de campo y la gestión del proceso de filtrado y macerado.

El análisis de la viabilidad del proyecto permite concluir que será económicamente sustentable, en los puntos mencionados anteriormente. La simulación demostró que es posible contribuir en la disminución del tiempo de producción.

6. Referencias

- [1.] **Cámara Paraguaya de la Stevia (CAPASTE)**. www.capaste.org.py. [En línea] [Citado el: 23 de Octubre de 2015.] <http://www.capaste.org.py>. LC/W.505.
- [2.] **JP, GÚZMAN**. *Diseño de una planta para la obtención de una bebida carbonatada de jugo clarificado de mora por microfiltración tangencial. Clasificación de las operaciones de las tecnologías de membranas*. Quito. Ecuador: s .n, 2014.
- [3.] **JK, OGATA**. *Ingeniería de Control Moderna. Reglas de Ziegler Nichols para sincronizar PID*. 5ta Edición p 569. Madrid. España : Pearson Educación SA, 2010.
- [4.] **JACEDO SANCHEZ J**. *Control avanzado de procesos*. España: Díaz de Santos S.A, 2003.
- [5.] **HONEYWELL**. Solutions for Hybrid Control. [En línea] [Citado el: 12 de Mayo de 2015.] <http://www.honeywell.com>. 21715 (05).
- [6.] **MENDIBURU DIAZ, H**. Sistemas SCADA. [En línea] <http://hamd.galeon.com>. [Citado el: 3 de Junio de 2014.] www.ftthcouncil.org/p/cm/ld/fid=25.
- [7.] **Acimut**. <http://www.acimut.com>. [En línea] 2010. [Citado el: 23 de Junio de 2015.] <http://www.acimut.com/monitoriza/monitorizaintroduccion.htm>. 21715 (05).