

Introducción

En el estudio de nuevas tecnologías y en el desarrollo de tecnologías experimentales, cada vez es más necesario el uso de elementos electrónicos, y de forma más concreta el uso de sensores o sondas que nos permitan conocer los diferentes parámetros que intervienen en el sistema motivo de estudio o desarrollo. Además es necesario conocer los distintos sistemas de adquisición de datos, SAD, y mas concretamente las características mas importantes dependiendo del uso que se vaya ha hacer de los mismos. Dichos elementos y sistemas electrónicos son proporcionados por la industria en una amplia gama de modelos, lo que hace necesario un conocimiento básico de las características que han de tener los productos que se quieren adquirir. Si a esto sumamos el alto coste que significa contar con estos sistemas, el mantenimiento y puesta en servicio de los dispositivos, es necesario contar con un técnico especialista en la materia que estudie y oriente en la adquisición de estos productos y realice la puesta en marcha de los mismos, ya que con demasiada asiduidad se presentan problemas de diversa índole relacionados con su puesta en servicio.

La EIA, Escuela Internacional Del Agua, lleva a cabo proyectos destinados a la depuración, o tratamiento del agua. Dichos proyectos están orientados en gran parte a poblaciones o sociedades con unos recursos limitados, como por ejemplo, suministro de energía eléctrica y otros factores. Es de gran interés por parte de la EIA dotarlos de recursos que ayuden a mejorar dichas situaciones. El uso de equipos electrónicos permite llevar a cabo un seguimiento continuo de los diversos factores que determinan y caracterizan los diferentes métodos destinados al tratamiento de aguas y otros fines.

La economía de mercado en la que vivimos nos proporciona gran cantidad de ofertas por parte de los diferentes fabricantes y como es lógico sus sistemas son siempre de alta calidad y con márgenes de error muy concretos, esto a veces no es del todo cierto o varía con mas facilidad de la que debiera, por ello se hace complejo la elección de aparatos, si a lo antes expuesto le sumamos un conocimiento limitado de los sistemas a adquirir.

Por ello la gran variedad de sistemas y componentes electrónicos existentes en la actualidad no debe ser un problema, sino una ventaja a la hora de mejorar los proyectos de innovación que se lleven a cabo por parte de ingenieros de las diferentes especialidades. Debido a la tendencia que hoy en día se impone de una mayor especialización profesional, es necesario dotar de instrumentos o herramientas a los ingenieros o técnicos que tengan poca o ninguna formación en materias tan útiles y prácticas como la electrónica.

Con este proyecto se pretende dotar de un documento o herramienta que permita a los miembros y colaboradores de la EIA, tener unos conocimientos básicos sobre los sistemas de adquisición de datos utilizados para sus proyectos de innovación, y que les proporcionen criterios útiles a la hora de adquirir nuevos sistemas. Con ello se pretende evitar que adquieran sistemas que no se adecuen a las expectativas o necesidades que requieran.

Objetivos

Objetivo general

El objetivo general de este trabajo de investigación es la calidad y aplicaciones concretas que puedan tener los distintos sistemas utilizados en el control de parámetros asociados a la calidad del agua existentes en el mercado con la finalidad de dotar de una herramienta útil de testeo de sistemas de adquisición de datos demandados por la EIA (Escuela Internacional del Agua).

Se diseñará un banco de pruebas en modo de funcionamiento continuo para que diferentes individuos de la EIA tengan la posibilidad de realizar pruebas de funcionamiento de los sistemas de medida de parámetros, relacionados con la calidad del agua. Se incluirán todas las especificaciones necesarias para la instalación, puesta en marcha y mantenimiento del banco de pruebas diseñado.

Objetivos específicos

El objetivo general anteriormente expuesto se articula en los siguientes objetivos específicos:

- Estudio de las características de las diferentes sondas de medición de parámetros relacionados con la calidad del agua.
- Determinación de la curva de calibración de las diferentes sondas testeadas.
- Diseño e implementación de un banco de pruebas para la medida en continuo de los diferentes parámetros.

- Estudio dinámico de los diferentes parámetros.
- Valoración de los resultados obtenidos en cada ensayo.
- Determinación de las características de los sistemas demandados por la EIA.
- Concretar un protocolo básico de evaluación de sensores y sistemas de adquisición de datos.

Revisión Bibliográfica

La industria electrónica ha experimentado un gran desarrollo en las últimas décadas, debido a esto el amplio abanico de catálogos y ofertas de las numerosas empresas dedicadas a este sector, hace que la elección de los componentes que realmente van a ser útiles para una aplicación específica sea difícil. No obstante empresas como MATELCO ofrecen un soporte técnico para sufragar estos problemas, teniendo con ello que asumir un gasto adicional sino implícito, en forma de características extras del componente que de poco o nada sirven al cliente.

Dicho esto existen algunos estudios realizados por universidades que intentan aclarar a nivel técnico las cualidades o capacidades de los distintos elementos o componentes que se ofertan, seguidamente se hacen referencia a dos de ellos:

Una comparación de espesor de película química características del sensor de ph en el laboratorio y en línea las aplicaciones en procesos industriales.

(Publicado el 4 de noviembre de 2002 Escuela politécnica de Valencia)

Una investigación de las características de rendimiento y vida útil de funcionamiento de elementos múltiples sensores de película gruesa utilizada en la determinación de parámetros de la calidad del agua.

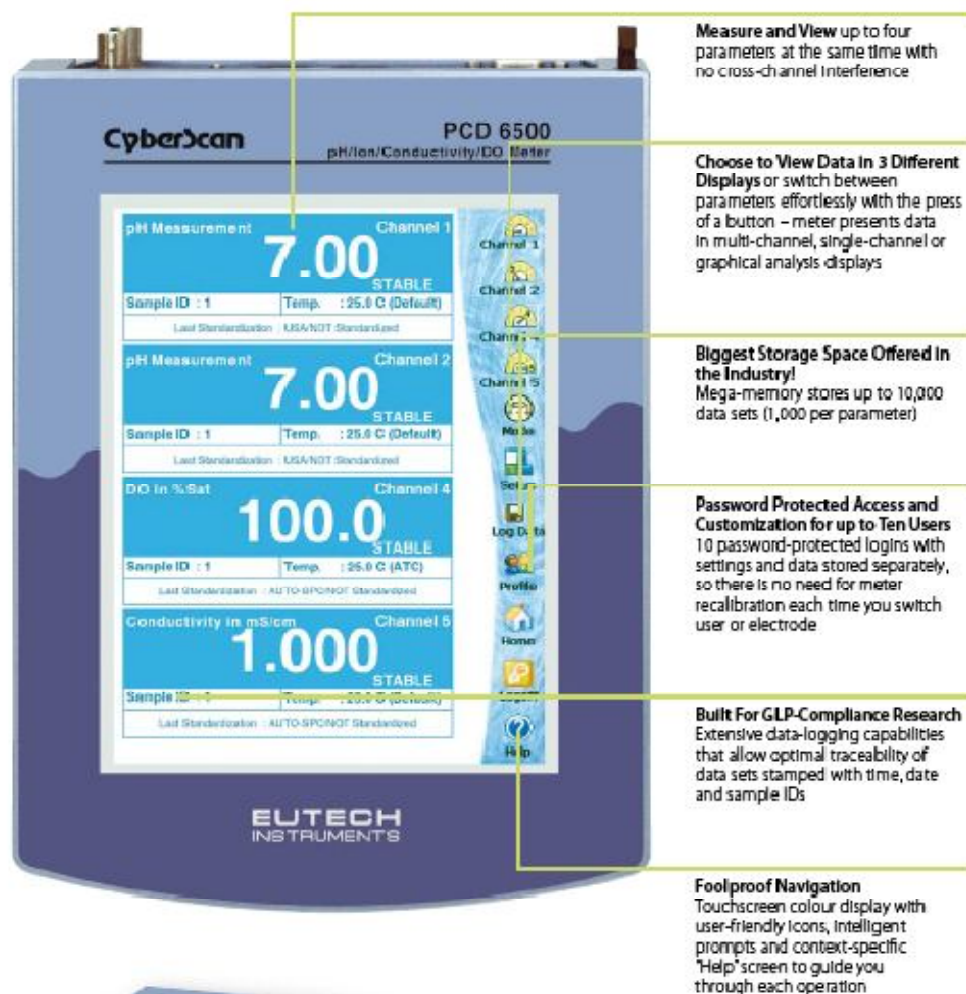
(Universidad de Southampton, Departamento de ingeniería Mecánica, Highfield, Reino unido.)

ESTUDIO PREVIO

Capítulo 1 Características del Sistema de adquisición de datos actual de la EIA y su puesta en marcha

Características del Sistema de adquisición de datos actual de la EIA y su puesta en marcha

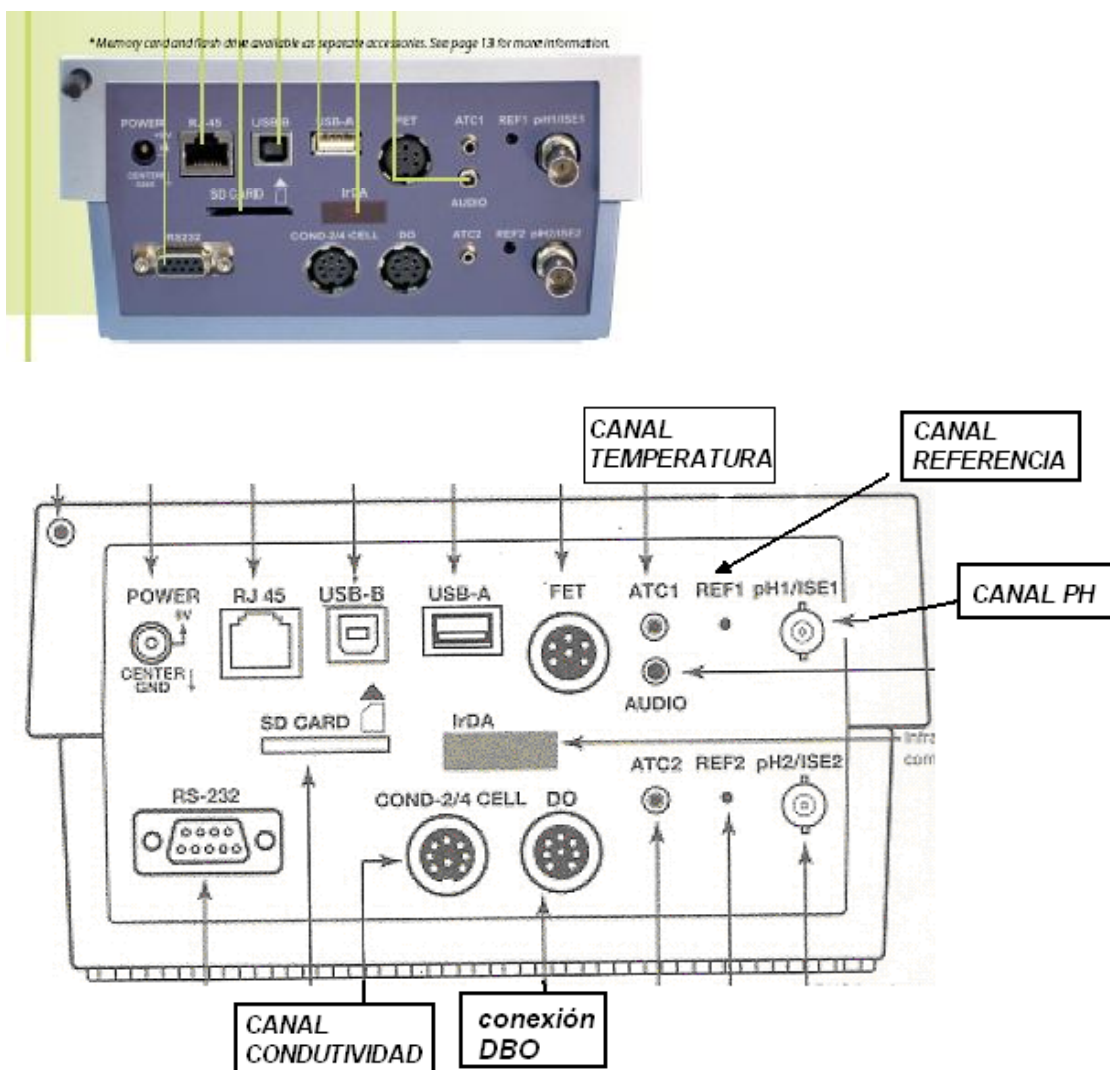
1.1 Sistema de procesamiento de señales estudiado



El sistema utilizado por la EIA para el análisis de aguas es un multiparamétrico de la compañía Eutech instruments que se dedica al diseño de instrumentos para la medición de la calidad y cualidades del agua. La EIA dispone de dos aparatos de sobremesa del modelo PCD 6500. Los modelos PCD 6500 motivo de estudio utilizan el sistema operativo Windows CE-driven colour touchscreen. Este sistema como la mayoría de los programas y sistemas operativos de Windows no son softwars libres, por consiguiente no está permitido realizar ningún tipo de implementación sobre el

mismo. Dicho sistema puede comunicarse con un pc por medio de un puerto serie SR232 como única opción y para la conexión con pc's nuevos es necesario un adaptador de USB, ya que los pc's utilizados en el departamento no están provistos de ese tipo de puertos. Además el sistema de comunicación usado utiliza un protocolo de comunicación al igual que el sistema operativo no permite ningún tipo de implementación ajena. Se intentó que Eutech facilitara el protocolo de comunicación pero no fue posible. Además a la hora de la puesta en marcha del sistema se produjeron varios problemas a la hora de volcar los datos en el pc ya que el programa tiene errores que después de un tiempo pudieron ser detectados y superados.

El multiparamétrico consta también de diversos puertos para el almacenamiento de datos como un puerto USB, USB-B, SD. También esta provisto de una conexión RJ-45, y un receptor IrDA para el intercambio de datos.



1.2 Puesta en marcha del sistema

El principal inconveniente que tiene el multiparamétrico es la imposibilidad de una implementación que permita variar el uso o configuración de los diferentes puertos para adecuar el sistema a usos específicos.

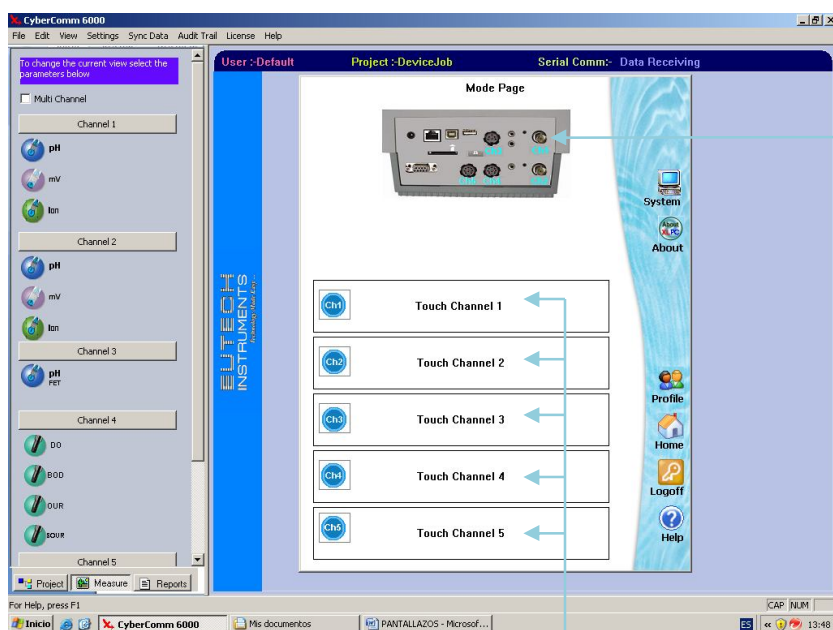
Las demás conexiones son para las diferentes sondas. En primer lugar posee dos conexiones coaxiales para las sondas de pH, pH1 y pH2, dos conexiones para las sondas de temperatura ATC1 y ATC2, que permiten corregir por implementación software el defecto que produce la temperatura en la medida, dos conexiones para las sondas de conductividad y una para la sonda de DO, oxígeno disuelto, o DBO.

Las sondas que posee la EIA han sido adquiridas por la misma distribuidora que le proporcionó el multiparamétrico.

Este dispositivo permite realizar todas las medidas de los parámetros programados en continuo o bien como medida puntual. Para el proyecto desarrollado, todas las medidas de los parámetros físico-químicos se realizaron en continuo.

Además, este dispositivo, mediante una correcta conexión a un PC, permite el control y seguimiento de todos los parámetros seleccionados desde el mismo PC.

A continuación se describe las distintas configuraciones que permite el multiparamétrico PCD 6500

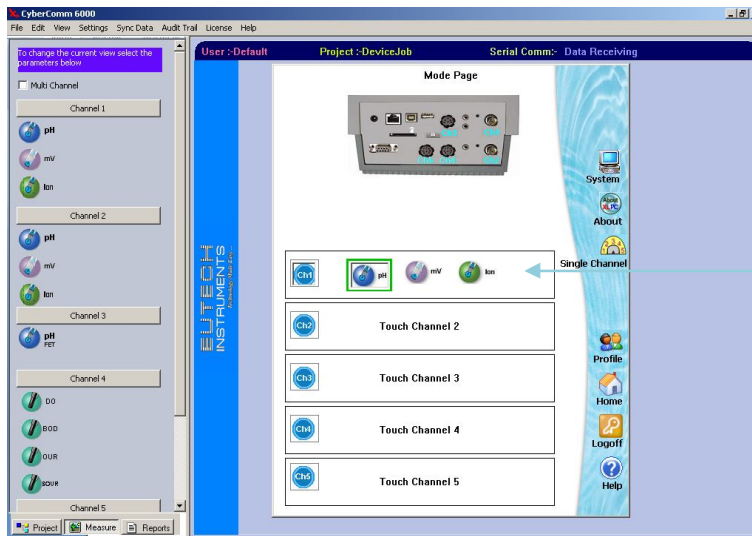


Representación de la zona de conexión del multiparamétrico.

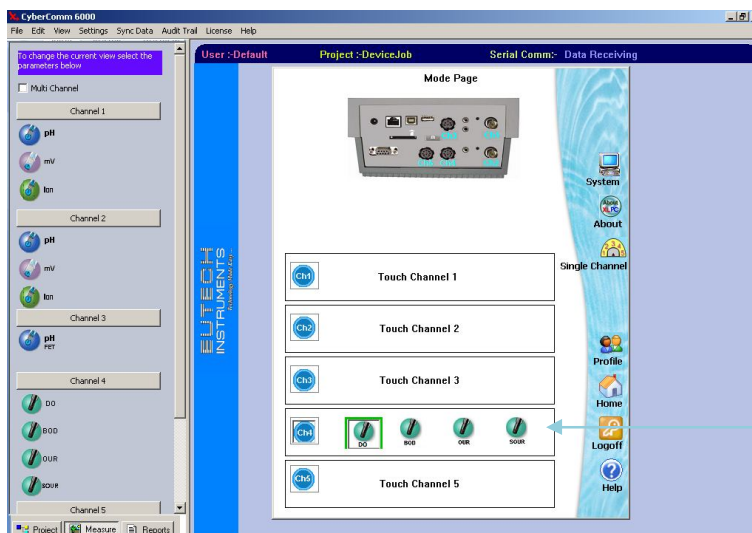
Las zonas con título en azul corresponden a las diferentes conexiones para las sondas.

Estos canales están relacionados con cada una de las conexiones de las sondas.

Características del Sistema de adquisición de datos actual de la EIA y su puesta en marcha



Al seleccionar cada uno de los canales podemos ver qué tipo de parámetro se mide por cada canal y elegir en cada uno el que queramos.



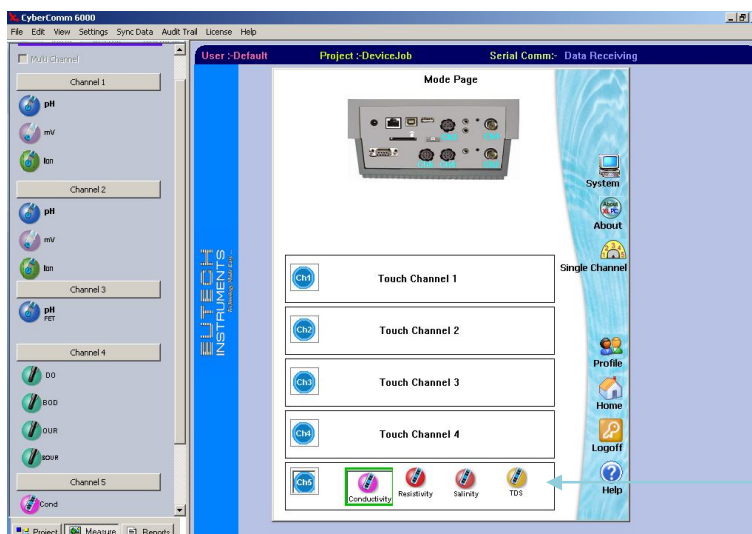
Como se puede observar, en el **canal 1** puede medirse pH, E_{redox} o Ión Selectivo. Siendo las sondas diferentes para cada parámetro.

El **canal 2** es igual que el canal 1 de modo que se puede medir simultáneamente pH y potencial oxido-reductor.

El **canal 3** se emplea en caso de que la sonda de pH no contenga al electrodo de referencia dentro del mismo sensor.

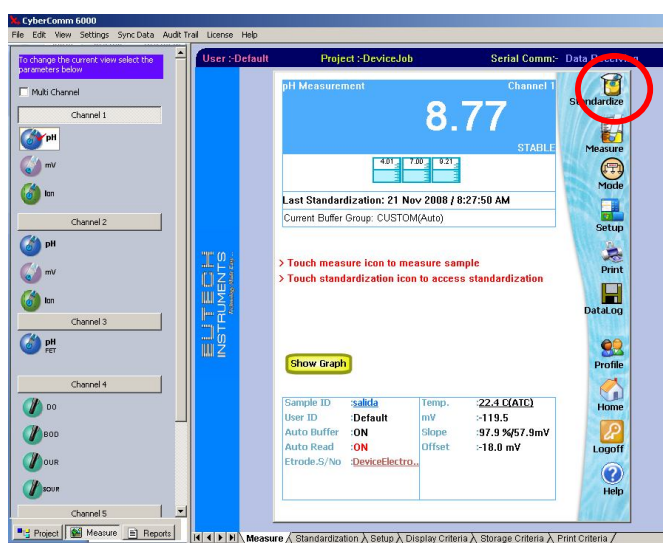
En el **canal 4** se mide OD, DBO, OUR* y SOUR*.

En el **canal 5** podemos medir conductividad, resistividad, salinidad y sólidos totales disueltos.

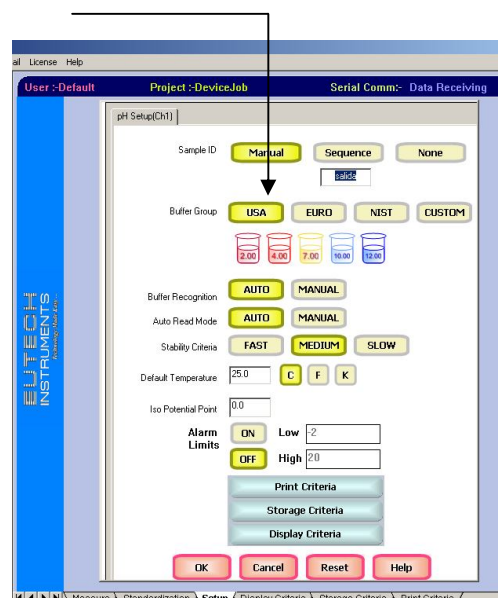


Una vez que tenemos seleccionados los canales para realizar las mediciones, procedemos a calibrar cada sonda.

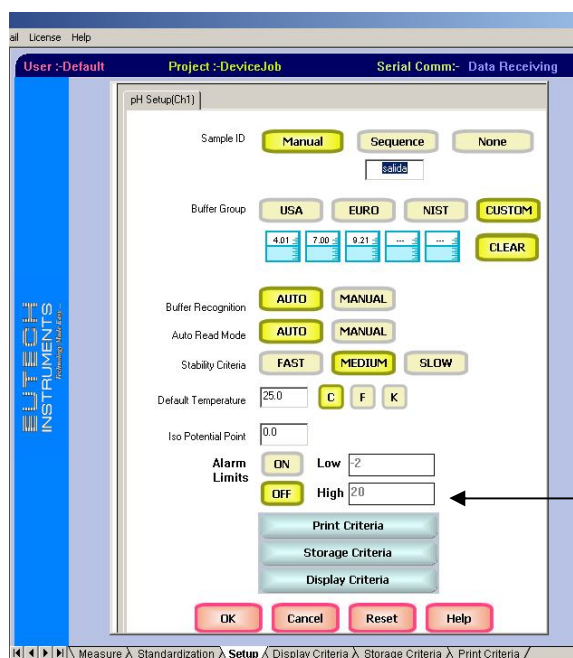
Para la calibración de la sonda de pH hemos de seleccionar el canal 1, opción pH. Una vez dentro del menú pulsamos la opción de *Estandarizar* (señalado en rojo). Una vez pulsado aparecerá una nueva pantalla para poder calibrar la sonda.



Por defecto aparecerá seleccionado en pantalla un grupo de **patrones de calibrado**.

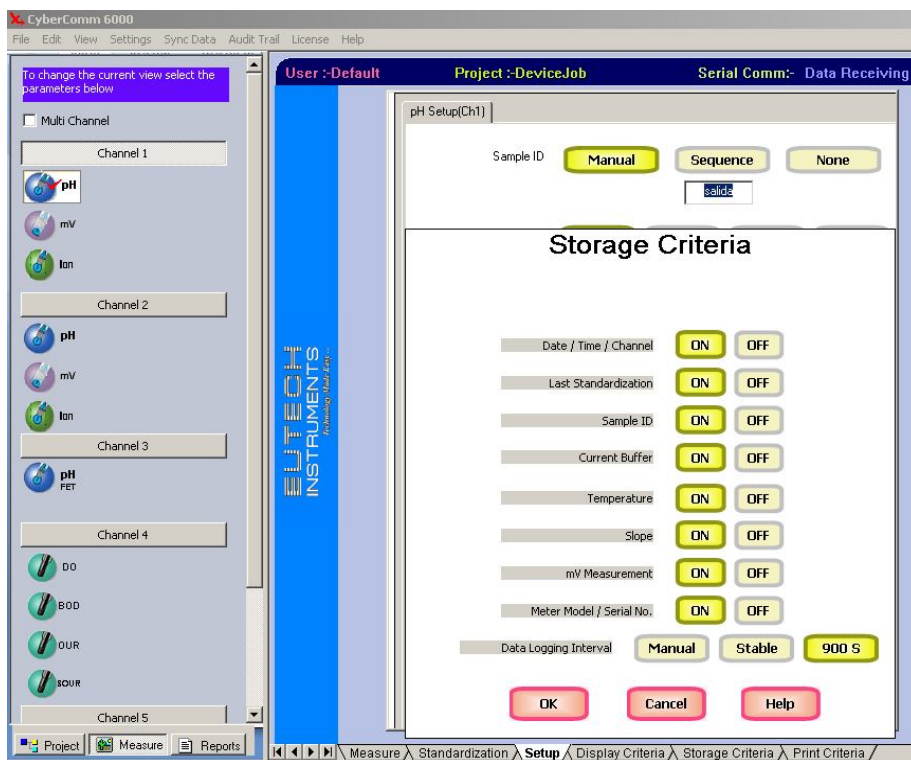


Este dispositivo permite calibrar con patrones *USA*, utilizados comunmente el patrón pH 4, el patrón pH 7 y el patrón pH 9. También permite el uso de patrones *EURO*, *NIST* y *CUSTOM*. Este última selección nos da la opción de calibrar con los patrones que mejor se ajusten al rango de pH en el que vamos a medir.



Además de elegir el tipo de patrones con los que calibrar, en esta pantalla, disponemos de un menu con diferentes opciones, como la temperatura por defecto para la calibración, la elección de alarma de control por si las condiciones generadas en el prototipo de investigación llegasen a ciertos límites.

Una vez calibrada la sonda, entramos en el menu de criterios de almacenamiento (Storage Criteria), en él, además de poner el nombre a la batería de datos que vamos almacenar, podemos seleccionar la fecha, temperatura, última estandarización y intervalo de tiempo en el que tomara la medida. Esta parte del menú permite tomar la medida de forma manual, cada vez que la medida sea estable o cada cierto tiempo.

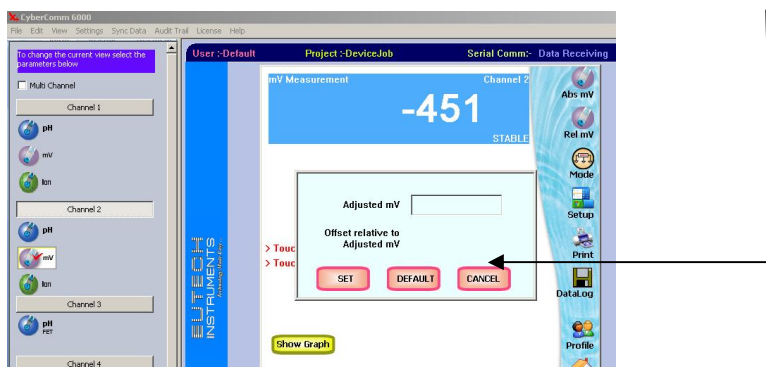


Hasta ahora se ha descrito la calibración y elección del tipo de datos de almacenamiento que queremos para el parámetro de pH.

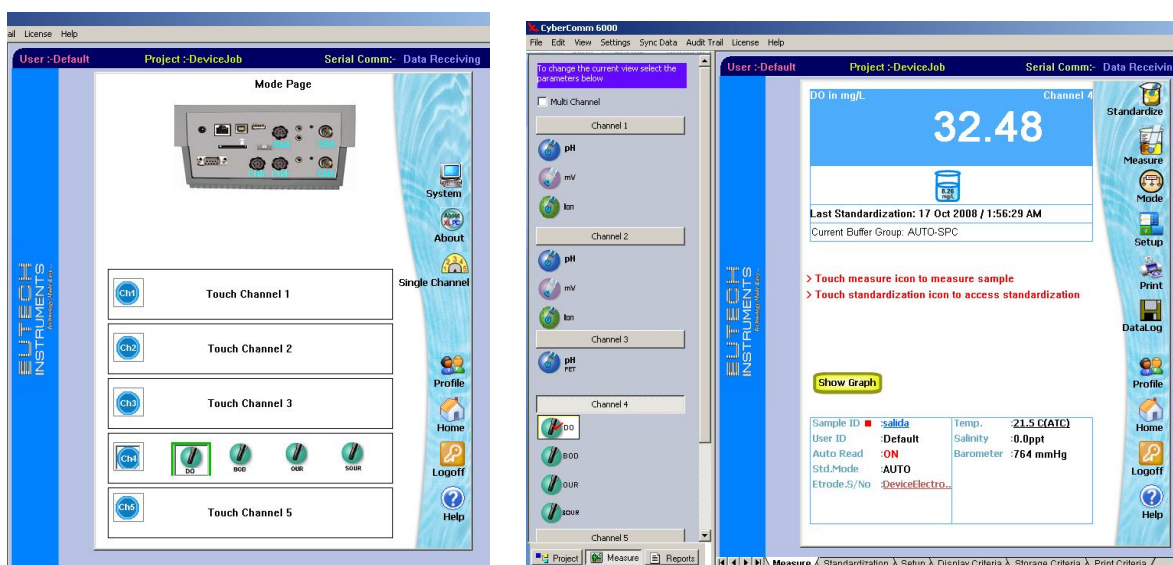
Para el resto de parámetros, potencial oxido-reductor, Oxígeno Disuelto y Conductividad, el procedimiento a seguir es el mismo, siempre teniendo en cuenta las diferencias a la hora de calibrar de cada sonda.

En el caso de la sonda de potencial óxido-reductor, se calibra forzando en el medio que queramos, o bien agua destilada, o bien el propio aire a establecer el valor 0 mV de referencia.

Características del Sistema de adquisición de datos actual de la EIA y su puesta en marcha

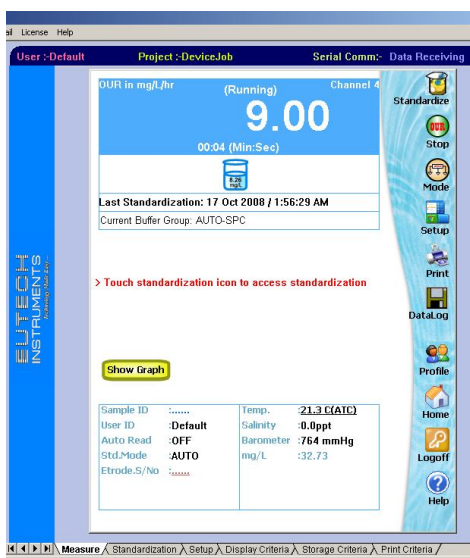


Y en el caso de la sonda OD, la calibración se efectúa dejando la sonda 30 minutos al aire, o en agua destilada hasta obtener 100% de saturación de oxígeno.



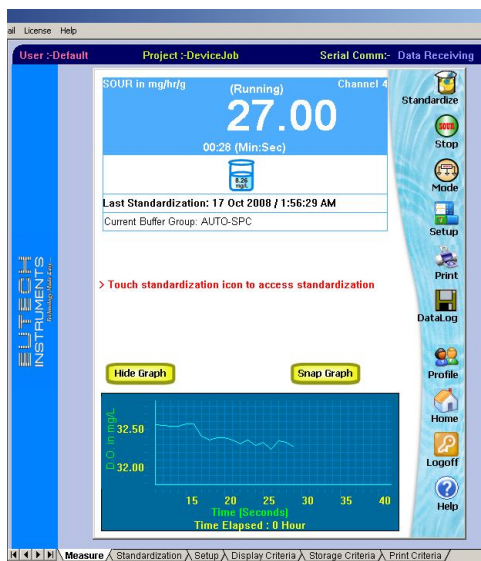
En el canal 4, tal y como se explico con anterioridad se puede medir oxígeno disuelto, se puede medir la Demanda biológica de oxígeno y dos parámetros más, el OUR (Oxygen Uptake Rate) y el SOUR (Specific Oxygen Uptake Rate).

El OUR se define como la cantidad en mg l^{-1} de oxígeno consumidos por hora. Con este parámetros podemos cuantifica la velocidad de respiración o la cantidad de oxígeno consumido por hora.

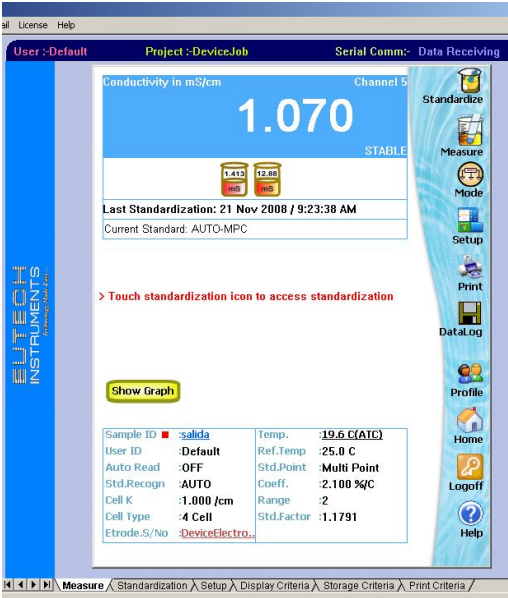
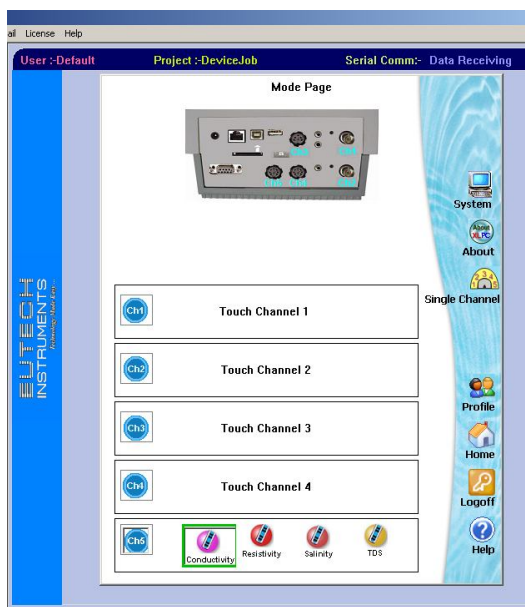


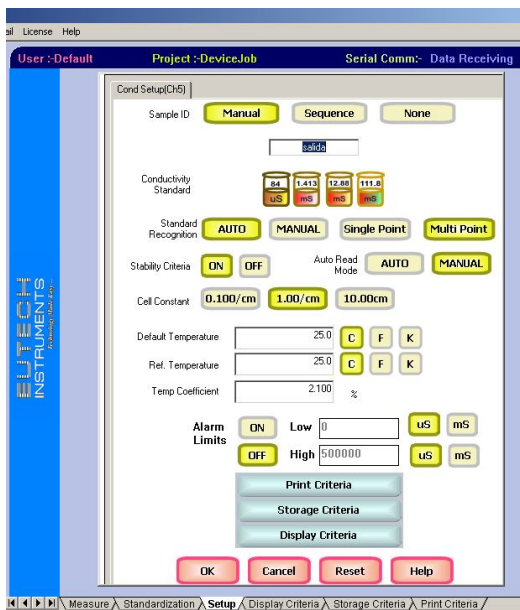
El SOUR se define como la cantidad en mg l^{-1} de oxígeno consumido por gramos de sólidos volátiles suspendidos por hora

Características del Sistema de adquisición de datos actual de la EIA y su puesta en marcha



En el canal 5 se miden los parámetros de conductividad, resistividad, salinidad y sólidos totales disueltos (TDS)





Al igual que se realizó con la sonda de pH, con la sonda de conductividad, vemos imagen por imagen cual es la secuencia de puesta a punto de esta sonda.

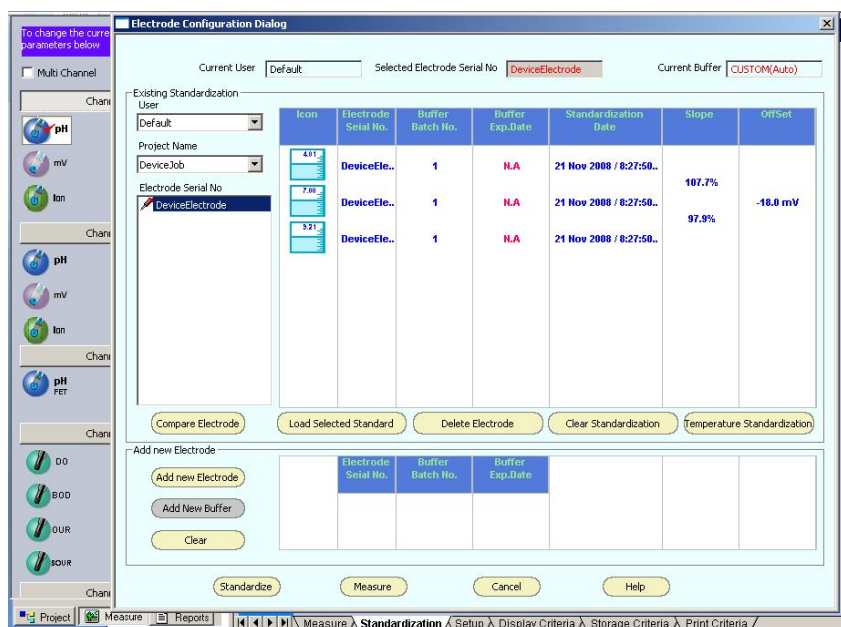
A diferencia de la sonda de pH, los patrones para su calibración son fijos y solo se puede elegir en número de puntos con el dispositivo va a hacer la recta de calibrado.

En esta sonda la temperatura es un factor muy importante a tener en cuenta ya que es un parámetro que depende directamente de la temperatura. Se puede ver en el menú, que realiza el cálculo de un factor de corrección entre la temperatura de referencia y la temperatura a la que se efectúa la calibración.

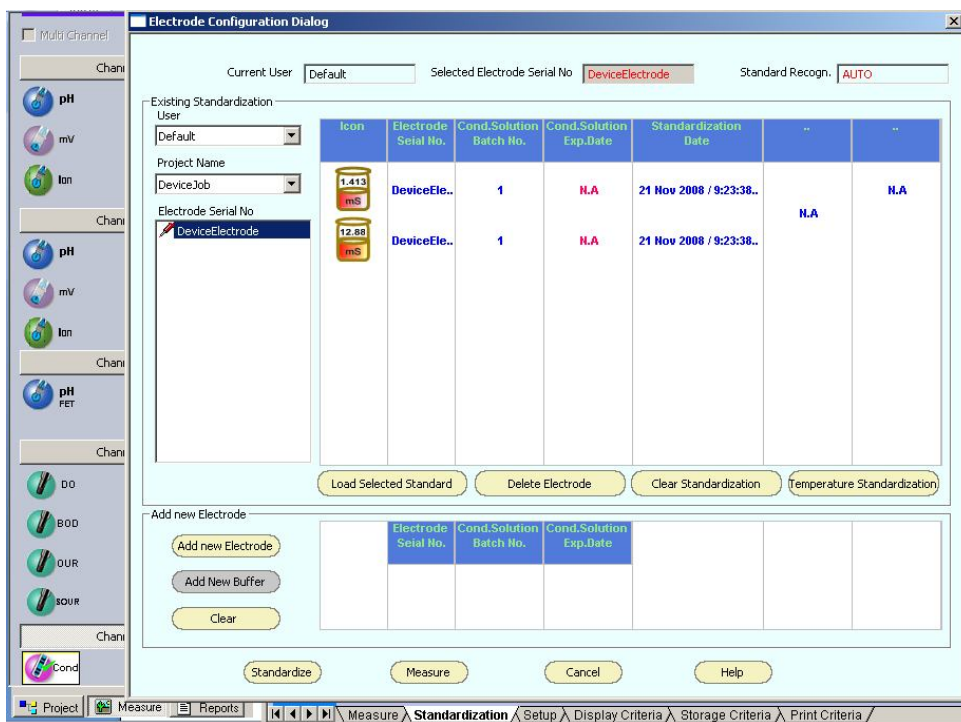
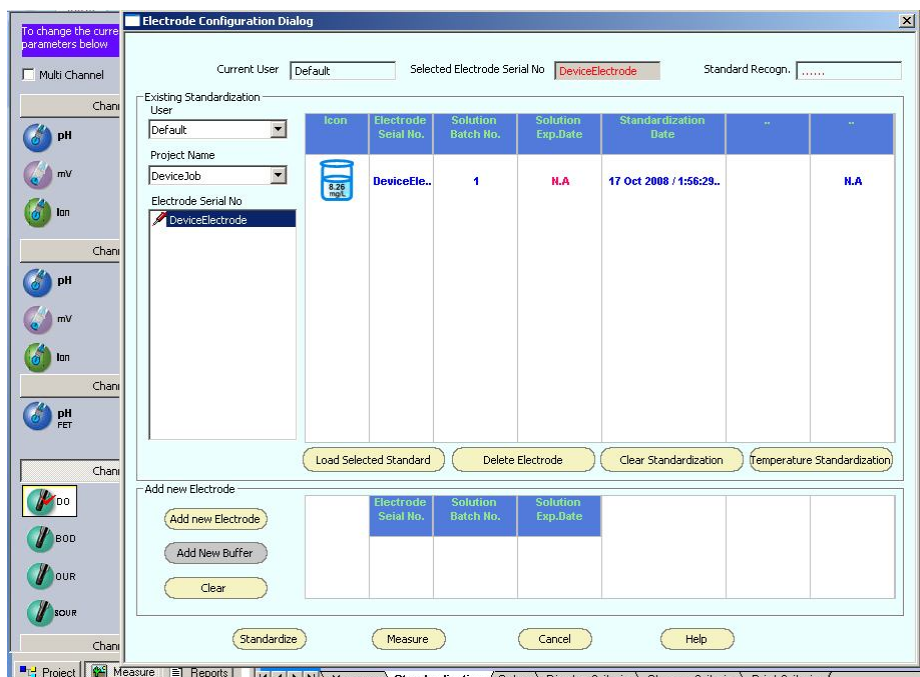
En nuestro caso, la calibración se realiza con los patrones de $1.413 \mu\text{S cm}^{-1}$ y $12.880 \mu\text{S cm}^{-1}$, almacenados a 20°C , de manera que la calibración sea precisa.

Se ha detectado que al estar los sensores al raso, la calibración se vuelve lenta cuando la sonda se encuentra a una temperatura inferior de 15°C .

Dada que la calibración de cada sonda es un paso fundamental para tener fiabilidad de los datos que se están registrando, este dispositivo guarda un historial de las calibraciones de cada sonda, los patrones empleados, el número de serie y modelo de cada sonda tal y como podemos ver en las pantallas a continuación:

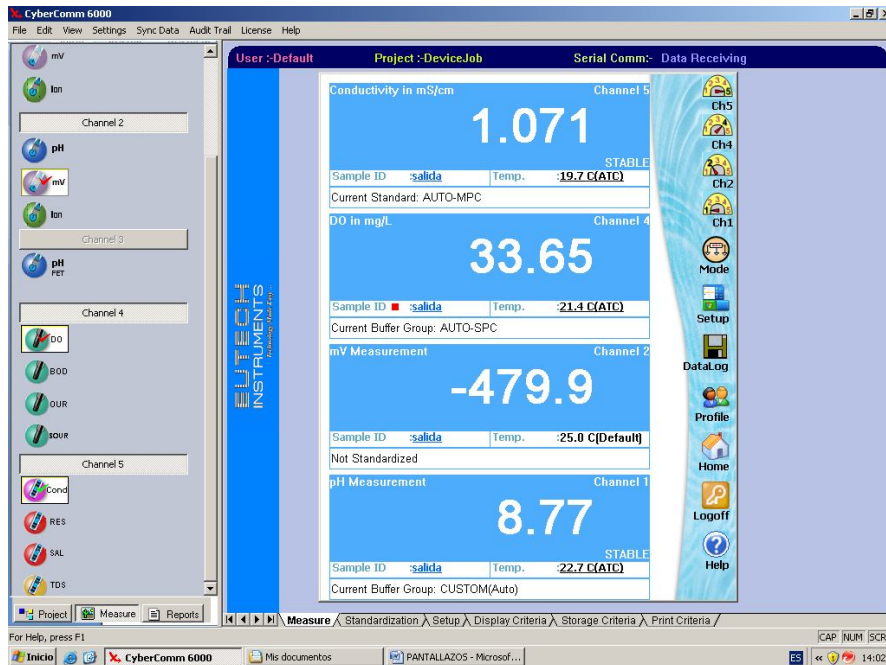


Características del Sistema de adquisición de datos actual de la EIA y su puesta en marcha



Tras la revisión de la calibración de cada sonda, la rutina cotidiana con el multiparamétrico PCD 6500 consiste en especificar en el panel de control del programa

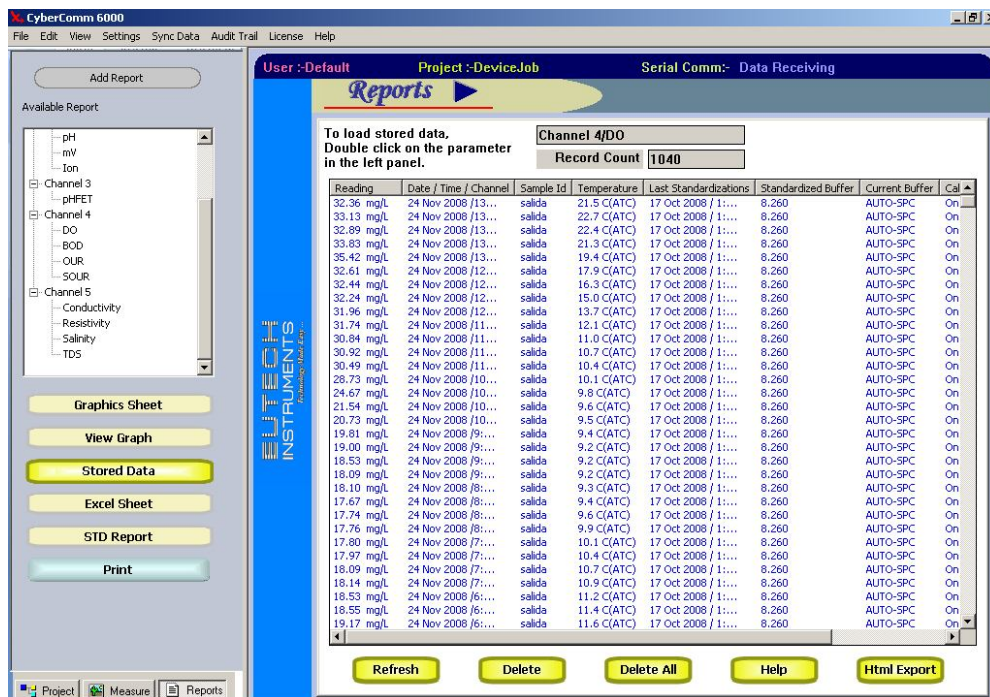
que parámetros se van a medir y en qué puntos, ya que nos ofrece una gran variedad de parámetros.



El programa tiene diferentes opciones, la primera consistiría en ver en el propio multiparamétrico o bien en la pantalla del PC si está conectado al mismo, el almacenamiento de datos.

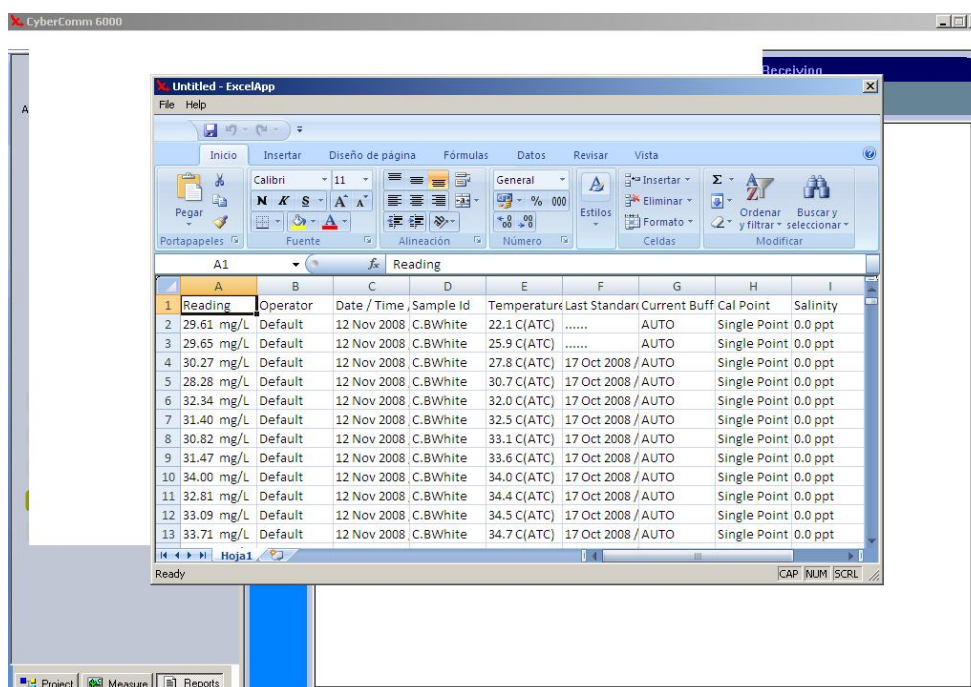
Esta opción del programa solo permite la visualización de los datos almacenados en el tiempo programado. Como puede verse, solo se puede, o bien actualizar, borrar selectivamente o borrar todos los datos almacenados o, exportar el archivo en forma Html.

Características del Sistema de adquisición de datos actual de la EIA y su puesta en marcha



Para poder ver los datos almacenados de cada parámetro hay que seleccionar el canal y el parámetro en el menú que puede verse en la zona izquierda superior.

En el menú de la zona izquierda inferior, puede verse la opción *Excel Sheet*, con esta opción, y tras la elección del parámetro deseado, nos aparece una nueva pantalla. Es una hoja de Excel con los datos asociados perfectamente a cada celda, de manera que podamos emplear este programa en realizar gráficas, cálculos estadísticos o desarrollo de fórmulas para la optimización del diseño experimental empleado.



Es importante destacar los obstáculos que se han presentado por si mismos durante la instalación y operación del multiparamétrico.

El primer problema que se presentó fue la comunicación entre el multiparamétrico y el PC. Aunque el PCD 6500 cuenta con diversos puertos, USB, Ethernet, puerto paralelo o RS232, hábiles para la comunicación entre el medidor y otros dispositivos, queda como operativo tan solo el puerto paralelo RS232, lo cual genera una serie de problemas producidos por la incompatibilidad o no existencia de dicho puerto en los dispositivos de datos actuales, como es nuestro caso. Debido a ello, se tuvo que emplear una serie de adaptadores que incrementaron la complejidad.

Una vez resuelto los problemas físicos de comunicación (hardware), surgieron problemas con el software propio del PCD6500 diseñado por Eutech Instrument. Dichos problemas se traducían en el no reconocimiento por parte del PC del multiparamétrico conectado.

La conexión requiere de una clave, dicha clave viene en la caja de cada multiparamétrico. El principal problema es que una vez instalado el software en el pc y conectado por medio del puesto RS-232 al multiparamétrico la conexión no se establecía. El problema se detectó en la instalación del software en el pc, ya que una de las carpetas no se instalaba correctamente. Se prosiguió instalando la carpeta manualmente y con ello se pudo comunicar el pc al multiparamétrico. Este problema retrasó enormemente el inicio de la toma de datos.

El diseño del software, que debería responder a las aplicaciones informáticas de tratamiento de datos con las que Eutech Instrument anuncia el PCD 6500, no cumplía, ni cumple su función.

Por fallos en el programa Cybercom 6000, software del PCD 6500, éste no permite el uso de las aplicaciones anunciadas por Eutech, así el empleo directo de los datos obtenidos por el PCD 6500, es imposible. Necesitando extraer los datos en bruto de la aplicación del PCD 6500 y exportarlos a un entorno Microsoft (aplicación Excel), que sí permite la manipulación de los datos para su tratamiento gráfico y estadístico.

Todos estos obstáculos han dificultado enormemente la obtención y tratamiento de los datos obtenidos.

En el anexo I de este proyecto se puede encontrar una guía rápida de iniciación al multiparamétrico PCD 6500.

Capítulo 2 Reactivos preparados de concentración conocida

Reactivos preparados de concentración conocida

En este capítulo se detallan los cálculos realizados para la obtención de las distintas soluciones que se van a usar tanto para el estudio de la curva de calibración del capítulo 4, como para el estudio dinámico de la señal del capítulo 5, con la puesta en marcha del banco de pruebas diseñado en este proyecto. Por ello se han especificado diferentes concentraciones para variar los tres parámetros a evaluar en el banco de pruebas que son, pH, conductividad eléctrica y potencial óxido-reductor. Para variar el pH se usarán soluciones ácidas de HCl, ácido clorhídrico, y soluciones básicas de NaOH, hidróxido sódico, variando las concentraciones de estos dos compuestos se obtendrán varios puntos de la curva de calibración de pH, y variando de forma progresiva las concentraciones se conseguirá reproducir las entradas estudiadas del estudio en continuo realizado en el banco de ensayo. Para variar la conductividad de una solución se usarán distintas concentraciones de NaCl, cloruro sódico. Se partirá también de agua destilada y se irá aumentando la concentración. Para variar el potencial óxido-reductor se calcularán dos concentrados, uno de $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$, sulfato Ferroso amónico, que es una solución oxidante, y otro de $K_2Cr_2O_7$, Dicromato potásico, que es una solución reductora. Para este caso no se partirá de agua destilada sino que se partirá de la solución oxidante y se irá reduciendo por medio de la solución reductora.

2.1 Soluciones para variar el pH partiendo de agua destilada

Para obtener variaciones de Ph se hará partiendo de una disolución básica que en este caso se usará hidróxido sódico (NaOH) para aumentar el valor del Ph y una disolución ácida como es el ácido clorhídrico (HCl) para disminuir el nivel del Ph.

Se va a obtener una concentración 0,1 Molar, para ambas disoluciones, que se irán diluyendo hasta ir consiguiendo los diferentes valores de Ph. Para obtener estas concentraciones se procederá de la siguiente forma.

2.1.1 Obtención de soluciones de NaOH

Para obtener las distintas soluciones de distinta concentración de NaOH, se parte de un concentrado con las siguientes características:

- Concentrado sólido.
- 98% de pureza.

El volumen de disolución preparado va a ser de 0,5 litros. En primer lugar se calcula el número de moles de soluto, hidróxido sódico, necesarios para obtener una disolución 0,1 M.

Moles de sol. = Molaridad * Litros de disolución

$$\text{moles de soluto} = 0,1 \text{ Mol/L} \times 0,5 \text{ L} = 0,05 \text{ Moles}$$

Ecuación 2.1

Seguidamente se obtienen los gramos de soluto necesarios:

$$\text{gr. de Sol.} = 0,05 \text{ moles} \times 40 \text{ gr/mol} = 2 \text{ gr}$$

Ecuación 2.2

$$\text{gr. de Sol.} = \frac{2 \text{ gr}}{98\%} \times 100\% = 2,04 \text{ gr}$$

Ecuación 2.3

Para esta concentración de 0,1 Molar se obtiene un Ph teórico:

$$Ph + Poh = 14$$

$$Poh = -\log[OH] = > 0,1 \text{ Molar} = > Ph = 13$$

Ecuación 2.4

A continuación se irán obteniendo disoluciones de menor concentración hasta obtener dos puntos más de Ph básico.

Para una concentración 0,001 Molar se obtiene según la ecuación 2.4, un Ph = 11. Para ello se partirá de la disolución de 0,1 Molar:

$$\text{Volumen de dis. (0,1M)} = \frac{0,5 \text{ L} \times 0,001 \text{ M}}{0,1 \text{ M}} = 5 \text{ mL}$$

Ecuación 2.5

Luego para conseguir una disolución con un Ph básico igual a 11, se añadirá a 0,5L de agua destilada 5mL de concentrado 0,1M.

Para una concentración 0,00001 Molar se obtiene según la ecuación 2.4, un Ph=9. Para ello se partirá de la disolución de 0,001M:

$$Volumen\ de\ dis.\ (0,001M) = \frac{0,5L \times 0,00001M}{0,1M} = 5mL$$

Ecuación 2.6

Luego para conseguir una disolución con un Ph básico igual a 9, se añadirá a otros 0,5L de agua destilada 5mL de concentrado 0,1M.

En la tabla 2.1 se recogen las características de las disoluciones obtenidas.

pH	Concentración (M)
9	0,00001
11	0,001
13	0,1

Tabla 2.1

2.1.2 Obtención de soluciones de HCl.

Para obtener las distintas soluciones de distinta concentración de HCl, se parte de un concentrado con las siguientes características:

- Concentrado líquido.
- PM (peso molecular)= 36,46 g/mol
- Pureza del 37% v/v.

El volumen de disolución preparado va a ser de 0,5 L al igual que para el NaOH. En primer lugar se calcula el número de moles de soluto, en este caso ácido clorhídrico, necesarios para obtener una concentración 0,1 M .

Moles de sol. = Molaridad * Litros de disolución

$$moles\ de\ soluto = 0,1\ Mol/L \times 0,5\ L = 0,05\ Moles$$

Ecuación 2.7

A continuación con el % de pureza del concentrado se obtienen los moles de soluto necesarios:

$$37\% = \frac{mL \text{ de Sol.}}{40mL} \times 100\%$$

Ecuación 2.8

$$gr. \text{ de Sol.} = 0,017 \text{ kg} \cong 17gr$$

$$Moles \text{ de Sol.} = 17gr. \times \frac{1mol}{36,46gr} = 0,47 \text{ moles}$$

Ecuación 2.9

Con esto se obtiene que la molaridad de la concentración inicial es igual a:

$$Molaridad = \frac{0,47 \text{ mol}}{0,04L} = 11,66 \text{ M}$$

Ecuación 2.10

Luego para obtener una disolución de 0,5L con una concentración 0,1 Molar:

$$Volumen \text{ de concentrado}(11,66M) = \frac{0,5L \times 0,1M}{11,66M} = 4mL$$

Ecuación 2.11

Para esta concentración de 0,1 Molar se obtiene un Ph teórico :

$$10^{-Ph} = -[H^+]$$

$$Ph = -Log [0,1] = 1$$

Ecuación 2.12

A continuación se irán obteniendo disoluciones de menor concentración hasta obtener dos puntos más de Ph ácido.

Para una concentración 0,001 Molar se obtiene según la ecuación 2.12, un Ph = 3. Para ello se partirá de la disolución de 0,1 Molar:

$$Volumen \text{ de dis. } (0,1M) = \frac{0,5L \times 0,001M}{0,1M} = 5mL$$

Ecuación 2.13

Luego para obtener una disolución con un Ph ácido de 3, se añadirán 5mL de concentrado 0,1M a 0,5L de agua destilada.

Para una concentración 0,00001 Molar se obtiene según la ecuación 2.12, un Ph=5. Para ello se partirá de la disolución de 0,001M:

$$Volumen\ de\ dis.\ (0,001M) = \frac{0,5L \times 0,00001M}{0,1M} = 5mL$$

Ecuación 2.14

Luego para obtener una disolución con un Ph ácido de 5, se añadirán 5mL de concentrado 0,1M a 0,5L de agua destilada.

La tabla 2.2 recoge las disoluciones obtenidas.

pH	Concentración (M)
1	0,1
3	0,001
5	0,00001

Tabla 2.2

Con estas disoluciones se obtienen tres valores de Ph básico y otros tres de Ph ácido con los que se obtendrá la curva de calibración de la sonda de Ph.

2.2 Soluciones para variar la conductividad del agua destilada

Para obtener variaciones de conductividad se usarán disoluciones con distintas concentraciones de Cloruro Sódico.

Las soluciones de este tipo dan lugar a lo que se denominan electrolitos fuertes, lo que da lugar a que a baja concentración los iones tienen una mayor movilidad que a altas y que llega un punto en que, aunque aumente la concentración, la movilidad de los iones se satura y no sigue aumentando la conductividad.

Este hecho va unido a que el cálculo teórico de la conductividad se hace excesivamente complejo y por ello se harán las soluciones y la conductividad se hallará por medio de su estudio de forma discreta.

2.2.1 Obtención de soluciones de NaCl.

Para obtener las distintas soluciones de distinta concentración de NaCl, se parte de un concentrado con las siguientes características:

- Concentrado sólido.
- PM de 58,44 g/mol.
- Una pureza del 99%.

El volumen de disolución preparado va a ser de 0,5 litros. Se calcularán los gramos necesarios para obtener una concentración 1M:

$$\text{Moles de soluto} = 1 \text{ mol/L} \times 0,5\text{L} = 0,5 \text{ moles}$$

Ecuación 2.15

$$\text{Gr. de NaCl} = 0,5 \text{ mol} \times 58,44 \text{ gr/mol} = 29,22 \text{ gr. de NaCl}$$

Ecuación 2.16

$$\text{Gr. Totales} = \frac{29,22\text{gr}}{99\%} \times 100\% = 29,51 \text{ gr de NaCl}$$

Ecuación 2.17

Luego para obtener una concentración 1M de una disolución de cloruro sódico, se disolverán 29,51 gr de soluto en 0,5L de agua destilada.

A continuación se obtendrá otra disolución a partir de la obtenida de una concentración 0,1M para obtener 200mL de disolución:

$$V_{\text{concentrado}} = \frac{0,2\text{L} \times 0,1\text{M}}{1\text{M}} = 0,02\text{L}$$

Ecuación 2.18

Luego se obtiene que para una disolución de 200mL con una concentración 0,1M se necesitan 20mL de concentrado 1M.

Seguidamente se repetirá la ecuación 2.18 para obtener dos concentraciones más.

Para una disolución de 200mL de concentración 0,01M se necesitarán:

$$V_{concentrado} = \frac{0,2L \times 0,01M}{0,1M} = 0,02L$$

Ecuación 2.19

Para dicha disolución se necesitan 20mL de concentrado 0,1M.

Para una disolución de 200mL de concentración 0,001M se necesitarán:

$$V_{concentrado} = \frac{0,2L \times 0,001M}{0,1M} = 0,002L$$

Ecuación 2.20

Para dicha disolución se necesitan 20mL de concentrado 0,1M.

La tabla 2.3 recoge las características de las disoluciones obtenidas.

Conductividad (mS/cm)	Concentración (M)
79,1	1
9,893	0,1
1,001	0,01
0,414	0,001

Tabla 2.3

Con estos cálculos se podrá estudiar cuatro valores de conductividad con los que se observarán las variaciones en las medidas de la sonda.

2.3 Soluciones para variar el potencial óxido-reductor

El potencial óxido-reductor es una medida de la actividad de los electrones. Está relacionado con el pH y con el contenido de oxígeno. Es análogo al pH ya que el pH mide la actividad de protones y el potencial óxido-reductor mide la de los electrones.

El potencial óxido-reductor se calcula como:

$$Eh = 1,234 - 0,058 \text{ pH} + 0,0145 \log(10) P_o$$

Ecuación 2.21

Siendo P_o la presión parcial de oxígeno expresada en atmósferas.

Para las pruebas de potencial óxido-reductor se usa una disolución inicial de Sulfato ferroso amónico, que es una solución oxidante, la cual se va reduciendo con una solución de dicromato potásico.

Para estas disoluciones se han tomado de referencia la normalidad que indica el número de iones por litro de disolución y aporta más información para relacionarlo con el potencial óxido-reductor.

2.3.1 Obtención de soluciones de Sulfato Ferroso amónico.

Para obtener las distintas soluciones de distinta concentración de Sulfato Ferroso Amónico, se parte de un concentrado con las siguientes características:

- PM= 392,14 gr/mol.
- Pureza del 99%.

El volumen de disolución que se quiere obtener es de 0,5L para una molaridad de 0,01 M:

$$\text{Moles de soluto} = 0,01 \text{ mol/L} \times 0,5\text{L} = 0,005 \text{ moles}$$

Ecuación 2.22

Tomando el peso molecular y el porcentaje de pureza obtenemos los gramos de concentrado necesarios para obtener los 0,5 L de disolución 0,01M:

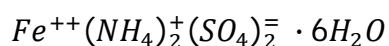
$$\text{gr. de soluto} = 0,005 \text{ mol} \times 392,14 \text{ gr/mol} = 1,9607 \text{ gr}$$

Ecuación 2.23

$$\text{gr. totales} = \frac{1,9607 \text{ gr}}{99\%} \times 100\% = 1,985 \text{ gr}$$

Ecuación 2.24

La normalidad de esta disolución es la misma que la molaridad ya que la valencia del compuesto es igual a 1:



2.3.2 Obtención de soluciones de Dicromato Potásico.

Para obtener las distintas soluciones de distinta concentración de NaOH, se parte de un concentrado con las siguientes características:

- PM= 294,19 gr/mol.
- Pureza del 99%.

El volumen de disolución que se pretende obtener es de 0,5L con una concentración de 0,4 M:

$$\text{Moles de soluto} = 0,4 \text{ mol/L} \times 0,5 \text{ L} = 0,2 \text{ moles}$$

Ecuación 2.25

Tomando el peso molecular y el porcentaje de pureza obtenemos los gramos de concentrado necesarios para obtener los 0,5 L de disolución 0,4M:

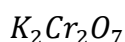
$$\text{gr. de soluto} = 0,2 \text{ mol} \times 294,19 \text{ gr/mol} = 58,838 \text{ gr}$$

Ecuación 2.26

$$\text{gr. totales} = \frac{58,838 \text{ gr}}{99\%} \times 100\% = 59,432 \text{ gr}$$

Ecuación 2.27

La normalidad de la disolución varía con respecto a su molaridad debido a que la valencia del compuesto es 4:



Y según la ecuación que relaciona la normalidad con la molaridad:

$$\text{Normalidad} = \frac{\text{Molaridad}}{\text{Valencia del compuesto}}$$

$$\text{Normalidad} = \frac{0,4}{4} = 0,1N$$

Ecuación 2.28

A continuación con los valores de molaridad de las disoluciones obtenidas se consiguen los valores de pH según la ecuación 2.12.

Para una molaridad de 0,01M según la ecuación 2.12 se obtiene un $\text{pH} = 2$ para la disolución de Sulfato Ferroso Amónico. Según la ecuación 2.21, y tomando la presión parcial de oxígeno igual 0,21 se obtiene un potencial óxido-reductor igual a 440 mV.

Para una molaridad de 0,4M según la ecuación 2.12 se obtiene un $\text{pH} = 0,4$ para la disolución de Dicromato Potásico. Según la ecuación 2.21 se obtiene un potencial óxido-reductor igual a 1200,9 mV.

Capítulo 3 Funciones de entrada para el estudio dinámico

Funciones de entrada para el estudio dinámico

Se emplean varias funciones de entrada para evaluar el funcionamiento dinámico de los sistemas físicos. El empleo de ciertas entradas de prueba tiene dos ventajas en relación al funcionamiento de un sistema de control. Primero, si el sistema pueda describirse matemáticamente, la respuesta a dichas entradas puede preverse empleando unas bien definidas técnicas de análisis. Segundo estas entradas pueden emplearse para la verificación experimental de resultados teóricos. El escoger la entrada de prueba depende de las entradas reales que tiene el sistema en trabajo normal, del tipo físico del sistema y de las exigencias de funcionamiento.

3.1 Función salto o escalón

La función salto o escalón es, quizás, la función de entrada más empleada para el análisis dinámico de los sistemas. En la figura 3.1 se representa dicha función. La función salto presupone que todos los transitorios anteriores posibles han cesado antes de $t=0$. Que en $t=0$ la amplitud r de la función instantáneamente pasa a nivel A y que permanece actuando sobre el sistema hasta que todos los transitorios a que da lugar en el sistema han cesado.

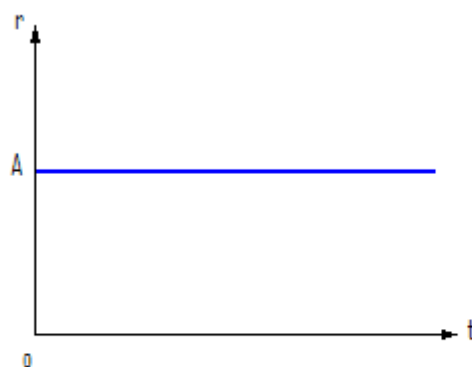


Fig. 3.1. Función salto o escalón

Matemáticamente, puede establecerse de la forma

$$r = 0 \text{ para } t < 0$$

$$r = A \text{ para } t \geq 0$$

En un sistema físico real es obvio que no puede pasarse instantáneamente de un nivel a otro. No obstante, una variación instantánea puede aproximarse con un pequeño error y por ello la función salto se emplea extensamente para el estudio de los sistemas.

3.2 Función impulso rectangular

La función impulso rectangular de la figura 3.2 es una variante de la función salto. La función impulso presupone que todos los transitorios anteriores han cesado antes de $t=0$. Para $t=0$ la función pasa instantáneamente al valor A y permanece en este nivel hasta el instante $t = t_1$. El tiempo t_1 escoge de forma que todos los transitorios medibles, provocados por el cambio de amplitud en el sistema ya han terminado. Para $t = t_1$ la función pasa instantáneamente a cero y permanece así. Matemáticamente:

$$r = 0 \text{ para } t < 0$$

$$r = A \text{ para } 0 \leq t < t_1$$

$$r = 0 \text{ para } t \geq t_1$$

Las funciones de impulso hallan gran aplicación en la práctica, principalmente porque son fáciles de generar.

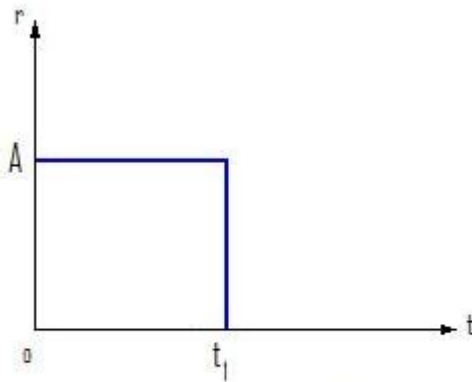


Fig. 3.2. Función impulso

3.3 Función rampa

En la función rampa de la figura 3.3 se varía la entrada a velocidad constante. Se presupone que para $t = 0$ todos los transitorios anteriores han cesado. Para $t = 0$ la función empieza a aumentar a velocidad constante definida por la pendiente K . Matemáticamente:

$$r = 0 \text{ para } t < 0$$

$$r = Kt \text{ para } t \geq 0$$

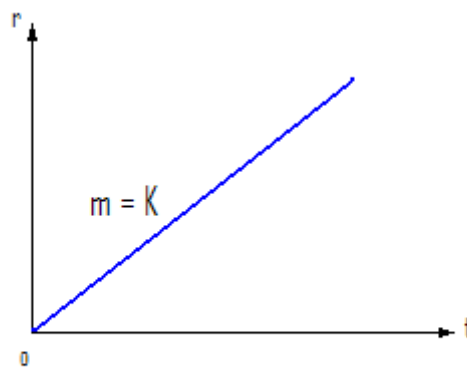


Fig. 3.3. Función rampa

Aunque dicha función es de importancia teórica, en general no puede emplearse fácilmente en trabajos experimentales, pues siempre existe un límite al valor que se puede alcanzar.

METODOLOGÍA

Capítulo 4 Obtención de la Curva de calibración

Obtención de la curva de calibración

4.1 Procedimiento

El procedimiento a seguir para la obtención de la curva de calibración es el siguiente:

- Obtención de las diferentes soluciones expuestas en el capítulo 2 para cada uno de los parámetros.
- Es conveniente que para realizar un estudio de una determinada curva de calibración no sólo se conozcan los valores teóricos de las soluciones sino que también se realice un pequeño estudio de la estructura de cada electrodo, en el caso del pH, conductividad y potencial óxido-reductor, viene detallado dicho estudio previo al comienzo de cada apartado en este capítulo.
- Seguidamente se vierten cada una de las concentraciones en vasos de precipitado con el volumen suficiente como para cubrir la parte final del electrodo.
- A continuación se introduce la sonda en la solución y se espera hasta que la señal medida se estabilice por completo. Estabilizada la señal se anota el valor medido referenciándolo con el valor real al que corresponde.
 - *Una vez realizada la medida es muy importante limpiar el electrodo para la siguiente medida.
- Se repetirá la toma de medidas para cada una de las concentraciones obtenidas en el capítulo 2, teniendo en cuenta que cuantas más concentraciones obtengamos mayor exactitud obtendremos en la gráfica.
- Una vez realizadas todas las medidas se introducen en una hoja de cálculo para obtener la curva de calibración.

4.2 Cuantificación de la calidad de la señal

En este capítulo se estudia la curva de calibración, ya que al conocer los valores de concentración de las diferentes soluciones se puede conocer cual es la curva real del parámetro que se quiere estudiar, y seguidamente con una medida en modo discreto de la sonda en el laboratorio, se obtiene la medida calculada, claro está que dicha medida estará tomada bajo las condiciones atmosféricas propias de un laboratorio que distan mucho de las que nos encontramos por ejemplo en exteriores.

Para determinar los errores estáticos cometidos en las medidas se calcula en primer lugar, el error relativo a fondo de escala que sirve para expresar la calidad del instrumento o error del instrumento y se define como el error absoluto máximo partido por el valor absoluto de la diferencia entre el valor máximo medido y el mínimo, cuya expresión es la siguiente:

$$\varepsilon_{FSR} = \frac{Eab. max}{|Pmax. - Pmin|} \times 100\%$$

Ecuación 4.1

Siendo: ε_{FSR} el error relativo a fondo de escala

$Eab. max$ el error absoluto máximo

Una mejor definición del comportamiento del sistema en lo referente al error exige cuantificar el error de forma que pueda detectarse el origen del mismo. Así, en las normas UNE82009 [1.1-1.6] se definen los siguientes términos para cuantificar el error.

- **Veracidad:** es el grado de concordancia entre el valor medio obtenido de una gran serie de resultados y el valor verdadero o el aceptado como referencia. En muchos métodos de medición no se conoce el valor verdadero, pero es posible contar un valor aceptado para la propiedad que se va a medir; por ejemplo, acudiendo a determinados materiales de referencia, estableciendo dicho valor por referencia a otro método de medición o mediante la preparación de una muestra conocida que es el caso. La veracidad se suele expresar en términos de sesgo o desviación.
- **Precisión:** es el grado de concordancia entre los resultados. Los resultados de muchas medidas pueden ser muy similares pero, sin embargo, pueden ser muy diferentes del valor verdadero.

- *Exactitud*: este término se utiliza para referirse conjuntamente a la veracidad y a la precisión, es decir, a la correspondencia de los resultados entre sí y, además, al valor verdadero. Aunque es habitual denominar como precisión a la exactitud, las diferencias son notables.

4.3 Curva de calibración de pH

4.3.1 Definición de pH

Las reacciones mas importantes son probablemente las que tienen lugar en disolución acuosa. Todas las reacciones biológicas, y en gran número de las efectuadas en laboratorio, se realizan en el seno del agua.

Una sustancia en dilución acuosa se disocia en fragmentos menores, iones, y se establece un equilibrio entre la especie no disociada y sus partes componentes. Una vez establecido el equilibrio, la unión de ambos iones para reconstruir el compuesto se produce con la velocidad precisa para compensar la disociación.

La expresión de la constante de equilibrio, K_{eq} , para la disociación del agua es:

$$K_{eq} = \frac{[H^+][OH^-]}{[H_2O]}$$

Ecuación 4.2

Donde los corchetes representan las concentraciones en moles por litro.

En disoluciones razonablemente diluidas, el valor de $[H_2O]$, es prácticamente constante. La cantidad de agua que se consume o se forma durante una reacción química es pequeña, en comparación con la cantidad total de agua presente.

Por ello la constante de equilibrio puede escribirse como:

$$K_a = [H^+][OH^-]$$

Ecuación 4.3

Esta constante de equilibrio, K_a , se llama producto iónico del agua y varía con la temperatura. Su valor es $1,0 \cdot 10^{-14}$, a 25 °C. En el agua pura las concentraciones de H^+ y OH^- valen cada una $1,0 \cdot 10^{-7}$. La concentración de aniones hidroxilo (OH^-) desciende por de $1,0 \cdot 10^{-7}$, de modo análogo, cuando se añade una base al agua, la concentración de cationes H^+ disminuye.

Puesto que las potencias grandes de diez son incómodas de manejar, se ha introducido una notación logarítmica, llamada escala de pH. El pH es el logaritmo cambiado de signo de $[H^+]$.

En el agua destilada el pH es 7. Toda las soluciones neutras tienen este valor para el pH, mientras que el de las ácidas es menor que 7, y el de las básicas, mayor.

4.3.2 Descripción del electrodo de pH

El electrodo de vidrio actualmente constituye la pieza fundamental en la medición electrométrica del pH. Junto con el electrodo de calomel, se encuentran ampliamente difundidos y a la fecha no existe otro sistema para la medición electrométrica que tenga la misma versatilidad y precisión. El principio bajo el cual trabaja el electrodo de vidrio fue descubierto de forma accidental por McInnes y Dole, cuando observaron que el vidrio que empleaban en sus investigaciones mostraba cierta sensibilidad a las variaciones de pH. Una vez hecho su descubrimiento, procedieron a investigar una composición más adecuada de vidrio, que es la base de los electrodos empleados hoy en día.

La varilla de soporte del electrodo es de vidrio común, no conductor de cargas eléctricas mientras que el bulbo sensible, el extremo sensible del electrodo, se construye con este vidrio de formulación especial, conocido como "vidrio sensible al pH", en realidad es vidrio polarizable. El vidrio de pH es conductor de cargas eléctricas porque tiene óxido de litio dentro del cristal, además de óxido de sílice, de calcio y algunos otros. Según se puede observar en la figura 3.1, la estructura del vidrio es tal que permite el intercambio de iones litio por iones de hidrógeno en solución acuosa, de modo que se forma una capa fina hidratada. Se crea así un potencial del orden de mV a través de la interface creada entre el vidrio y la solución acuosa. El voltaje creado hacia el interior del bulbo es constante porque se mantiene su pH constante, de modo que la diferencia de potencial depende sólo del pH del medio externo. La incorporación de un alambre, usualmente de Ag/AgCl, permite conducir este potencial hasta un amplificador.

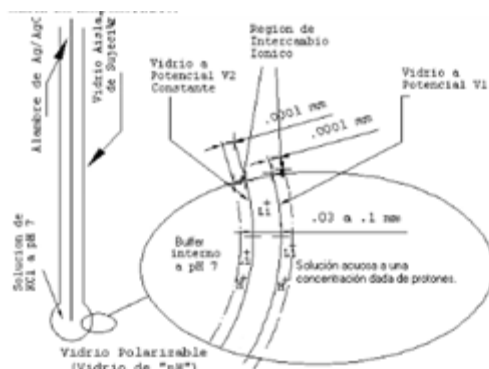


Figura 4.1

4.3.3 Funcionamiento de un Electrodo de pH

El método determina el pH midiendo el potencial generado por un electrodo, este potencial se compara contra un electrodo de referencia, que genera un potencial constante e independiente del pH. El electrodo de referencia que se utiliza es el de calomel saturado con cloruro de potasio, el cual sirve como puente salino que permite el paso de los mV generados hacia el circuito de medición.

El sistema actual de medición de pH es, por excelencia, el electrodo de combinación. Su nombre deriva de la práctica inicial en que el electrodo sensor de H^+ estaba separado del electrodo de referencia; la combinación de ambos en una sola estructura llevó a su nombre actual. Sin embargo, la práctica industrial sigue utilizando electrodos de referencia y de pH separados, porque permite señales más confiables y procedimientos de mantención que, en ciertos casos, resultan más controlables y de menor costo.

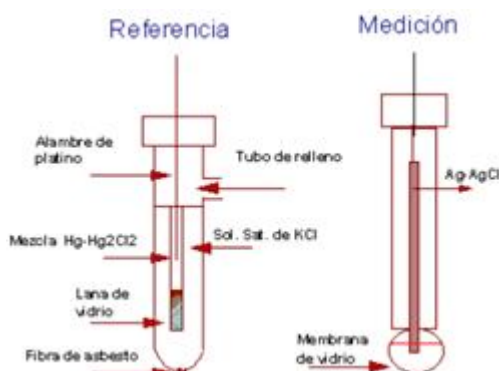


Figura 4.2

De cualquier forma, la diferencia de potencial será dada por la ecuación 4.4 de Nernst:

$$E_H = \frac{RT}{F} \ln \frac{[H^+]}{\sqrt{[H_2]_c}} - \frac{RT}{F} \ln \frac{[H^+]_M}{\sqrt{[H_2]_M}}$$

Ecuación 4.4

Donde el subíndice C se refiere a la celda de concentración conocida mientras que el subíndice M se refiere a la muestra de pH desconocido. Los corchetes indican concentración molar. Si las actividades de H^+ y de H_2 en la celda de composición conocida, C, fuesen unitarias, se estaría trabajando con el electrodo estándar de hidrógeno, así que el primer término de la ecuación se hace cero. Además, si la presión del hidrógeno gaseoso fuese 1 atm, el denominador del término bajo logaritmo sería 1 y el potencial es solamente dependiente de la concentración de hidrógeno ionizado en la celda que contiene la muestra. Así:

$$E_H = -\frac{RT}{F} \ln [H^+]_M$$

Ecuación 4.5

Tomando las consideraciones antes expuestas se obtiene:

$$pH = \frac{E_H}{0,0591} \text{ a } 25^\circ C$$

Ecuación 4.6

Que es una expresión útil para medir la acidez. La utilización de logaritmos en lugar de molaridades permite obtener una ganancia de carácter lineal.

Los fabricantes montan los electrodos en diferentes materiales, confiriéndoles distintas propiedades extra, pero siempre la parte central es el bulbo de vidrio para pH. Y es esta también la parte más delicada.

4.3.4 Resultados obtenidos para la sonda de pH

El pH se determinó utilizando un dispositivo multiparamétrico Eutech, modelo PCD 6500, conectado a una sonda de pH Hamilton.



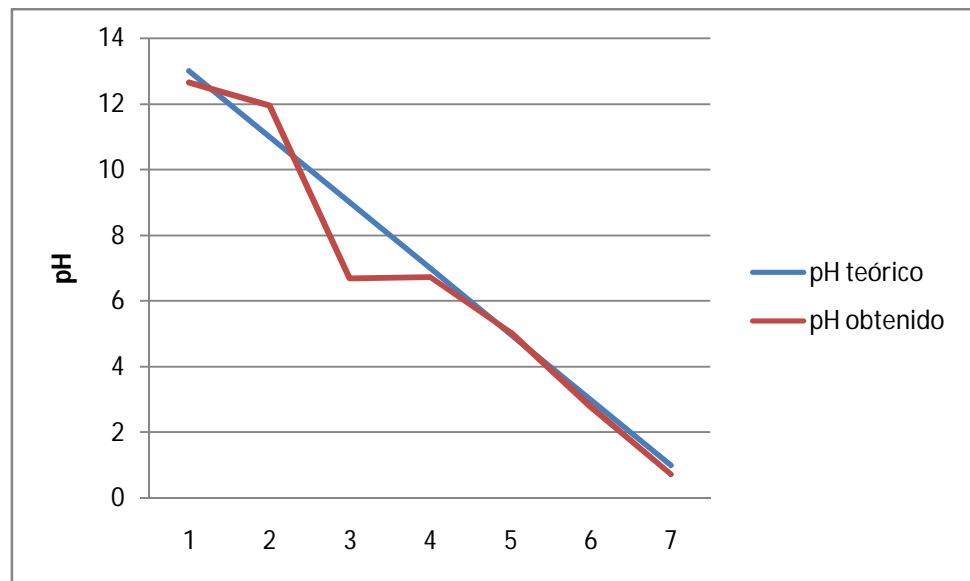
Las condiciones normales de uso del multiparamétrico Eutech, PCD 6500 según el fabricante, permite trabajar con límites de precisión $\pm 0,1$ unidades de pH.

Los resultados se expresan como unidades de pH.

Para tener una visión más general de la curva de pH se han unificado los datos obtenidos tanto del ensayo con la disolución ácida de ácido clorhídrico como de la disolución básica de hidróxido sódico.

Este ensayo está realizado en el laboratorio y el pH obtenido proviene de una medida estable que según el multiparamétrico es cuando la señal no varía durante 4 segundos.

La temperatura a la que se ha realizado esta prueba es de 29 °C.



Gráfica 4.1

La gráfica 4.1 refleja que en determinados rangos se producen errores en la medida, para concretar los errores se representan en la siguiente tabla los valores numéricos usados para la gráfica:

pH teórico	pH obtenido
13	12,65
11	11,94
9	6,68
7	6,72
5	5,05
3	2,79
1	0,72

Tabla 4.1

Para expresar la calidad del instrumento o error, se ha usado el error relativo a fondo de escala, cuya expresión viene determinada por la ecuación 4.1.

$$\varepsilon_{FSR} = \frac{2,32}{11,93} \times 100\% = 19,44\%$$

Sustituyendo los valores en la ecuación 3.1, se obtiene un error relativo a fondo de escala $\varepsilon_{FSR} = 19,44\%$.

Se observa en la gráfica 4.1 que la medida es bastante fiel a los datos obtenidos de forma teórica con la salvedad del rango cercano a un valor de pH igual a 8. Esto es debido a que para esas concentraciones el nivel de iones es muy pequeño y por ello se produce una variación constante de la señal.

Los valores de pH según las aplicaciones para las que están destinadas en la EIA no deben variar en más de medio punto de su valor real. Luego para aguas con un pH en el rango cercano a 8 se encuentra una gran oscilación en el parámetro de salida sin variar el parámetro de entrada. Esto último se estudia más detalladamente por medio de los términos antes definidos, exactitud y precisión, para ello en la tabla 4.2, se muestran seis medidas de pH tomadas cada 30 minutos para un pH inicial igual a 6,1.

pH
5,70
6,33
5,04
6,72
5,26
6,72

Tabla 4.2

La desviación media de las muestras es igual a 0,62, lo que está algo por encima de los valores aceptados. Se puede considerar que el sistema es más exacto que preciso, pero no entra en los rangos de precisión impuestos.

4.3.5 Mantenimiento del electrodo de pH

El electrodo de vidrio es relativamente inmune a las interferencias del color, turbidez, material coloidal, cloro libre, oxidantes y reductores. La medición se afecta cuando la superficie de la membrana de vidrio esta sucia con grasa o material orgánico insoluble en agua, que le impide hacer contacto con la muestra, por lo anterior se recomienda la limpieza escrupulosa de los electrodos.

Los electrodos deben ser enjuagados con agua destilada entre muestras, No hay que secarlos luego con un paño pues podríamos cargarlo electroestáticamente.

Apoyar suavemente un papel, sin pelusas, para remover el exceso de agua será suficiente.

Precauciones

El electrodo debe ser mantenido húmedo siempre. Se recomienda que se guarde en una solución de 3 M de KCl. No debe guardarse el electrodo en agua destilada pues esto causaría que los iones “se escurrieran” por el bulbo de vidrio, y el electrodo se volvería inútil.

4.4 Curva de calibración de Conductividad

4.4.1 Definición de conductividad eléctrica

La conductividad electrolítica es una de las medidas electroquímicas más antiguas y más precisas y se usa en una amplia variedad de aplicaciones industriales que incluyen detección de contaminantes en el agua y medidas de concentración.

La conductividad electrolítica de una solución se define como su facilidad para conducir una corriente eléctrica. Los conductores electrolíticos más comunes son aquellos en los cuales la conductividad resulta de la mezcla de un solvente, que por lo habitual no es un buen conductor, y un segundo componente, un soluto el electrolito; todas las soluciones ordinarias de sales en agua entran en esta categoría. En algunos casos, una solución electrolítica se produce cuando dos sustancias, que son malas conductoras en su estado puro, se mezclan. Las soluciones de ácidos en agua son ejemplos.

La conducción de electricidad en una solución electrolítica se produce como resultado de la migración de los iones cargados positiva y negativamente hacia electrodos de carga contraria. La conductividad de un electrolito es la suma de las contribuciones hechas por aniones y cationes y, simplemente, se debe al movimiento de estos iones.

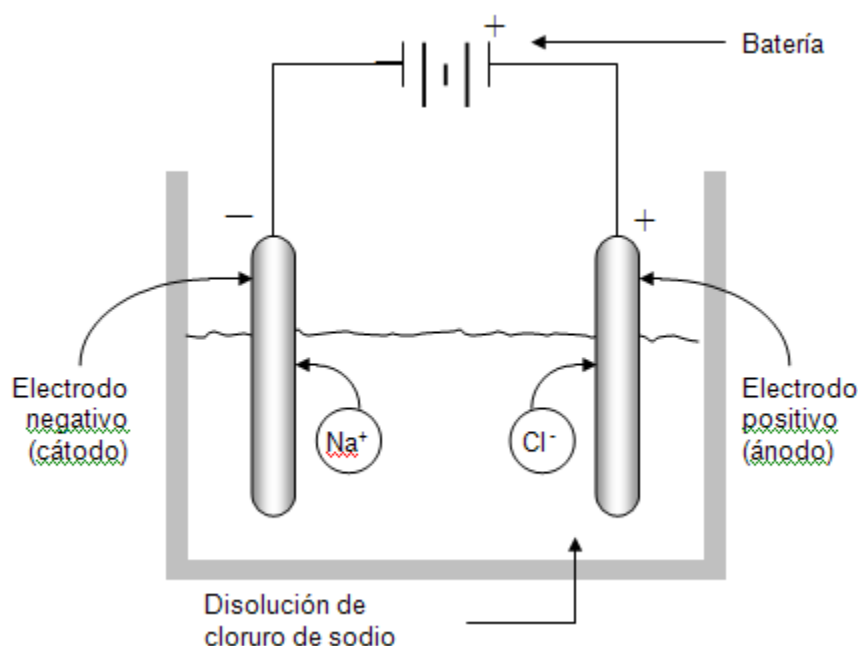


Figura 4.3

Los trabajos clásicos de Faraday sobre los mecanismos de la electrolisis, establecen que la cantidad de descomposición electrolítica es proporcional a la cantidad de electricidad que pasa y que las cantidades de las diversas sustancias disociadas y acumuladas en los electrodos son proporcionales a sus equivalentes químicos. Faraday introdujo los términos electrodo, ánodo, cátodo e iones. El hecho de que los electrolitos obedecen estas leyes clásicas ha permitido la exactitud de los métodos disponibles de medida.

A pesar de que en la época de las investigaciones de Faraday, los mecanismos de la conducción electrolítica eran solo materia de especulación, para el año 1850 ya estaba generalmente aceptada la teoría de que la conducción electrolítica tenía lugar por la migración de cargas eléctricas en un campo eléctrico. Arrhenius, en sus trabajos clásicos sobre la teoría de la disociación electrolítica, propuso la hipótesis fundamental en la que un electrolito en solución se disocia en iones que conducen la electricidad y que el grado de disociación puede ser determinada por la medida de la conductividad de la solución.

Estudios posteriores de la conductividad de los electrolitos mostraron que en ellos la ley de Ohm se sigue con gran exactitud.

Base teórica

Como se ha dicho, las soluciones electrolíticas, como los conductores metálicos, siguen la ley de Ohm, excepto a voltajes muy altos o a muy alta frecuencia. Esto es, para una diferencia de V voltios a través de dos electrodos sumergidos en una solución electrolítica, la corriente I que fluye a través de dos electrodos sumergidos en una solución electrolítica, la corriente I que fluye a través del electrolito es inversamente proporcional a la resistencia R del electrolito: $I = V/R$. La inversa de la resistencia ($1/R$) se define como la conductancia \mathcal{C} y se expresa en unidades conocidas como siemens.

La resistencia R de una sustancia homogénea de sección uniforme A y longitud l se define por la ecuación:

$$R = \frac{rl}{A}$$

Donde r se define como la resistencia específica (o resistividad) de la sustancia y es característica de dicha sustancia bajo unas condiciones físicas determinadas.

De la misma forma, la unidad estándar de la conductancia es la conductancia específica, o conductividad, (K), definida como la inversa de la resistencia en ohmios de un cubo de 1 cm de lado del electrolito a una temperatura específica. La conductancia observada (c) de una solución es inversamente proporcional a la distancia l entre los electrodos y directamente proporcional a su área A , según la ecuación:

$$C = \frac{kA}{l}$$

La unidad de la conductancia específica o conductividad es la recíproca al ohmio-cm y se denomina siemens/cm (S/cm).

La conductancia específica, conductividad de algunas sustancias típicas se indica en la tabla 4.3.

Calidad del agua	Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)
Agua ultrapura	0,05 a 0,1
Agua desmineralizada	0,1 a 0,9
Agua destilada	1,0 a 8,0
Agua de alimentación de calderas	1,2 a 12,0
Agua de ríos y corrientes	90 a 1000
Agua mineral	900 a 2000
Agua de refrigeración circulando	900 a 9000

Tabla 4.3

La conductancia de una solución es la suma de las de todos los iones presentes y depende del número de iones por volumen de solución y de las velocidades a las que iones se mueven bajo la influencia del potencial aplicado.

Los términos resistencia y resistividad, y conductancia y conductividad a veces son mal interpretados. La resistividad y la conductancia incluyen un término geométrico (cm), que como se verá se denomina el factor de la célula. La resistencia y la conductancia son medidas eléctricas y no contienen este término. A veces la conductividad se expresa por el término conductancia o, incluso, como conductividad específica.

Soluciones conductoras

La conductividad se mide típicamente en soluciones acuosas de electrolitos. Electrolitos son las sustancias que se separan en partículas cargadas denominadas iones. Estos iones formados son los responsables del transporte de la corriente eléctrica. Los electrolitos incluyen ácidos, bases y sales.

Muchas de las soluciones donde se mide la conductividad son soluciones acuosas, porque el agua tiene la propiedad de estabilizar los iones formados debido a un proceso denominado "solvación". El agua pura puede conducir la electricidad por sí misma, pero en muy pequeña cantidad porque se disocia para formar iones hidrógeno e iones hidroxilo.

En el rango de las medidas de conductividad de uso común en la industria, hechas en soluciones con solventes orgánicos y soluciones acuosas hechas con productos no electrolíticos, como los alcoholes, se consideran como no conductoras.

No especificidad de la conductividad

La medida de la conductividad responde a todos y cada uno de los iones presentes. Una solución no puede ser identificada, o conocida su concentración, solo por la medida de su conductividad. En ciertos casos, la concentración de un electrolito en la solución puede ser determinada por conductividad si se conoce exactamente la composición de la solución.

Soluciones de muy distinta composición pueden tener la misma conductividad.

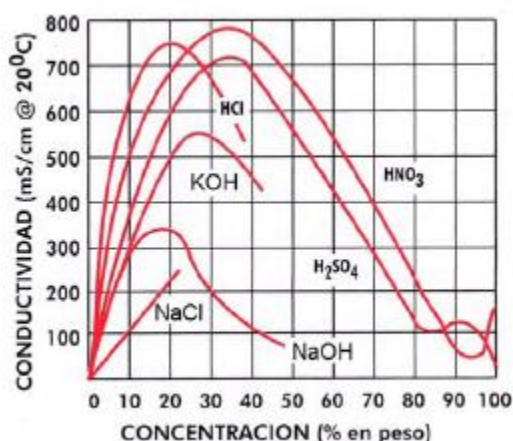
Como ejemplo dramático: agua y cianuro potásico tienen la misma conductividad: 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

4.4.2 Factores que afectan a la conductividad

Concentración

La conductividad de un electrolito está determinada por el número y especies de iones presentes en la solución y de sus movilidades. Estos factores están, a su vez, influenciados por la composición y concentración del soluto, la temperatura de la medida y otros factores secundarios tales como la constante dieléctrica y fluidez del solvente. En algunos casos la conductividad del solvente puede contribuir a la conductividad general de la solución; como ejemplo se pueden considerar algunas soluciones acuosas donde la concentración del soluto es muy baja, unos pocos ppm o fracciones de un ppm, por ejemplo, agua ultra pura de alimentación de calderas y condensado.

La conductividad de soluciones acuosas diluidas de sales inorgánicas se incrementa cerca de la linealidad con su concentración. Las curvas de concentración, conductividad de casi todos los ácidos inorgánicos exhiben máximos, de hecho, el ácido sulfúrico o el nítrico presentan algunos puntos de inflexión. A pesar de que la ionización de los electrolitos fuertes, tales como sales inorgánicas, los ácidos comunes y álcalis, decrecen con la temperatura, el incremento de la movilidad de los iones a temperaturas altas proporciona un incremento general en la conductividad de la solución.



Gráfica 4.2

En la gráfica 4.2 se puede apreciar el cambio de conductividad de algunos solutos en función de su concentración. Así mismo se puede apreciar que al aumentar la concentración, a partir de un punto máximo determinado, la conductividad

disminuye. Un determinado soluto puede tener la misma conductividad a dos o más valores distintos de su concentración, por ejemplo H_2SO_4 ó HNO_3 .

Temperatura

Los coeficientes de temperatura son siempre positivos. Esto es porque la velocidad de los iones aumenta con la temperatura, incrementando su movilidad. Al mismo tiempo, la viscosidad de la solución disminuye, resultando en menor resistencia a su movimiento, con lo que también se aumenta la movilidad. La dependencia de la temperatura se expresa normalmente en cambio relativo por grado Celsius a una determinada temperatura de referencia, comúnmente en $\%/^{\circ}C$ a $25^{\circ}C$. El agua ultra pura, cuyos iones conductores están proporcionados, básicamente, por la ionización constante del agua, que es dependiente de la temperatura, tiene la pendiente más acusada: $5,2 \%/^{\circ}C$ a $25^{\circ}C$, mientras que los electrolitos débiles tienen valores del orden de $2\%/^{\circ}C$ a $25^{\circ}C$ y los electrolitos fuertes algo menores.

Cuando la medida de la conductividad se realiza a temperatura distinta a la de referencia, los datos de la medida se suelen normalizar a los que tendría a dicha temperatura de referencia, generalmente a $25^{\circ}C$. Para conseguirlo se montan sensores de temperatura en las sondas de medida de conductividad, cuyas señales se usan por los circuitos de medida, que están configurados para pendientes de temperatura similares a los de la solución.

Los modernos instrumentos de medida basados en microprocesador normalmente incorporan archivos de datos de temperatura. Miden la temperatura y la conductividad de la muestra y elaboran las correcciones necesarias para proporcionar un valor de ésta con la temperatura compensada, cuya exactitud solo está limitada por el número y la exactitud de los valores almacenados. En cualquier caso, una medida exacta requiere el conocimiento de la identidad del electrolito y la relación de su conductividad con la temperatura.

Compensación en medidas de agua de alta pureza

En soluciones con una conductividad de $1\mu S/cm$ o menores, el aumento de la conductividad con la temperatura es altamente no lineal. Por lo tanto, estas aplicaciones, requieren una compensación especial, denominada de alta pureza para evitar grandes errores. El fenómeno ocurre, básicamente porque la propia conductividad del agua es una fracción muy importante del valor total de la conductividad de la solución, debido a la disociación del agua. Un incremento de la

temperatura, no solo aumenta la movilidad de los iones del agua y del electrolito, sino que la disociación aumenta, por lo que aumenta el número de estos iones. Este doble efecto hace que la conductividad aumente exponencialmente.

La compensación de la temperatura, por tanto, debe tener en cuenta el aumento de la conductividad del agua, solvente, y el aumento de la conductividad del electrolito, soluto.

Este fenómeno lleva a que la compensación de temperatura en este tipo de soluciones se debe hacer en dos pasos. El primero asumiendo que el soluto es sal NaCl. El segundo, denominado compensación de temperatura para "conductividad catiónica" se dirige a aplicaciones donde el soluto es ácido(HCl).

Los instrumentos para este tipo de aplicaciones deben ser especificados requiriendo el tipo de compensación automática para agua pura.

4.4.3 Celdas de cuatro electrodos

La celda de cuatro electrodos es particularmente útil cuando, por las características de la muestra, los electrodos se pueden recubrir de adherencias o suciedad. La corriente se impone a través de los electrodos "conductores" y la caída de tensión a través del electrolito se detecta usando dos electrodos.

Generalmente la celda consiste en cuatro anillos concéntricos de platino, acero inoxidable u otro metal inerte. Se aplica corriente alterna a los dos anillos exteriores y el voltaje se mide en los dos interiores, de esta forma se evitan los errores producidos por polarización y se garantiza la exactitud de la medida.

Generalmente se usan para soluciones con valores altos de la conductividad, en el rango de 0 a 2000 mS/cm.

Algunos fabricantes ofertan, con la misma aproximada configuración también celdas de seis electrodos.

4.4.4 Resultados obtenidos para la sonda de conductividad eléctrica (CE)



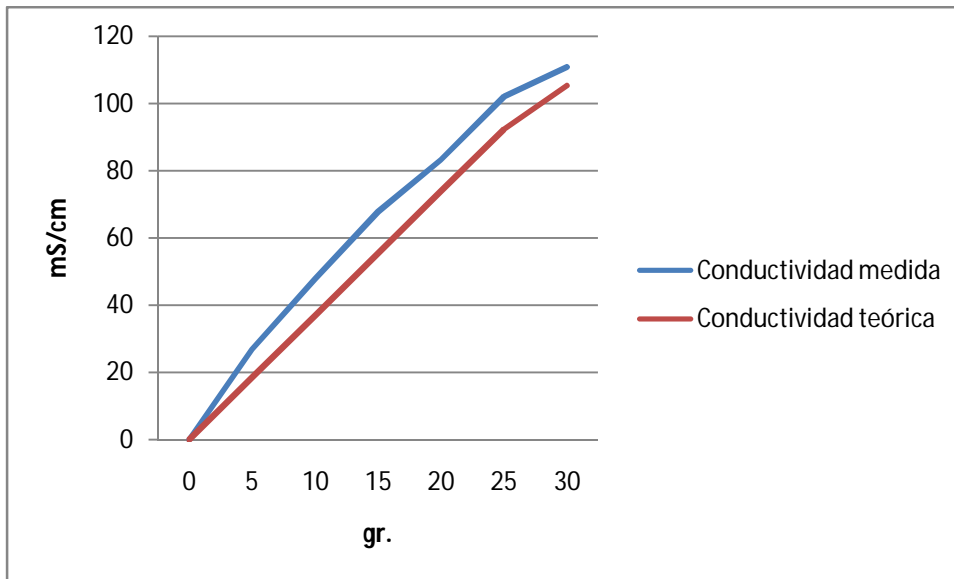
La conductividad eléctrica se determinó por la medida conductimétrica (Jones, G. y col, 1933), utilizando un equipo multiparamétrico Eutech, modelo PCD 6500, con sonda de cuatro células en vidrio-platino, que permite tomar medidas de la conductividad, resistividad, salinidad y sólidos disueltos totales.

Presenta una precisión, según el fabricante de $\pm 0,08 \text{ mS cm}^{-1}$.

Los resultados se expresan como mS cm^{-1} .

Para conocer la curva de calibración para la sonda de conductividad se parte de un volumen de 500mL de agua destilada cuya conductividad es muy próxima a cero, y las siguientes concentraciones se obtienen añadiendo 5gr Cloruro Sódico para cada muestra.

Los valores de conductividad obtenidos se consideran estables cuando su valor no cambia durante 4 segundos y la medida es estable. La gráfica 4.3 muestra la curva de calibración de la sonda de conductividad:



Gráfica 4.3

Para determinar el error que se comete se presenta la tabla 4.4.

Conductividad teórica	Conductividad obtenida
0	0
18,5	26,8
36,96	47,87
55,42	67,78
73,88	83,16
92,34	102
105,3	110,8

Tabla 4.4

Para expresar la calidad del instrumento o error del instrumento se ha usado el error relativo a fondo de escala, cuya expresión viene determinada por la ecuación 4.1.

$$\varepsilon_{FSR} = \frac{12,36}{110,8} \times 100\% = 11,15\%$$

Se obtiene un error relativo a fondo de escala de un 11,15%.

Para el estudio de los otros indicadores, veracidad, precisión y exactitud se representa la tabla 3.5 que muestra valores de conductividad muestreados cada 30 minutos y cuyo valor de referencia es de 9,583 mS/cm.

Conductividad
mS/cm
9,893
15,812
16,402
13,33
13,52
10,835

Tabla 4.5

La desviación media de las muestras es igual a 3,7156 mS/cm. Se puede considerar que el sistema es exacto y preciso, siempre y cuando se pueda aceptar esa desviación, este tipo de medidas se va a considerar, siguiendo las indicaciones de la EIA, que son aceptables para desviaciones que no superen los 0,1 mS/cm. La desviación media obtenida se sale del rango luego tampoco son valores muy aceptables, teniendo en cuenta que este sistema está hecho para aplicaciones de este tipo, y que la sonda ha sido calibrada para cada prueba, se obtienen resultados poco satisfactorios. Para valores inferiores a los ensayados la medida oscila mucho más que para estos rangos, y teniendo en cuenta que para valores de conductividad por encima de 5 mS/cm, el agua deja de ser apta para el desarrollo animal, la medida de esta sonda oscila demasiado, y su exactitud no es muy aceptable.

4.4.5 Mantenimiento del electrodo de conductividad eléctrica

Para este tipo de sondas es importante limpiar la sonda con agua destilada una vez concluido su uso. Es importante a su vez que al guardarse no se doble en la medida que sea posible, la conexión de la sonda con el cable, ya que a menudo se pierde la conexión de la misma por este motivo.

4.5 Curva de calibración de Potencial óxido-reductor

4.5.1 Definición de potencial óxido-reductor

La reducción y la oxidación son dos conceptos fundamentales de la química que se refieren a la capacidad de los materiales de ganar electrones, reducción, o perder electrones, oxidación. En soluciones acuosas, el voltaje oxido-reducción, puede ser medido usando un electrodo estándar de hidrógeno como referencia. Las propiedades de oxidación o reducción de una solución dependen de cada reactivo presente. Al usar un electrodo de potencial oxido-reducción, este cambio de potencial se registra como un voltaje positivo o negativo.

Las mediciones óxido-reductor sirven para monitorear las reacciones químicas como pueden ser, verificar la desnitrificación de aguas residuales y el efecto de los desinfectantes y detergentes o la dureza de los baños electroplateados.

La medición del potencial óxido-reductor se realiza con un electrodo combinado redox. Al igual que el electrodo combinado de pH, este consta de un electrodo de medición y un electrodo de referencia. En lugar de la membrana de vidrio, se utiliza un electrodo metálico, por lo general de un metal precioso como el oro, la plata o el platino, que asume la función de medición. La tendencia de los iones disueltos a ganar o perder electrones determina el potencial del electrodo de medición y con ello el potencial eléctrico del electrodo de combinación. Los electrodos óxido-reductor de uso corriente incluyen como electrodo de referencia un elemento de plata/cloruro de plata. Es fácil efectuar la conversión entre el sistema del electrodo de hidrógeno estándar (U_H) y el electrodo de referencia de Ag/AgCl, plata/Cloruro de Plata.

$$U_H = U_{Med} + U_{Ref}$$

Ecuación 4.7

El anillo o alambre puede ser de platino u oro y dependiendo del uso se deberá usar uno u otro.

Platino: se recomienda en disoluciones fuertemente oxidantes.

Oro: se recomienda en disoluciones ácidas, en presencia de Cr o Fe.

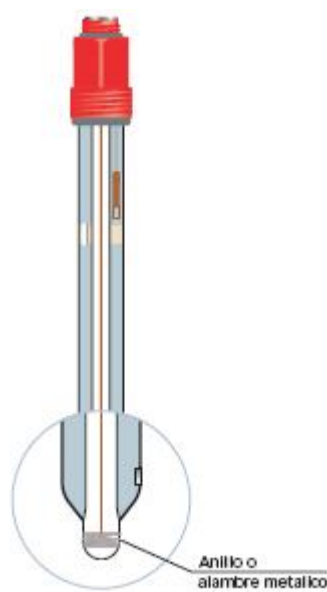


Figura 4.4

4.5.2 Resultados obtenidos para la sonda de potencial de óxido-reducción

Las mediciones de potenciales proporcionan un método rápido y adecuado para determinar la capacidad oxidante o reductora del medio, que condiciona las reacciones químicas o los equilibrios biológicos en su seno.

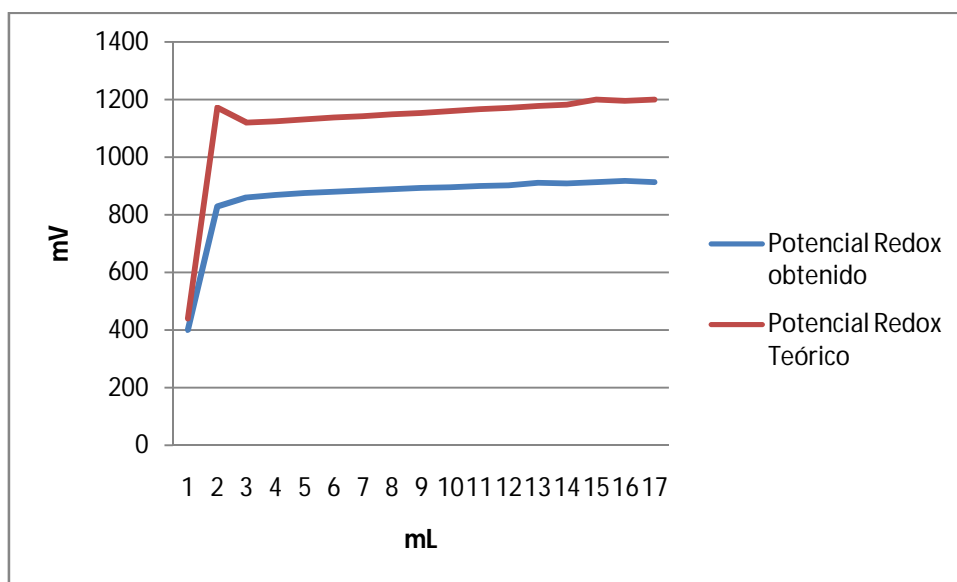


El potencial de óxido-reducción se determinó mediante medida potenciométrica tras calibración del electrodo. Se empleó un equipo multiparamétrico

Eutech, modelo PCD 6500 conectado a la sonda Hamilton 238145 Liq Glass ORP con electrodo de platino y rango de medida, según fabricante de ± 2 mV y temperatura de trabajo de -10 a 100°C.

Para el potencial de óxido-reducción debido a que la curva de calibración no es lineal sino logarítmica, se obtienen los diferentes potenciales para las distintas concentraciones.

El gráfico siguiente representa los valores de potencial en función de los mililitros de una disolución reductora de dicromato potásico 0,1N diluidos en la solución oxidante de sulfato ferroso amónico 0,01N :



Gráfica 4.4

Para determinar el error que se comete se presenta la tabla 4.6.

potencial de óxido-reducción teórico	potencial de óxido-reducción obtenido
440	400
1171	829
1119	860
1125	868
1131	875
1137	880
1142	884
1148	888
1154	893
1160	896
1166	900
1171	902
1177	912
1183	910
1200	913
1195	918
1200	914

Tabla 4.6

Para expresar la calidad del instrumento o error del instrumento se usa el error relativo a fondo de escala, cuya expresión viene determinada por la ecuación 4.1.

$$\varepsilon_{FSR} = \frac{342}{760} \times 100\% = 45\%$$

Se obtiene un error relativo a fondo de escala de un 45%.

Para potenciales dentro del rango entre 800mV y 1200mV se comete un error medio de 266,3 mV.

Para el estudio de los otros indicadores, veracidad, precisión y exactitud se representa la tabla 3.7 que muestra valores de potencial de óxido-reducción muestreados cada 30 minutos y cuyo valor de referencia es de 950 mV.

potencial de óxido-reducción (mV)
967
973
1048
889
896
958

Tabla 4.7

La desviación media de las muestras es igual a 43,5 mV. Se puede considerar que el sistema es exacto y preciso. Pero para las aplicaciones que, la EIA va a estudiar, se consideran errores por encima de las decenas, y por consiguiente la medida tampoco es muy fiel a su valor real, y ello puede perjudicar a los sistemas que se estudian.

4.5.3 Mantenimiento del electrodo de potencial óxido-reductor

Este electrodo tiene un mantenimiento similar al electrodo de conductividad, por lo que es necesario limpiarlo con agua destilada después de su uso para evitar su deterioro.

Capítulo 5 Herramienta para el estudio dinámico; banco de pruebas

Herramienta para el estudio dinámico; banco de pruebas

5.1 Componentes

El banco de pruebas está compuesto por los siguientes elementos descritos a continuación:

1. Reactor de vidrio: Es el elemento principal del sistema, ya que de él se realiza el muestreo de los diferentes parámetros. Tiene un volumen máximo de 1L.



2. Soporte vertical: Está destinado como soporte del reactor de vidrio, y de las fijaciones de las diferentes sondas.



3. Bomba peristáltica de recirculación: Esta bomba está destinada a producir un flujo continuo de agua que simule en el reactor de vidrio un torrente suave. El fabricante de la bomba peristáltica usada es Watson Marlow y el modelo es 313s. El caudal de esta bomba es regulable, por ello se ha calculado que para un 30% de rendimiento el caudal es igual a 484 ml/min.



Los rendimientos de esta bomba son los siguientes:

313 (ml/min)								
Caudales								
Diámetro interior del tubo	#	112	13	14	16	25	17	18
	mm	0.5	0.8	1.6	3.2	4.8	6.4	8.0
	"	1/50	1/32	1/16	1/8	3/16	1/4	5/16
rpm	5	0.15	0.33	1.3	5	11	18	25
	50	1.5	3	13	50	110	180	250
	200	6	14	54	200	440	720	1000
	400	12	28	108	400	880	1440	2000
	2.5 - 50	0.07-1.5	0.15-3	0.65-13	2.5-50	5.5-110	9-180	12.5-250
	20 - 400	0.6-12	1.4-28	5.4-108	20-400	44-880	72-1440	100-2000

4. Bomba peristáltica de control biológico: Esta bomba es la encargada en aumentar de forma precisa la cantidad de concentrado contenido en el reactor de vidrio. El fabricante de la bomba es I.S.Co. S.r.l , Italia, el modelo es Mark2. Su período de funcionamiento es programable, dependiendo de la prueba a realizar. El caudal es 230 ml/min.



5. Vaso de precipitado: Es necesario para contener el concentrado que, por medio de la bomba de control biológico, introduce el concentrado en el reactor de vidrio. Su volumen debe ser de 250mL como mínimo.

Con esto quedan definidos los diferentes elementos del banco de pruebas, a continuación se describirá el modo de funcionamiento del mismo.

5.2 Procedimiento

5.2.1 Introducción

El banco de pruebas está diseñado con el fin de reproducir una corriente continua de agua o solución, esto permite obtener, siguiendo la metodología descrita en el capítulo 5, ``Comportamiento dinámico de las diferentes sondas´´, la gráfica de una señal de entrada en rampa, muy útil para conocer las características dinámicas de los sistemas. Para ello también es importante tener muy en cuenta los restantes apartados de este capítulo.

5.2.2 Tratamiento de las soluciones

En primer lugar es necesario conocer las soluciones que se han de usar para variar los parámetros a testear, esto es un punto de vital importancia y se deben realizar los cálculos de la manera más determinista posible, como se han realizado en las pruebas realizadas al multiparamétrico de Eutech tratado en este proyecto. Es necesario tener conocimientos de las soluciones que se están manejando y como en el caso de la solución de cloruro sódico usada en este proyecto para variar la conductividad eléctrica del agua es muy importante conseguir que la cantidad de soluto esté completamente diluida para evitar lecturas de concentrado erróneas.

También es necesario consultar para las diferentes soluciones como le afectan factores tales como la temperatura o la presión atmosférica, o la posibilidad de que dichas soluciones por ejemplo para el potencial óxido-reductor lleguen a equilibrarse y el parámetro a medir se estabilice por ello y no por errores del sistema. Al igual que esto último hay soluciones que se pueden usar para variar la conductividad de una solución que a diferencia del cloruro sódico llegan a un punto de saturación y después disminuye drásticamente su conductividad y por ello su curva de calibración no es lineal, lo que dificulta mucho su estudio.

6.2.3 Mantenimiento del banco de pruebas

El banco de pruebas es básicamente un circuito hidráulico, por ello y teniendo en cuenta las soluciones usadas es necesario realizar una continua limpieza del mismo, y en concreto de los conductos usados tanto en la recirculación de solución, como en los destinados a la introducción de concentrado en el sistema. Gracias al uso de bombas peristálticas, las bombas no necesitan ser limpiadas ya que las soluciones no entran en contacto con las mismas.

El reactor de vidrio es posible desconectarlo del sistema y es importante realizarle una limpieza exhaustiva, primero con agua corriente y jabón, y después enjuagándolo bien con agua destilada para evitar el depósito de sales.

Para comenzar la prueba de un sistema de adquisición de datos, con su correspondiente sonda conectada, en primer lugar, en el reactor de vidrio se introducen 500mL de agua destilada, exceptuando la prueba de potencial óxido-reducción que se comienza con 500mL de sulfato ferroso amónico. Seguidamente se

enciende la bomba peristáltica de recirculación, que produce el flujo de agua. Con esto el sistema está iniciado y es posible tomar el valor inicial de partida. A continuación se comienza la prueba, que como se detalla en el siguiente apartado consta de someter a la sonda a tres tipos de entradas:

- Entrada en escalón
- Entrada en impulso rectangular
- Entrada en rampa

Dependiendo del tipo de entrada, se actuará de una forma u otra, dichos procedimientos se describen en el capítulo 5.

Una vez concluida cada prueba es importante limpiar tanto el reactor de vidrio, como los conductos utilizados en las dos bombas. Este paso es muy relevante ya que de no ser escrupulosos podría dar motivo a errores importantes y a la anulación del test.

Seguidamente se muestra una imagen del banco de pruebas con indicaciones de su funcionamiento:



Capítulo 6 Comportamiento dinámico de las diferentes sondas

Comportamiento dinámico de las diferentes sondas

6.1 Estudio de las características de la sonda de pH

6.1.1 Escalón de pH

En primer lugar se somete a la sonda de pH a un cambio brusco de la señal de entrada. Para lo cual se sumerge la sonda en agua destilada cuyo valor de Ph es 6,1. Seguidamente se introduce en una disolución de hidróxido sódico 0,1M cuyo valor de Ph es 13. Se consigue someter a la sonda a una entrada en escalón, con valores de pH básicos.

Con esto se obtienen los siguientes valores de Ph medidos cada 1 segundo durante 32 segundos, es decir la señal tarda algo más de medio minuto en estabilizarse a un valor de Ph algo inferior al teórico.

La tabla de valores recogida es la siguiente:

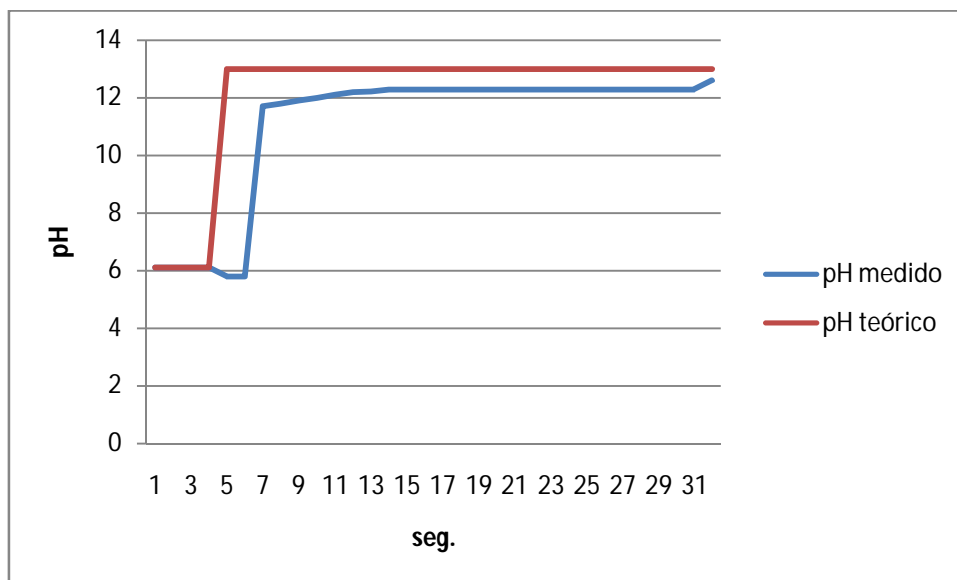
Ph	Segundos	Ph	Segundos
6,1	1	12,28	18
6,1	2	12,28	19
6,1	3	12,28	20
6,1	4	12,28	21
5,8	5	12,28	22
5,8	6	12,28	23
11,7	7	12,28	24
11,8	8	12,28	25
11,9	9	12,28	26
12	10	12,28	27
12,1	11	12,28	28
12,2	12	12,28	29
12,23	13	12,28	30
12,28	14	12,28	31
12,28	15	12,28	32
12,28	16	12,28	33
12,28	17	12,6	34

Tabla 6.1

El valor de Ph tarda en acercarse a 13, e incluso se podría tomar como 12, ya que se estabiliza mucho tiempo a 12,28 que sería un punto por debajo del valor real. Lo que es un error a tener en cuenta, ya que se ha considerado que por encima de medio punto el error es importante para las aplicaciones a las que va destinado. El

tiempo de respuesta es cercano a medio minuto, considerando que las aplicaciones de las que se van a tomar muestras son de tipo biológico, es un tiempo aceptable ya que los sistemas biológicos varían en magnitudes de tiempo mucho mayores.

La gráfica correspondiente a esos datos es la siguiente:



Gráfica 6.1

A continuación se presentan los datos obtenidos al introducir la sonda de Ph en una disolución de ácido clorhídrico, HCl con una concentración 0,01M, cuyo Ph es igual a 3, y seguidamente introducirla en agua destilada cuyo valor de Ph teórico es de 7 pero que medido en condiciones normales en el laboratorio es de 6,1. Con esto se consigue una señal en escalón para un pH ácido.

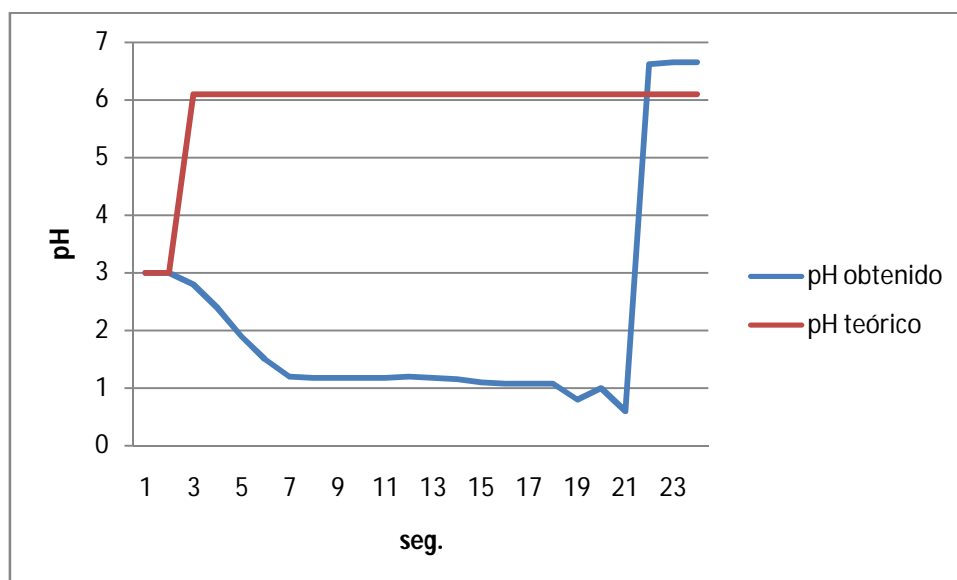
La tabla de valores obtenida es la siguiente:

Ph	Segundos	Ph	Segundos
3	1	1,18	13
3	2	1,16	14
2,8	3	1,1	15
2,4	4	1,08	16
1,9	5	1,08	17
1,5	6	1,08	18
1,2	7	0,8	19
1,18	8	1	20
1,18	9	0,6	21
1,18	10	6,62	22
1,18	11	6,65	23
1,2	12	6,65	24

Tabla 6.2

Se observa que aumentando el nivel de Ph, en primer lugar se produce una disminución en un período corto de tiempo y seguidamente un aumento rápido hasta incluso superar el valor de Ph del agua destilada, medida antes de comenzar la prueba y de valor 6,1.

La gráfica correspondiente a esos datos es la siguiente:



Gráfica 6.2

Se produce un error dinámico que puede ser importante pero en un rango de tiempo corto, esto puede ser de importancia para medidas de disoluciones químicas

en la que estos rangos puedan ser relevantes, para el control de cultivos biológicos no es muy relevante ya que 21 segundos es un período muy corto de tiempo. Sin embargo el error estático cometido si es importante, y puede afectar al sistema muestreado si no se detectase.

6.1.2 Impulso rectangular de pH

Para esta prueba se someterá la sonda de Ph a un cambio brusco de concentración pero en un instante muy corto de tiempo, dicho proceso se realizará de la siguiente forma.

En un principio la sonda estará sumergida en agua destilada con un Ph medido de 5,3. Seguidamente se sacará del agua, y se introducirá en una solución muy ácida de 0,1M durante 3 segundos, pasado este período de tiempo se volverá a sumergir en agua destilada de igual acidez que la anterior.

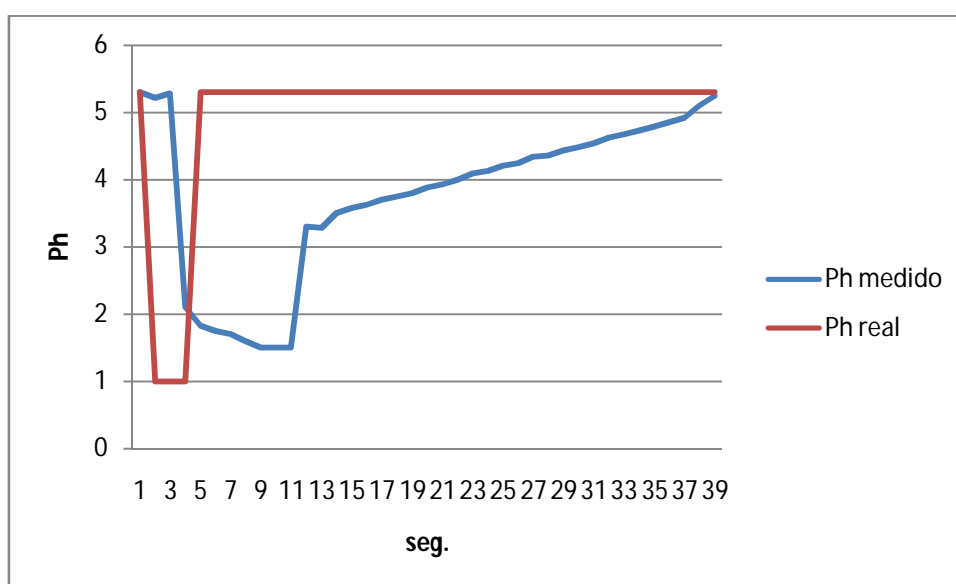
Los valores obtenidos en la prueba se recogen en la siguiente tabla:

Ph	Segundos	Ph	Segundos
5,3	1	3,93	21
5,21	2	4	22
5,28	3	4,09	23
2,1	4	4,13	24
1,82	5	4,2	25
1,75	6	4,24	26
1,7	7	4,34	27
1,6	8	4,36	28
1,5	9	4,43	29
1,5	10	4,48	30
1,5	11	4,54	31
3,3	12	4,62	32
3,28	13	4,67	33
3,5	14	4,73	34
3,58	15	4,79	35
3,62	16	4,85	36
3,7	17	4,92	37
3,75	18	5,1	38
3,8	19	5,24	39
3,88	20	5,3	40

Tabla 6.3

A la vista de los resultados obtenidos se observa que el tiempo de respuesta de la sonda de Ph es muy limitado para variaciones de la señal de entrada muy rápidas. Pero para las aplicaciones a las que se van a destinar no son rangos de tiempo a tener en cuenta.

Seguidamente aparece la gráfica 6.4 obtenida a partir de dichos datos, comparándola con la señal real de entrada:



Gráfica 6.3

El tiempo de respuesta es de poco más de 6 segundos, este rango de tiempo, para el control de cultivos biológicos no es de importancia, pero sin embargo no llega a alcanzar el valor real de la medida, ya que se queda a un pH igual a 1,5, para un valor real de 1, justo el límite de error máximo aceptado para las aplicaciones de la EIA. Por ello habría que tener cuidado con variaciones de este tipo, ya que para determinados valores de pH puede tener repercusiones en los sistemas a controlar. Se podría considerar viendo el valor de pico alcanzado que no es de importancia, pero medio punto más puede causar problemas al sistema que se está muestreando.

6.1.3 Rampa de pH

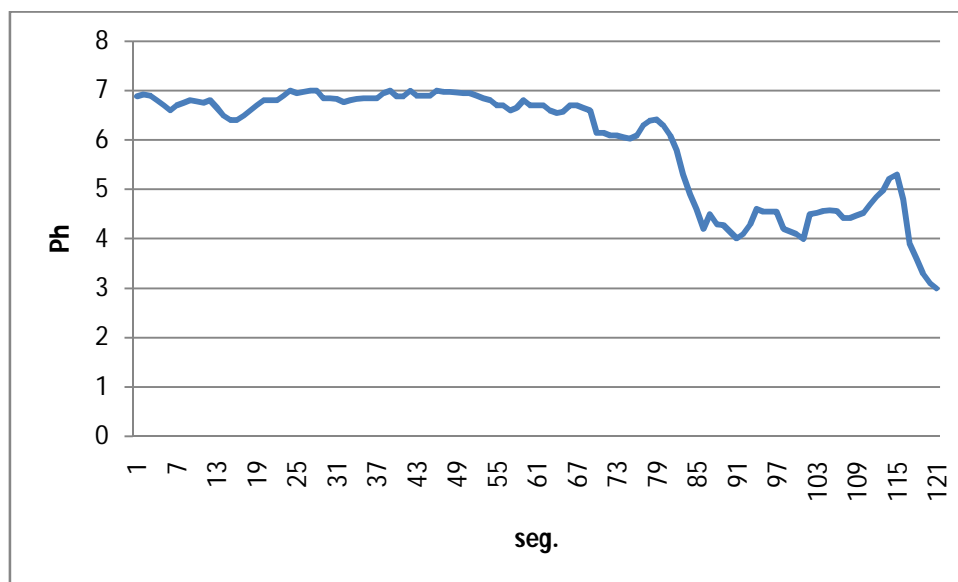
Para el estudio de la función rampa se realiza la simulación de un flujo continuo de agua desarrollado en el capítulo 5.

Se partirá de un Ph igual a 7 y gradualmente se irá variando el Ph introduciendo una mayor concentración de solución muy ácida con un Ph igual a 1 que equivale a una disolución de concentración 0,1M, con lo que se conseguirá una bajada gradual del nivel de pH de la disolución.

En el capítulo 1 se comenta una característica del multiparamétrico muy útil para este apartado. El sistema es capaz de trazar una gráfica de la señal que está midiendo. Por medio de esta aplicación se consigue una gráfica que es posible amplificarla y por medio de papel milimetrado ser copiada para su posterior análisis.

El valor de pH real durante la prueba ha sido calculado con sumo cuidado teniendo en cuenta el caudal de la bomba para evitar interpretaciones erróneas de los datos obtenidos.

La gráfica 6.5 muestra los valores de Ph obtenidos frente al tiempo durante la prueba:



Gráfica 6.4

Es importante comentar que la oscilación de la señal es elevada, esto puede ser debido al flujo continuo de agua al que está sometido el sistema, pero también a que la lectura de la sonda es muy oscilatoria. Viendo la gráfica 6.5 y teniendo en cuenta las otras pruebas realizadas la sonda de pH oscila mucho en la toma de datos, para valores de pH cercanos a un pH neutro.

6.2 Estudio de las características de la sonda de Conductividad

6.2.1 Escalón de conductividad

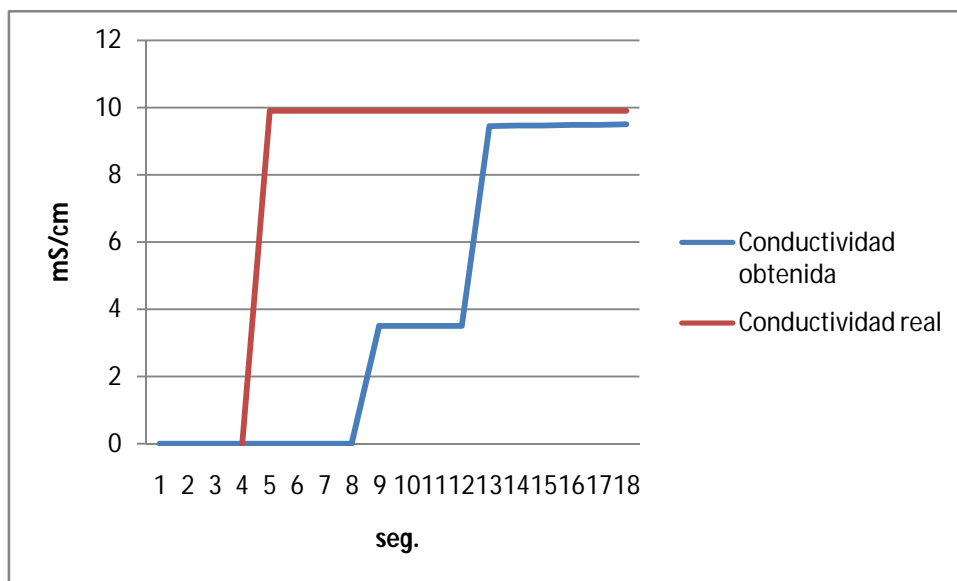
Para someter a la sonda de conductividad a una entrada en escalón se va a partir de un volumen de agua destilada cuya conductividad es próxima a cero. A continuación se va a introducir en una disolución de cloruro sódico NaCl de concentración 0,1M, que equivale a una conductividad de 9,893 mS/cm.

Los datos obtenidos de la prueba se recogen en la tabla 6.4:

Conductividad (mS/cm)	Tiempo (seg.)
0	1
3,5	9
9,45	13
9,46	14
9,47	15
9,48	16
9,49	17
9,5	18

Tabla 6.4

La gráfica correspondiente a estos datos en relación con el tiempo es la siguiente:



Gráfica 6.5

Se puede observar viendo la grafica 6.6 y la tabla 6.4 que el tiempo de la señal es aceptable ya que tarda unos 15 segundos en acercarse al valor estable, aun así la diferencia entre el valor real y el obtenido es de 0,483 mS/cm y las variaciones por encima de 0,1 mS/cm para valores por debajo de 5 mS/cm pueden afectar a los sistemas o cultivos estudiados. Por ello habría que tener cuidado en esos rangos ya que si para una concentración de 0,1M se produce un error de 0,483 mS/cm y es una concentración elevada, para concentraciones de conductividades por debajo de 5 mS/cm el número de iones es muy inferior y se produce una mayor oscilación de la señal.

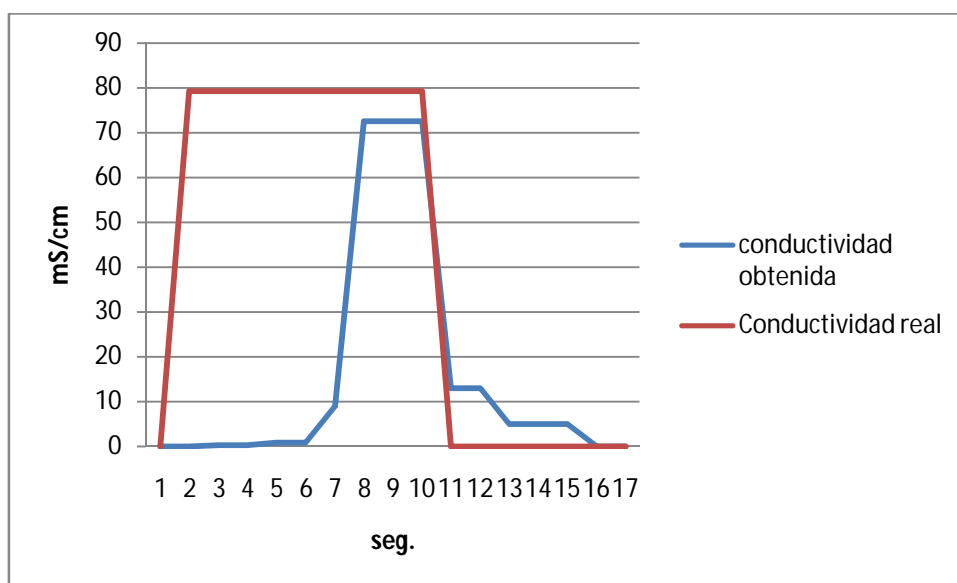
6.2.2 Impulso rectangular de conductividad

Para una variación de la señal de entrada en forma de impulso se va a partir al igual que en la señal en escalón de un volumen de agua destilada y seguidamente se introducirá la sonda en una disolución de cloruro sódico 1M para después volver a introducirla en agua destilada.

Conductividad (mS/cm)	Tiempo (seg.)
0,342	3
0,902	5
9,021	7
72,476	8
12,985	11
4,963	13
0,023	16

Tabla 6.5

La gráfica siguiente muestra los valores obtenidos en esta prueba:



Gráfica 6.6

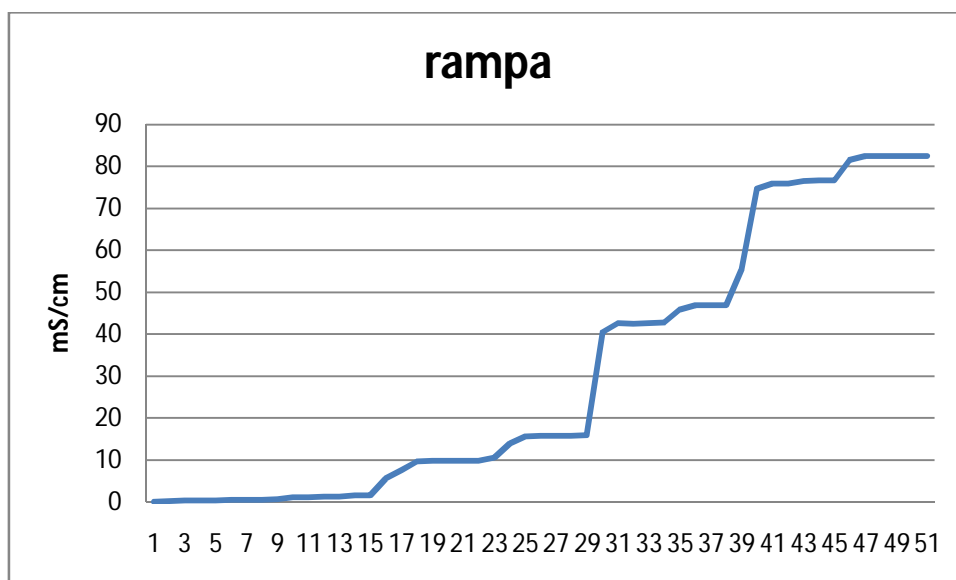
Se observa en la gráfica 6.7 y la tabla 6.5 que el tiempo de respuesta al igual que en la prueba anterior es aceptable y además en este caso se produce muy pocas oscilaciones, la sonda alcanza rápido un valor cercano al teórico con un error de 7,524 mS/cm, este error si es considerable pero para este tipo de señal de entrada, es de suponer que aumentando el tiempo de exposición a la disolución concentrada, el valor de la medida se acercará más al valor real. Luego en este caso si se produce un pico de estas características se puede observar que la sonda reacciona bien pero no proporciona el valor exacto de la conductividad.

6.2.3 Rampa de conductividad

La prueba realizada en continua se ha realizado usando el circuito de simulación expuesto en el capítulo 4 con unos intervalos de concentración que parte de agua destilada, cuya conductividad es próxima a cero, hasta una disolución de concentración 1M cuya salinidad es muy elevada.

Las soluciones han sido previamente diluidas para conseguir disoluciones más estables que proporcionen valores lo más estables posibles en las medidas.

La gráfica 6.8 muestra los valores de conductividad frente al tiempo:



Gráfica 6.7

A la vista de los resultados se observa que al comienzo de la prueba la conductividad va aumentando muy lentamente conforme va incrementando la salinidad del agua o su concentración, la conductividad aumenta de forma brusca hasta alcanzar valores cercanos a los obtenidos de la probeta en la toma de datos tipo discreta.

6.3 Estudio de las características de la sonda de Potencial óxido-reductor

Para el estudio de la sonda de potencial óxido-reductor se han usado dos disoluciones, la primera es una disolución de sulfato ferroso amónico 0,01 Normal con un potencial igual a 400 mV y la otra disolución es de dicromato potásico 0,1Normal cuyo potencial óxido-reductor es de 973 mV .

6.3.1 Escalón de potencial óxido-reductor

Para someter la sonda de potencial óxido-reductor a una señal de entrada en escalón en primer lugar la sonda está sumergida en agua destilada, seguidamente se sumerge en una solución de dicromato potásico con una concentración 0,1N hasta conseguir una medida estable de la señal.

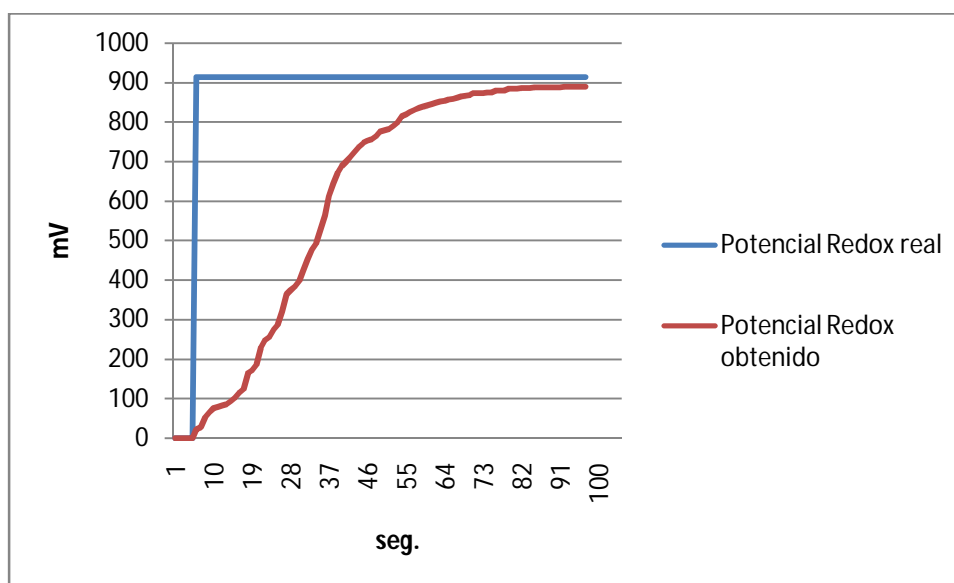
Los valores de potencial óxido-reductor se han tomado cada 1 segundos y quedan recogidos en la siguiente tabla:

Potencial (mV)	Segundos	Potencial (mV)	Segundos	Potencial (mV)	Segundos
0	5	612	36	865	67
23	6	645	37	866	68
28	7	672	38	868	69
54	8	688	39	872	70
64	9	699	40	872	71
76	10	712	41	872	72
79	11	724	42	874	73
82	12	737	43	874	74
86	13	746	44	879	75
94	14	751	45	880	76
102	15	757	46	884	77
115	16	764	47	884	78
125	17	775	48	884	79
165	18	779	49	885	80
172	19	782	50	885	81
187	20	791	51	887	82
230	21	799	52	887	83
248	22	814	53	887	84
256	23	819	54	887	85
275	24	825	55	887	86
287	25	831	56	888	87
321	26	835	57	889	88
365	27	838	58	889	89
374	28	842	59	889	90
383	29	845	60	889	91
399	30	848	61	889	92
424	31	851	62	889	93

453	32	853	63	889	94
476	33	856	64	889	95
493	34	859	65	889	96
528	35	861	66	889	97

Tabla 6.6

La gráfica siguiente muestra los valores de potencial óxido-reductor obtenidos en el ensayo.



Gráfica 6.8

Para esta sonda, al igual que las anteriores, se ha consultado a la EIA los valores límites de error que se pueden aceptar como válidos. Dichos valores indican que errores en las decenas pueden perjudicar si se encuentran en determinados rangos. La configuración del multiparamétrico es de valores absolutos en la medida, otras veces la señal de potencial óxido-reductor parte de valores cercanos a -400 mV hasta 400 mV. En las pruebas realizadas los valores van de 0 mV hasta los 900 mV.

En el caso de una señal de entrada en escalón tanto el tiempo de respuesta como el valor que alcanza son bastante aceptables, teniendo en cuenta que el error que se comete es mayor que las decenas pero para valores de potencial muy altos que no son útiles para las aplicaciones a las que va a ser destinadas.

6.3.2 Impulso rectangular de potencial óxido-reductor

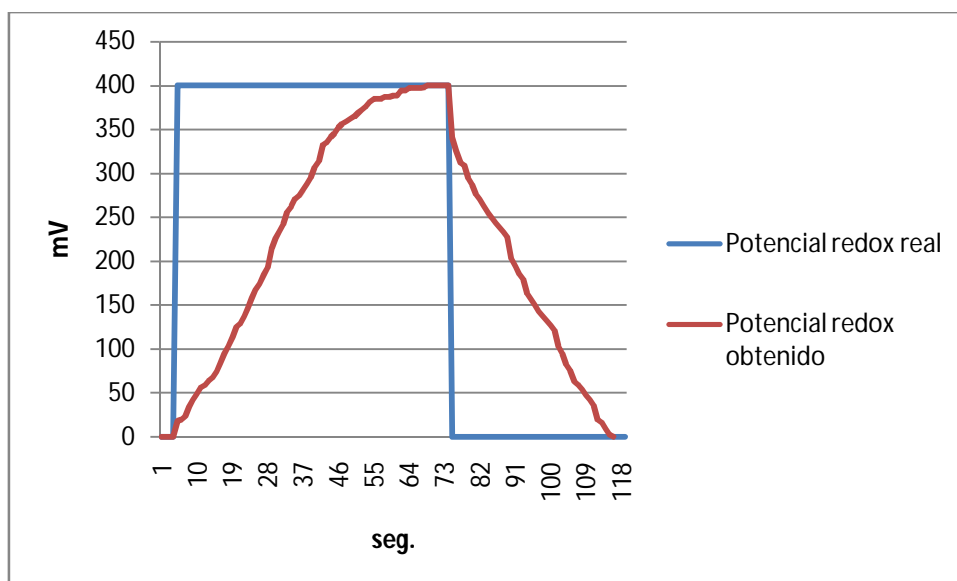
Para someter la sonda de potencial óxido-reductor a una señal de entrada con un impulso en primer lugar la sonda está sumergida en agua destilada, seguidamente se sumerge en una solución de sulfato ferroso amónico con una concentración 0,01N hasta alcanzar una medida cercana al valor de potencial óxido-reductor medido en forma discreta para esa concentración e igual a 400 mV , y seguidamente se vuelve a introducir la sonda en agua destilada.

Los datos obtenidos en este ensayo se reflejan en la siguiente tabla:

Potencial (mV)	Segundos	Potencial (mV)	Segundos	Potencial (mV)	Segundos
0	4	332	42	276	80
18	5	335	43	270	81
20	6	341	44	263	82
23	7	345	45	255	83
34	8	352	46	249	84
42	9	356	47	243	85
49	10	359	48	238	86
56	11	362	49	233	87
59	12	364	50	227	88
64	13	369	51	203	89
68	14	372	52	194	90
74	15	376	53	185	91
83	16	381	54	179	92
95	17	385	55	163	93
103	18	385	56	157	94
114	19	387	57	150	95
125	20	387	58	143	96
129	21	388	59	138	97
137	22	388	60	132	98
146	23	394	61	127	99
158	24	394	62	121	100
167	25	397	63	103	101
174	26	397	64	95	102
185	27	397	65	82	103
193	28	397	66	76	104
214	29	398	67	63	105
226	30	400	68	59	106
234	31	400	69	54	107
242	32	400	70	47	108
256	33	400	71	42	109
262	34	400	72	36	110
271	35	400	73	20	111
275	36	340	74	16	112
281	37	326	75	9	113
288	38	312	76	2	114
295	39	309	77	0	115
307	40	294	78	0	116
314	41	287	79	0	117

Tabla 6.7

La tabla refleja los datos obtenidos en el ensayo, a continuación se representan los datos en una gráfica 6.1 para que sea mas cómodo su interpretación.



Gráfica 6.9

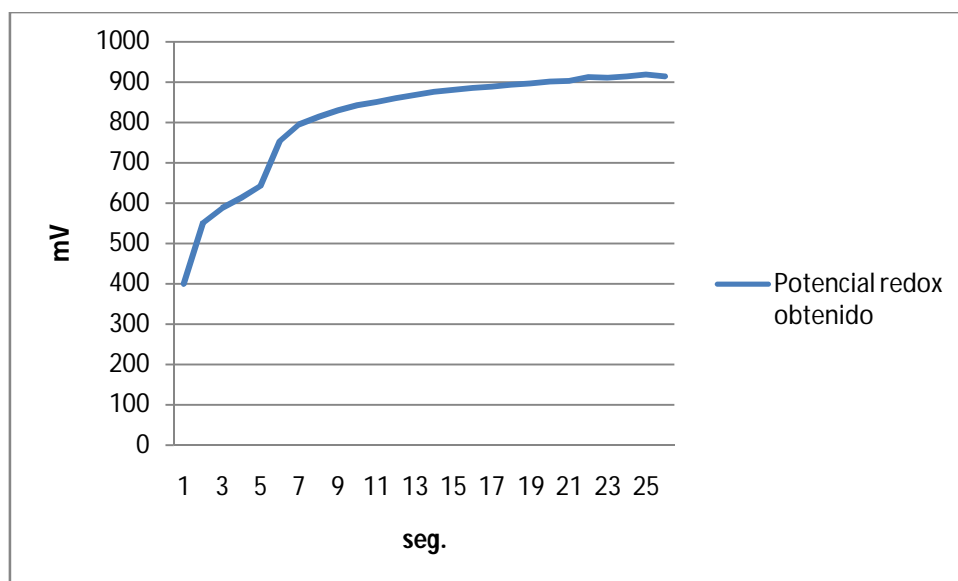
Al igual que para la entrada en escalón la sonda de potencial óxido-reductor para una entrada de impulso rectangular se comporta bien, teniendo en cuenta que el tiempo de respuesta no supera el minuto y medio. Además tanto el incremento como el decremento de la señal obtenida es bastante lineal.

6.3.3 Rampa de potencial óxido-reductor

Seguidamente se reflejarán los datos obtenidos en el estudio dinámico por medio del sistema que simula un flujo continuo de agua desarrollado en el capítulo 5.

Se parte de un potencial de 400mV correspondiente a la disolución 0,01N de sulfato ferroso amónico, se varía dicho potencial por medio de una disolución de dicromato potásico de concentración 0,1N con un valor de potencial óxido-reductor igual a 900mV.

La gráfica siguiente muestra los valores de Potencial óxido-reductor obtenidos frente al tiempo durante la prueba:



Gráfica 6.10

En resumen la sonda de potencial óxido-reductor si cumple los requisitos establecidos por la EIA en términos de errores.

6.4 Resultados de estudio dinámico

En general el tiempo de respuesta de las diferentes sondas estudiadas es aceptable para las aplicaciones a las que va a ser destinado el multiparamétrico. En cambio un defecto importante tanto para la sonda de pH, como para la sonda de conductividad es que los valores obtenidos tanto en el estudio discreto como en continuo con sus diferentes tipos de entradas, demuestran que se produce un error de medida que no es despreciable. Dicho esto cabe destacar que para cada tipo de prueba, las diferentes sondas han sido calibradas con los procedimientos estipulados por el fabricante. Por ello y a la vista de los resultados obtenidos se detecta que los errores encontrados en la medida son defectos del sistema de medida que dependiendo de las aplicaciones a las que esté destinada serán de mayor o menor importancia.

Para el caso de las aplicaciones a las que va a ser destinado el sistema en el aspecto de la veracidad de los datos obtenidos por el sistema, en el caso de la sonda de pH y de conductividad habría que tener cuidado con los valores obtenidos.

En el caso de medidas discretas se deberán realizar varias medidas de un mismo parámetro para cerciorarse de que el valor obtenido es el correcto y así detectar posibles errores que en otro momento no fueron tenidos en cuenta.

En el caso de medidas dinámicas, los errores se acentúan algo más y ya que el sistema puede ser provisto de varias sondas del mismo tipo, es recomendable realizar la toma de datos con dos sondas de la misma variable. Con ello se consigue una adquisición de datos en paralelo que permita detectar los errores en la medida.

En el caso de la sonda de potencial óxido-reductor al ser una medida más directa, se producen menos errores en las pruebas a las que ha sido sometidas esto determina que la señal es mucho más veraz que para las otras sondas por ello no es necesario ni en procesos discretos, ni en continuos tomar medidas de ningún tipo.

***Capítulo 7 Caracterización de los
diferentes sensores demandados por la
EIA***

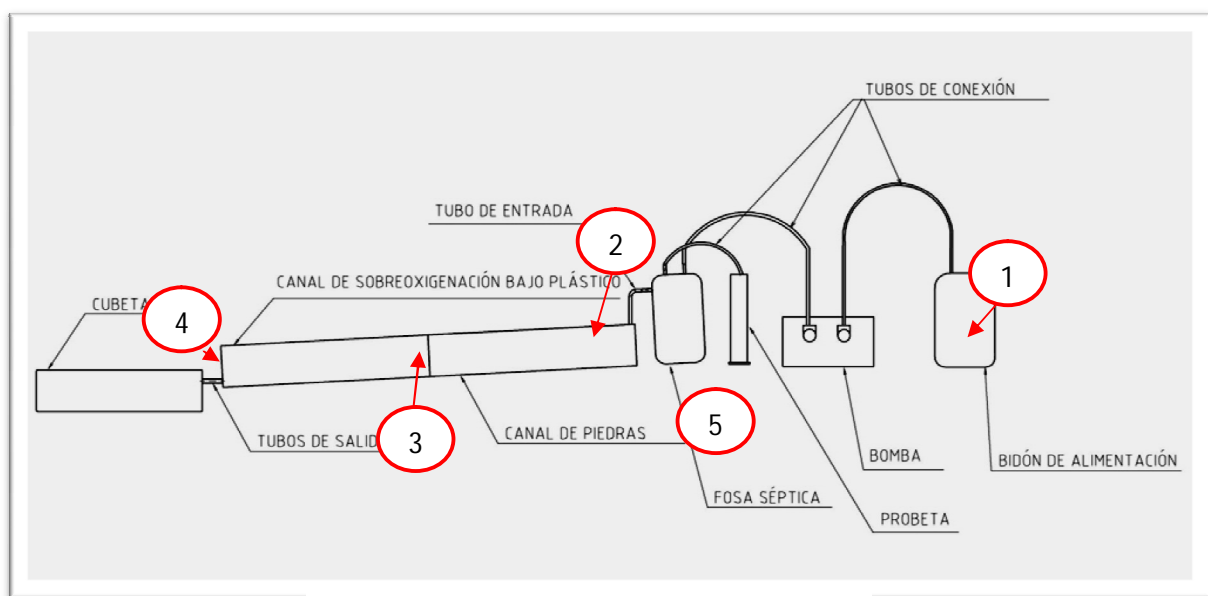
Caracterización de los diferentes sensores demandados por la EIA

7.1 Métodos de muestreo de la EIA

La EIA viene usando sistemas de adquisición de datos desde el pasado año, anterior a esto las pruebas que se realizaban en el departamento se hacían en un laboratorio con unas características climatológicas muy determinadas. El estudio de sistemas de depuración de aguas residuales en el exterior hizo necesario el uso de sistemas acondicionados para esos fines. Por ello que adquirieron dos multiparamétricos de la marca Eutech modelo PCD 6500, ya descritos en el capítulo 1. Su puesta en marcha fue bastante compleja y las características de los mismos no cumplían con lo demandado por el departamento.

En el último estudio que se ha realizado, el tratamiento de los datos obtenidos por el multiparamétrico ha sido muy engorroso ya que como se explicó en el capítulo 1, los datos había que manipularlos antes de exportarlo a Excel, además algunas de las sondas sufrieron daños debidos a las condiciones meteorológicas en las que trabajaban. La metodología de muestreo realizado por la EIA permite concretar cuales deben ser las características de los sistemas a usar para evitar problemas. A continuación se describe dicha metodología, realizada a un proyecto en concreto.

Monitoreo en continuo de los parámetros físico-químicos del canal, se procede a la indicación de los puntos de muestreo dentro del mismo.



Esta imagen representa una forma esquemática del canal abierto de saneamiento. Los puntos en enmarcados en rojo indican las zonas de muestreo en las distintas fases del canal que se describen a continuación:

- Punto 1: alimentación al canal o entrada a la fosa anaerobia.
- Punto 2: salida de la fosa anaerobia y entrada al canal de piedras.
- Punto 3: salida del canal de piedras y entrada al canal de sobreoxigenación bajo plástico.
- Punto 4: salida del canal de sobreoxigenación bajo plástico o proceso Baccou.
- Punto 5: salida de biogás de la fosa anaerobia.

En el **punto 1**, se han realizado dos tipos de procesos de análisis distintos:

- 1) *Caracterización del agua de entrada*: Para ello se ha procedido marcando fecha y hora de la toma de agua en la planta experimental de tratamiento de aguas residuales PECC de Carrión de los Céspedes y fecha y hora de conexión al canal abierto de saneamiento. Se han trasvasado 3 litros para su manipulación en los diversos análisis que con los que caracterizar el agua de alimentación (CF, CT, DQO, DBO₅, SS, ST), cada vez que se ha repuesto el bidón en la entrada al canal.
- 2) *Control de calidad del agua residual* contenida en el bidón de alimentación. Este proceso se realizado tomado del bidón de alimentación conectado a la bomba, un volumen de 100 ml cada/día para conocer, mediante los datos de DQO, la cantidad de materia orgánica que se va degradando por los procesos biológicos cada día antes de entrar al canal. De este modo se minimiza los posibles errores de cálculo en el rendimiento de eliminación de materia orgánica en el proceso.

Punto 2: En este punto se ha procedido para el estudio del proceso de degradación anaerobia de la fosa mediante los dos métodos anteriormente descritos:

- Monitorizando en continuo OD, conductividad, pH, temperatura y potencial redox. La configuración de los puntos de muestreo viene determinada por unos tubos de PVC con accesos en la zona de contacto con el agua para que ésta penetre por los tubos y no se estanque. Las diferentes sondas se introducen en estos tubos, de diámetros escogidos para la correcta colocación de los sensores.

- Analizando los parámetros DQO, DBO₅, CF, CT, SS y ST. Para los análisis se ha muestreado directamente del canal empleando pipetas volumétricas de 50 ml. Hay que distinguir el grado de esterilidad que se ha empleado en la instrumentación para la recolección de las muestras destinadas al estudio de los CF y CT. La frecuencia de muestreo ha venido marcada por las características del análisis. De ese modo, la realización de DQO y DBO₅ a la salida de la fosa se ha realizado diariamente. Para los SS y ST se ha realizado semanalmente, al igual que el muestreo y análisis microbiológicos en este punto.

Punto 3. En este punto, al igual que en el punto 2, el control de la calidad del agua residual tratada se realiza mediante la monitorización en continuo y control analítico de parámetros físico-químicos y microbiológicos.

Punto 4. En este punto, la monitorización en continuo se realiza al igual que en el punto 2 y 3, con la salvedad de la necesidad de una limpieza diaria de los sensores, ya que, la presencia masiva de microalgas produce que éstas se incrusten en las sondas, pudiendo provocar lecturas erróneas si no procede con un correcto mantenimiento.

El muestreo para los análisis físico-químicos y microbiológicos se realiza igualmente con la captación de una cantidad de muestra tomada con pipetas volumétricas de 25 y 50 ml, debidamente esterilizadas para análisis microbiológicos, y filtradas con filtro de 45 µm, con el fin de eliminar las microalgas presentes en esta fase del proceso.

Sin esta filtración de la muestra para la determinación de DQO y DBO₅, la presencia de microalgas daría resultados erróneos, ya que aumentan el contenido en materia orgánica en la oxidación con dicromato potásico.

Punto 5. En este punto tiene como finalidad comprobar la salida de gases procedentes de la degradación anaerobia (CH₄, SH₂) mediante observación directa de las burbujas del biogás atravesando una columna de agua.

Se resalta en sus procedimientos que las sondas deben pasar bastante tiempo, incluso varios días sumergidas el agua, además es muy importante que los datos

obtenidos puedan ser manipulados para la obtención de conclusiones de los trabajos realizados. Es necesario también que el sistema esté provisto de varias sondas del mismo parámetro para hacer medidas en paralelo y que tengan grandes rangos de temperatura de trabajo, sobre todo que soporten bien el calor ya que por ejemplo en Carrión de los céspedes en temporada estival las temperaturas por el día suelen ser muy altas y deteriorar las sondas hasta tal punto de inutilizarlas. Los tiempos de respuesta no son determinantes aquí pero no por ello no hay que ignorarlos, para tiempos de respuesta como los estudiados en este proyecto son más que suficientes para el uso que se les va a dar al sistema. Si es importante tener en cuenta los errores de medida detectados en las pruebas y saber que a la hora de elegir un determinado sistema de adquisición los fabricantes nunca o casi nunca corroboraran dichos errores como es lógico.

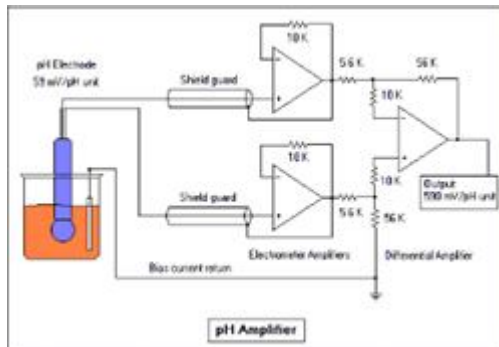
Por otra parte el sistema debe estar protegido frente al agua, ya que muchas de las aplicaciones a las que va a ser destinado están expuestas a posibles lluvias. Este es una característica que hasta ahora no se había tenido en cuenta y que puede ser muy útil para el sistema.

7.2 Posibles implementaciones técnicas

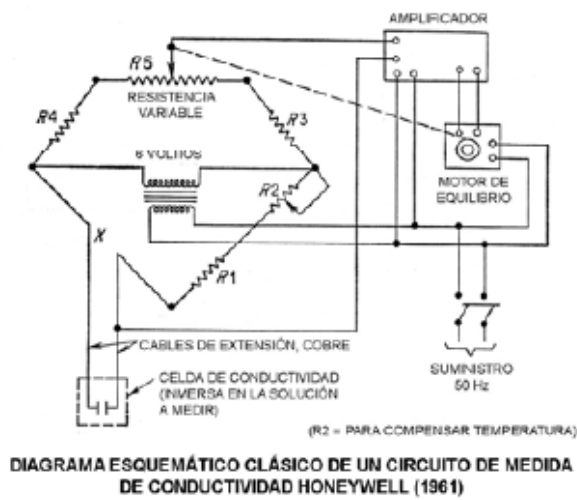
En este capítulo se pretende recoger los diferentes sistemas de adquisición de datos existentes en el mercado que puedan satisfacer las necesidades demandadas por la EIA.

En primer lugar y con el fin de una futura implementación de un técnico, se representaran dos esquemas eléctricos típicos para las sondas de ph y conductividad, con ello se pone de manifiesto que con los conocimientos adecuados es posible construir un sistema de adquisición de datos de forma económica. Además existen en el mercado tarjetas de adquisición de datos que por medio de un pc permiten la lectura de parámetros de forma sencilla y con un coste mucho menos inferior. El problema principal sería el hecho de que al ir conectado a un ordenador su uso en ambientes adversos habría que estudiarlo y buscar soluciones.

Esquema eléctrico de un circuito para la sonda de ph:



Esquema eléctrico de un circuito para la sonda de conductividad:



7.3 Estudio de mercado

Atendiendo a lo ya expuesto en este capítulo, sobre las características que debe tener un sistema de adquisición de datos para la EIA, podemos buscar sistemas a modo de ejemplo, en el mercado para que sirva de guía para posibles adquisiciones.

CONTROLADORES DE VARIABLES QUÍMICAS
FMC-2000/..VQ FMC-4000/..VQ FMC-5000/..VQ



En la medida de pH y otras variables químicas, lo habitual es tomar una señal en campo y transmitirla al controlador. La serie FMC-...VQ puede medir desde uno hasta tres sensores (según versión) y realizar el control en campo, evitando errores de medida y transmisión, a la vez que por comunicación RS-485 Modbus son supervisados desde PC.

- Entrada directa de sensores químicos
- Solucionan en campo el control y la transmisión
- Ejecución IP65 ahorra instalación en campo
- Incluyen control PID Autotuning y Fuzzy Logic
- Buffers programables para una fácil calibración
- Teclado retro-iluminado para fácil utilización
- Display de leds ahorra costos de mantenimiento
- Comunican digitalmente por MODBUS
- Incluyen software de adquisición Proasis DCS-Win
- Excelente relación precio / prestaciones

Gama de Controladores VQ (Variables Químicas)
FMC-2000/.. Regulador básico para 1 sensor sin ATC
• Entrada directa de electrodo
• Corrección Manual de Temperatura
• Corrección Automática por entrada de la temperatura por RS-485
• 1 Salida 4-20 mA para transmisión de medida o control
• 2 Salidas relé para control o límite
FMC-4000/.. Controlador para 1 sensor VQ + ATC
• 2 Entradas para 1 electrodo y ATC por Pt100
• Corrección Automática de Temperatura ATC
• 2 Salidas 4-20 mA para transmisión de medida y/o control
• 2 Salidas relé para control o límite
• Salida de "limpieza" con fijación de lectura (en opción)
FMC-5000/.. Controladores combinables para 3 diferentes sensores (ó 2 + 1 Pt100)
• 3 Entradas para 2 electrodos y ATC por Pt100 (ó 3 sensores)
• Un sólo ATC compensa las otras dos entradas a la vez
• 2 Salidas 4-20 mA para transmisión de medida y/o control
• 3 Salidas relé para control o límite
• Salida de "limpieza" con fijación de lectura
• Supervisor de horas de vida útil del electrodo
• Función de Autocomprobación de Sensor
Este modelo se suministra en tres versiones (poner en VQ el tipo de sensor):
FMC-5000/VQ/VQ/VQ control Multivariable de hasta 3 sensores
• Las 3 entradas pueden ser de cualquier tipo, permitiendo operar varios lazos de control independientes en un sólo instrumento.
FMC-5000/DF..VQ control Diferencial entre 2 sensores
• Las 2 entradas de sensores químicos son del mismo tipo (con ajuste de equilibrado). El FMC-5000/DF los compara aritméticamente y controla la diferencia, que a la vez es presentada en el display junto a las lecturas de origen.
FMC-5000/2xVQ control Doble Lazo para 2 sensores del mismo tipo
• Las 2 entradas de sensores químicos son del mismo tipo con el fin de tener dos lazos de control redundantes en un sólo instrumento.

Por ejemplo este tipo de controladores dispone y una amplia gama de modelos, para este caso tiene características muy ventajosas como son:

- Tiene un puerto RS-485, que permite la conexión con un pc, aun no siendo un puerto USB, este nos permite conectarlo con un dispositivo GPS o GSM, para conseguir una conexión inalámbrica a distancia.
- Tiene dos salidas de 4-20 mA que se pueden usar tanto para transmitir señales de medida como para transmitir señales de control, esto permite una mayor operatividad por parte del sistema.
- Usando dos señales del mismo tipo es posible que el sistema compare las dos señales y avise si existen diferencias a tener en cuenta.
- Tiene una comunicación digital por MODBUS, que también es muy práctica.
- Tiene la posibilidad de usar un control PID sobre el sistema, es decir, es posible actuar sobre el mismo, función que es muy interesante en los sistemas de

depuración se aguas, ya que por medio de una actuación puntual sobre el sistema es posible protegerlo sobre posibles picos de ph, ce, redox que puedan desestabilizar el sistema.

- Está provisto de una protección IP-65, esto significa que está protegido del polvo y de agua en niveles importantes, y con esto sería posible localizar el sistema en ambientes bastante ostiles.

Otro sistema motivo de análisis puede ser el siguiente:

[* back to overview](#)

K 100 (W) PR

Measuring and control instrument for pH or ORP

- Easy and safe operation by plain text menu guidance
- Safety by password function

description

The K 100 (W) PR is a sophisticated single-channel instrument for measuring and control the pH-value or the ORP. Additionally temperature measurement of the measuring media is possible. The instrument is available in a panel mounted housing (K100 PR) and in a wall mounted housing (K 100 W PR).

applications

- Waste Water Treatment
- Cooling And Boiler Feed Water
- Process Water
- Drinking Water / Beverages



Como se puede observar este sistema es para colocarlo en una pared, es decir es empotrable, su configuración es sencilla y no es fija sino que tiene diversas aplicaciones. Seguidamente se reflejan las características del mismo:

Caracterización de los diferentes sensores demandados por la EIA

particular characteristics

- 2 limit values with delay, assigned to alarm relay
- 2 separate PI-controller
- Dosage check
- Semi-automatic two point-calibration for pH
- Slope and zero point monitoring for pH
- Automatic or manual pH-value compensation for pH
- Background illuminated two-line LC-Display for measured value and temperature
- Serial interface RS 485 optional
- Scalable, galvanically isolated 0/4 .. 20 mA output
- Display of relay and error messages

technical data

measuring parameter

pH-value	-2,00 .. 16,00 pH
ORP	-1500 .. +1500 mV

input characteristics

accuracy	+/- 0,01 pH, +/- 1 mV
temperature measuring range	-30 .. +140 °C

output characteristics

output signal	0/4 .. 20 mA (scalable, galvanically isolated)
load	max. 500 Ohm
registration range	free scalable within the measuring range
voltage output	+/- 6 VDC für Impedanzwandler
serial interface	RS 485 (optional)
Baud rate	9600
data format	8 bit

power supply

line voltage	24 / 117 / 230 VAC, +6/-10%, 40 .. 60 Hz
power consumption	10 VA

ambient conditions

ambient temperature	Operation 0 .. +50 °C, storage -20 .. +65°C
relative humidity	max. 90% rH at 40°C (non-condensing)
protection class	panel mounted housing IP 54 (front), IP 30 (housing)
	wall mounted housing IP 65

mechanical construction - panel mounted housing

material	Noryl
dimensions	90x90x116 mm
installation dimensions	92x92x140 mm
weight	0.96 kg
connection	push-screw terminals

controller

control response	on/off controller (adjustable hysteresis) P/PI controller (pulse-pause, pulse-frequency or continuous output)
relays	3 relays, each with a potential-free NO contact, max. 250V, 6 A, 550 VA
onset delay	0 .. 200 sec till controller active
digital input	Controller stop via external contact

certificates and approvals

CE-symbol	Declaration of conformity: The product meets the requirements of the harmonized European standards. It thus complies with the legal requirements of the EC directives. The manufacturer confirms successful testing of the product by affixing the CE symbol.
-----------	--

mechanical construction - wall mounted housing

material	ABS
dimensions	165x165x85 mm
weight	1.25 kg
connection	Spring-loaded terminals

- En primer lugar y teniendo en cuenta que este proyecto a estudiado entre otras cosas las características de las señales del multiparamétrico de Eutech y viendo las características del mismo, como se dijo con anterioridad, hay que señalar que según las características de este sistema el error que puede cometer este sistema en la medida de pH, no superará mas de 0,01 grados de pH. Bajo el punto de vista técnico y con la experiencia obtenida de este estudio, sería de interés que el distribuidor del sistema permitiera un período de tiempo para cuantificar por nuestra cuenta si esos márgenes son o no correctos.
- Otra característica de este sistema que ya a sido cuantificada en el sistema anterior es el hecho de incorporar, en este caso un control PD con salidas que permite en un momento determinado actuar sobre el sistema y eliminar problemas derivados de un pico o una subida alta de uno de los parámetros a controlar.
- Como en el ejemplo anterior, este sistema también dispone de protección IP-65 que como se dijo antes nos garantiza una protección alta sobre partículas de polvo y sobre agua.
- El único problema que se detecta en las características es que el rango de temperaturas de funcionamiento llega a los 50°C, y esto podría suponer un problema en determinados meses del año en estas latitudes. Ya que en algunos momentos la temperatura en ambientes abiertos puede superar ese margen y puede que se produzcan errores en el sistema. Este defecto se podría subsanar por medio de una correcta refrigeración del sistema.

Otro ejemplo de sistema de adquisición de datos es el siguiente:

Medidor de pH ó Redox Modelo PR75

527.28EUR

Es un instrumento tecnológicamente avanzado que permite efectuar cuidadosos ajustes del pH o del Redox en aplicaciones industriales.

SIMPLE DE CONFIGURAR

Gracias a los microinterruptores funcionales es simple de configurar y no es necesario entrar en programación.

FÁCIL DE CALIBRAR

La calibración nunca fue tan fácil: el instrumento logra reconocer las soluciones tampón, efectuar automáticamente la calibración, suspendiendo la dosificación e indicando el estado de eficiencia del electrodo.

ALIMENTACIÓN UNIVERSAL

El instrumento se puede alimentar lo mismo con tensión entre 22 y 265 Vac.

GRADO DE PROTECCIÓN IP 65

La serie PR-75 está protegida por la caja de polipropileno, que protege la parte electrónica, el cableado e incluso el BNC para conectar el electrodo.

SEPARACIÓN GALVÁNICA DE LA SALIDA 4...20 mA La solución ideal para conectarse con una grabadora o con un sistema de adquisición de datos, sin ninguna interferencia.



Haga Click para agrandar



Datos Técnicos:

Modelo PR75-T (Temporizado):

DIMENSIONES: 144* 144 * 103 mm.
PLANTILLA DE FIJACIÓN: 136 * 136 mm + 2 mm. max.
MEDIDAS INTERNAS: 90 mm.
GRADO DE PROTECCIÓN: IP65.
SECCIÓN DE LOS BORNES: 4mm² , o diametro 2,4 mm.
ALIMENTACIÓN: Universal 22...265V 50-60 Hz.
CONSUMO: 3W.
SET POINTS: 2 Relés Configurables.
CARGA MÁXIMA SOBRE EL RELÉ: 3A 250Vac.
SALIDA EN FRECUENCIA: OPEN- COLLECTOR 80V-50 mA MAX.
TEMPERATURA DE TRABAJO: 0...50 °C.
TEMPERATURA DE ALMACENAJE: -10...+70 °C.
ESCALA DE MEDIDA DEL pH: 0...14,00 / 0...14,0.
PRECISIÓN DE LA MEDIDA: ± 0,01 pH.
ESCALA DE MEDIDA DEL REDOX: -999...+999 mV.
PRECISIÓN DE LA MEDIDA: ± 1 mV.
IMPEDANCIA DE ENTRADA: > 1013 ohm.
VELOCIDAD DE ADQUISICIÓN: 3 segundos.
CALIBRACIÓN OFFSET pH: -2...+2 pH.
CALIBRACIÓN GANANCIA pH: -5...+20 %.
CALIBRACIÓN REDOX: ± 150 mV.
COMPENSACIÓN TEMPERATURA MANUAL / AUTOMÁTICA 0...125 °C.
REGULACIÓN DEL SET POINT: **ON / OFF - TEMPORIZADA.**
HISTÉRESIS DEL SET POINT: 0,1 pH / 10 mV.
SALIDA TRANSMITIDA: 4...20 mA, resolución 200 puntos, carga máxima 400 ohm.

Modelo PR75 P (Proporcional):

DIMENSIONES: 144* 144 * 103 mm.
PLANTILLA DE FIJACIÓN: 136 * 136 mm + 2 mm. max.
MEDIDAS INTERNAS: 90 mm.
GRADO DE PROTECCIÓN: IP65.
SECCIÓN DE LOS BORNES: 4mm² , o diametro 2,4 mm.
ALIMENTACIÓN: Universal 22...265V 50-60 Hz.
CONSUMO: 3W.
SET POINTS: 2 Relés Configurables.
CARGA MÁXIMA SOBRE EL RELÉ: 3A 250Vac.
SALIDA EN FRECUENCIA: OPEN- COLLECTOR 80V-50 mA MAX.
TEMPERATURA DE TRABAJO: 0...50 °C.
TEMPERATURA DE ALMACENAJE: -10...+70 °C.
ESCALA DE MEDIDA DEL pH: 0...14,00 / 0...14,0.
PRECISIÓN DE LA MEDIDA: ± 0,01 pH.
ESCALA DE MEDIDA DEL REDOX: -999...+999 mV.
PRECISIÓN DE LA MEDIDA: ± 1 mV.
IMPEDANCIA DE ENTRADA: > 1013 ohm.
VELOCIDAD DE ADQUISICIÓN: 3 segundos.
CALIBRACIÓN OFFSET pH: -2...+2 pH.
CALIBRACIÓN GANANCIA pH: -5...+20 %.
CALIBRACIÓN REDOX: ± 150 mV.
COMPENSACIÓN TEMPERATURA MANUAL / AUTOMÁTICA 0...125 °C.
REGULACIÓN DEL SET POINT: **ON / OFF - PROPORCIONAL EN CORRIENTE.**
HISTÉRESIS DEL SET POINT: 0,1 pH / 10 mV.
SALIDA TRANSMITIDA: 4...20 mA, resolución 200 puntos, carga máxima 400 ohm.

- Este sistema destaca por su amplio margen de operación, ya que puede trabajar hasta los 70°C, teniendo el mismo margen de error igual a 0,01 grados de pH, y es capaz de compensar la temperatura desde 0 a 125°C lo que significa que para bajas temperaturas no es muy válido, pero para altas temperaturas si es muy útil, que es nuestro rango más utilizado.
- También tiene dos salidas para actuar sobre el sistema con aislamiento galvánico por medio de dos relés, lo que proporciona una mayor seguridad sobre el sistema.

La última característica que puede serle útil para las aplicaciones a las que va a ser aplicables es la posibilidad una alimentación al sistema por medio de baterías y no con alimentación alterna, aún así el ultimo sistema expuesto por ejemplo tiene un consumo de 3w con lo que sería posible diseñar una fuente de alimentación por medio de una batería con la capacidad conveniente y un oscilador de corriente que es un circuito fácil de implementar, teniendo cuidado con los márgenes de tensión y la frecuencia de alimentación del sistema en cuestión.

Después de analizar estos sistemas a la venta en el mercado actual, se prosigue con el análisis de las diferentes sondas demandadas por la EIA.

Para sondas de pH encontramos por ejemplo de la marca Hanna instruments:

Electrodo de pH combinado para Aplicaciones a Alta Presión

- [Características](#)
- [Especificaciones](#)
- [Como Pedir](#)

➔ **Características** [\[arriba\]](#)

Estos electrodos están equipados con una caperuza protectora de plástico PEI que proporciona a estos electrodos una mayor resistencia contra la resistencia mecánica. El sensor está protegido por dos aletas de plástico separadas que permiten una limpieza fácil. Los límites de trabajo son de -5 a 80 °C para la temperatura y hasta 6 bars para la presión.

El montaje en tubería es posible gracias a la rosca externa de los electrodos de 1/2". El otro extremo de la sonda tiene una rosca de 3/4" que permite el control en un tubo para una posible instalación en inmersión.

➔ **Especificaciones** [\[arriba\]](#)

	HI 1001
Unión	Doble
Tipo	PTFE
Electrolito	Polímero
Sensor Tierra	-
Amplificación	-
Temp. Rango	-5/+80 °C
Presión Max	6 Bar /87 PSI
Conector	BNC
Cable	3 m



Como características a destacar son:

- Su temperatura de funcionamiento es de -5 a 80°C y hasta 6 bars de presión, que puede ser interesante a la hora de fijarla en una tubería, ya que la sonda dispone de una rosca diseñada para este fin.
- El cable de conexión es de 3m lo que en un principio no reviste importancia pero al ser un conector BNC, teniendo en cuenta las propiedades de la sonda, se le podría alargar la conexión.

La siguiente sonda también tiene una particularidad de interés, lleva incorporada una pila en la misma sonda que por medio de una tecnología novedosa realiza la

compensación de temperatura más óptima, lo que prologa la vida útil además de la sonda.

Electrodos de Procesos AmpHel (pH y ORP)

- [Características](#)
- [Especificaciones](#)
- [Como Pedir](#)

➔ **Características** [\[arriba\]](#)

Amplificador incorporado y batería reemplazable. El sistema de Hanna AmpHel abre una brecha en la tecnología de electrodos de pH/ORP. La nueva línea de electrodos para aguas residuales de Hanna destaca una batería reemplazable sobre el cable de electrodo para asegurar una duración de la pila mucho más larga en aplicaciones de altas temperaturas donde una batería regular incorporada en la empuñadura puede fallar rápidamente.

Lazo a tierra mediante matching pin. La fluctuación de lecturas y la corta vida de los electrodos de procesos puede ser relacionada con un problema de lazo de corriente a tierra. La solución a este problema es el electrodo de Hanna con lazo a tierra mediante matching pin. Los controladores Hanna PH500, PH502, MV600, MV602 ahora vienen con una entrada diferencial para prevenir tales problemas. Con esta nueva propiedad, la vida de los electrodos aumentará enormemente y los costos y tiempos serán eliminados.

➔ **Especificaciones** [\[arriba\]](#)



	pH (Usos generales)		
	HI 6100405	HI 6101405	HI 1006-2005
Rango	0-13	0-13	0-13
Juntura	Doble	Doble	Doble
Tipo	PTFE®	PTFE®	PTFE®
Electrolito	Ag/AgCl	Ag/AgCl	Ag/AgCl
M. Pin	SI	SI	SI
ATC	-	Pt100	-
AmpHel	SI	SI	-
T° Rango	-5 a 90°C	-5 a 90°C	-5 a 90°C
Presión	6 bars (87 PSI)	6 bars (87 PSI)	6 bars (87 PSI)
Conector	BNC	BNC+ Lead	BNC
Cable	5 m	5 m	5 m

	pH (T° Alta)		
	HI 6100805	HI 6101805	HI 1006-3005
Rango	0-14	0-14	0-14
Juntura	Doble	Doble	Doble
Tipo	PTFE®	PTFE®	PTFE®
Electrolito	Ag/AgCl	Ag/AgCl	Ag/AgCl
M. Pin	SI	SI	SI
ATC	-	Pt100	-
AmpHel	SI	SI	-
T° Rango	-5 a 100°C	-5 a 100°C	-5 a 100°C
Presión	6 bars (87 PSI)	6 bars (87 PSI)	6 bars (87 PSI)
Conector	BNC	BNC+ Lead	BNC
Cable	5 m	5 m	5 m

Para las sondas de conductividad eléctrica también se ha hecho un estudio de las variedades del mercado y se han destacado las siguientes:

Conductivity Sensor

CF60



CF60 Conductivity Sensor

The CF60 conductivity sensor features a superior six-electrode, four-pole design. The patented arrangement of the four current electrodes around the two potential electrodes results in a reliable and precise measurement of a broad conductivity range from 1 µS/cm up to 850 mS/cm. This unique design also provides greatly reduced sensitivity to sensor fouling and polarization. Designed for ultra-sterility, the six electrodes are sealed in the FDA-compliant PEEK sensor tip without the use of o-rings or epoxies.

A Pt1000 platinum RTD is integrated in the tip of the CF60 sensor providing fast-response temperature compensation. The optek inline sensor body ensures smooth and unrestricted flow of all process fluids with minimized hold-up and hydrostatic shear. This unique design results in rapid sensor response, precise measurements and maximized product recovery and quality.

Manufactured using only certified and traceable materials of the highest quality, the CF60 can be provided with special wetted parts for superior resistance to the acids, bases as well as organic and inorganic solvents. The CF60 sensor is suitable for CIP/SIP applications.

The CF60 sensor is designed to provide precise and reliable control of conductivity directly in the process, at very low volumes. In combination with an optek Converter Control 200, it provides a system that can be used under roughest process conditions.

La principal característica de este sensor es que va acoplado en un conducto lo que proporciona una medida mucho más exacta que los comunes, además tiene otras cualidades como son:

- La lectura de conductividad la realiza con seis células, en vez de con cuatro, luego la señal es mucho más fiable.
- Usa una Pt1000 de platino para la compensación de la temperatura lo que le dá un rango de operación de -5 a 80°C, que es muy útil para las zonas donde va a ser usada.

La última sonda de conductividad que es merecer resaltar es la siguiente:

description

2-electrode conductivity sensor for electrolytic conductivity. Body material PVDF, electrodes material stainless steel (concentric electrodes, material number 1.4571). PVDF male thread 3/4" for mechanical installation and 4-pole angular plug connector for electrical connection. Integrated temperature sensor Pt 100.

technical data

measuring parameter

Conductivity (conductive)	0 .. 2 $\mu\text{S/cm}$
	0 .. 20 $\mu\text{S/cm}$
	0 .. 200 $\mu\text{S/cm}$
	0 .. 2 mS/cm
	0 .. 20 mS/cm

- Integrated Pt 100 temperature sensor
- Little dirt-prone - easy to clean
- 3/4 male thread for installation in tanks or pipes



applications



Cooling And Boiler Feed Water



Drinking Water / Beverages



Process Water

<u>ambient conditions</u>	
max. pressure	16 bar (at 25°C)
temperature	0 .. 135 °C
<u>mechanical construction</u>	
shaft material	PVDF
electrode material	Stainless steel 1.4571
mechanical connection	3/4" male thread
electrical connection	4-pole angular plug
temperature sensor	Pt 100

Las características a resaltar de esta sonda son:

- Su margen de operación, ya que esta fabricada para trabajar de 0 a 135°C
- Es posible definir en que rangos de medida va a trabajar, con lo que se consigue una mayor precisión en la señal, aun siendo una sonda de cuatro células.

Las sondas de potencial óxido-reductor son las que menos errores dan, como se ha podido observar en las pruebas realizadas por ello a modo de ejemplo se expone una para resaltar sus características principales:

Electrodo de ORP Combinado de Oro para Aplicaciones a alta Presión

- [Características](#)
- [Especificaciones](#)
- [Como Pedir](#)

➔ Características [\[arriba\]](#)

Estos electrodos están equipados con una caperuza protectora de plástico PEI que proporciona a estos electrodos una mayor resistencia contra la resistencia mecánica. El sensor está protegido por dos aletas de plástico separadas que permiten una limpieza fácil. Los límites de trabajo son de -5 a 80 °C para la temperatura y hasta 6 bars para la presión.

El montaje en tubería es posible gracias a la rosca externa de los electrodos de 1/2". El otro extremo de la sonda tiene una rosca de 3/4" que permite el control en un tubo para una posible instalación en inmersión.



➔ Especificaciones [\[arriba\]](#)

	HI 2012/3	HI 2012/5	HI 2013/3	HI 2013/5	HI 2005/5
Unión	Doble				
Tipo	PTFE				
Electrolito	Polímero				
Sensor Tierra	no	no	sí	sí	sí
Amplificador	no	no	no	no	sí**
Temp. Rango	-5/+80 °C				
Presión Max	6 Bar /87 PSI				
Conector	BNC	BNC	BNC*	BNC*	Terminal U*
Cable	3 m	5 m	3 m	5 m	5 m

(*)Además del conector de electrodo, cuenta con una conexión en U para el sensor de tierra. (**)Precisa alimentación de corriente externa

En este tipo de sondas como en las otras dos estudiadas es importante observar el rango de temperaturas de funcionamiento. También dispone de distintas longitudes de cable de conexión que aunque no es importante por ser un conector BNC puede ser de utilidad.

Con todo lo expuesto en este capítulo se han querido resaltar cualidades de los diferentes sistemas de adquisición de datos existentes en el mercado y las diferentes sondas que por sus características son de interés para la EIA. En el capítulo siguiente se expresarán los factores, características o cualidades que han de tener los diferentes sistemas de adquisición de datos para satisfacer las necesidades presentes en la EIA.

7.4 Características complementarias del sistema a adquirir

Para evaluar los diferentes sistemas y sus sondas se han de seguir los siguientes pasos:

En primer lugar se han de cumplir las siguientes características del sistema.

- El margen de operación tanto del sistema como de los sensores debe permitir operar a temperaturas propias de esta zona, como son márgenes entre 0 y 60°C.
- Sería útil poder realizar medidas de gases ya que en el capítulo 6 se observa la necesidad de controlar el volumen de gases expulsado por el sistema.
- Cumplir las características de protección IP-65, para usos en exteriores o en ambientes hostiles.
- Poseer algún tipo de conexión que permita la comunicación a distancia entre el sistema y un ordenador.
- Contener un sistema de control de variables, tipo PID que permita actuar sobre el sistema en caso de sobrecarga.
- Es necesario, por medio del sistema de pruebas diseñado en este proyecto, poder verificar los errores cometidos el la toma de medidas, luego es necesario un período de prueba que permita dicha evaluación.
- Debe tener una base de datos que permita por un software tratar los datos en diferentes programas y de no existir dicho software debe tener la opción de ser implementado por terceras personas.
- Tener varias entradas que permitan realizar una medida en paralelo, tanto para localizar errores, como para tomar la medida de una misma señal en distintas zonas al mismo tiempo.
- Puede ser de importancia el hecho de disponer de alimentación por baterías, ya que en determinadas zonas se puede hacer imprescindibles.

- Los rangos de medida de los diferentes sensores deben adecuarse a los del sistema motivo de estudio, o de forma más general a los estipulados en este proyecto que son los facilitados por la EIA.
- Han de ser sistemas destinados a la obtención de datos en continuo, ya que los sistemas estudiados por la EIA necesitan de un seguimiento continuo de las variables del mismo.

Todo esto es posible recogerlo en una plantilla para poder realizar una evaluación del sistema adecuada a las exigencias de la EIA.

BIBLIOGRAFÍA

- Gustavo Gili, S.A, Introducción al control automático, 6ª edición.
- Robert C.Weyrick, 1977, Introducción al control automático.
- Thomson, 2005, Instrumentación Electrónica.
- Paraninfo. Juan Carlos Álvarez Antón; Juan Carlos Campo Rodríguez; Francisco Javier Ferrero Martín; Gustavo Jacinto Grillo Ortega; Miguel Ángel Pérez García. Instrumentación Electrónica.
- Marcombo, S.A. Mandado Pérez, Enrique. Instrumentación Electrónica.
- Gode Lanao, Lorenzo. 1996. Electrodo selectivos en el análisis de aguas.
- Revista "InTech México Automatización, Enero-Marzo 2006.
- Alfaomega, Pallas, Ramon. 1ª edición. Sensores y Acondicionadores de señal.
- Marcombo, S.A. Bolton, William. 10ª edición. Mediciones y pruebas eléctrica y electrónicas.
- Eunsa. Ediciones U. Navarra, S.A. 2001. Pruebas objetivas de circuitos eléctricos.
- McGraw-Hill, Higson, Seamus. 2007. 1ª edición. Química Analítica.
- Thomson Paraninfo, S.A. 2005. 1ª edición. Problemas resueltos de química analítica.
- Grupo TAR. Máster en Ingeniería del Agua. Universidad de Sevilla.
<http://www.grupotar.org/>
- Hernández Muñoz, A., 1996. *Depuración de Aguas Residuales*. Servicios de publicaciones de la escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid. 3ª Edición. Paraninfo. Madrid.
- Degremont. Manual técnico del agua. (1979). 4ª Edición, Grafo S.A. Bilbao.
- Aenor. Noblejas Castellanos, Miguel. 2ª edición. 2009. Gestión por procesos en el laboratorio según la norma UNE-EN ISO 2001.
- Marcombo, S.A. Creus, Antoni. 2009. 1ª edición. Instrumentos industriales: Su ajuste y calibración.
- APHA-AWW-WOCF, 1992, *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*, 17ª edición.

Anexo I Manual de uso del PCD 6500

Manual de uso del PCD 6500

1.Encendido y apagado:	1055
2.Conexiones:	1055
3.Calibración :	1088
4.Toma de Medidas.	11111
5.Instalación del software en el PC.....	11111
6. Comunicación con el multiparamétrico.....	1169
7. Aplicaciones	11921

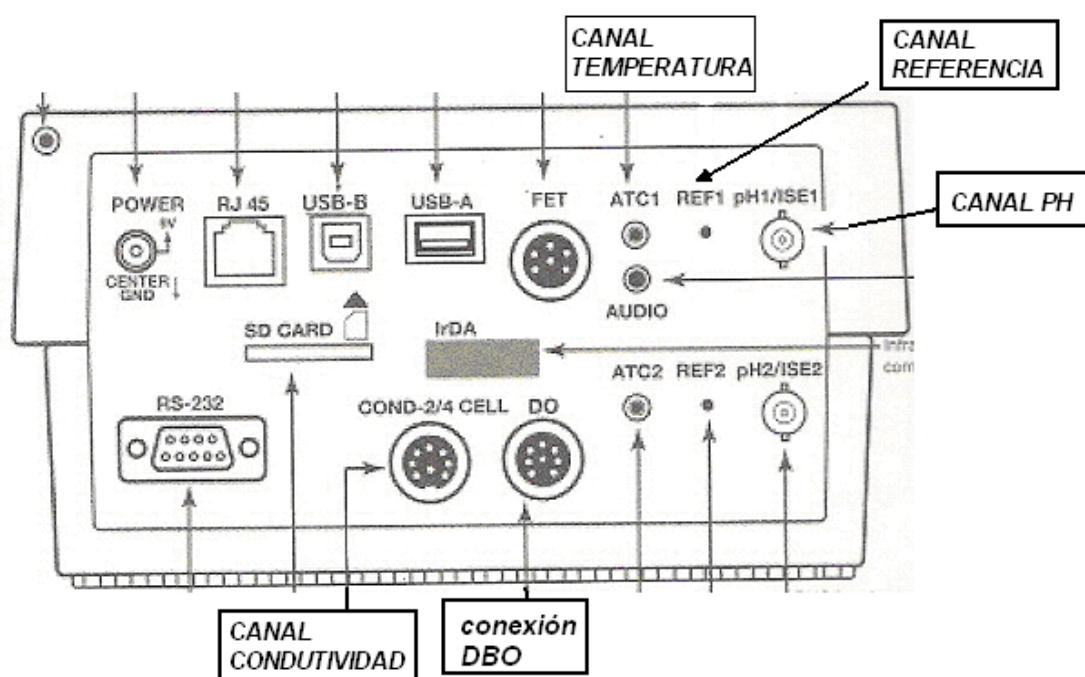
1.Encendido y apagado:

Conectar la fuente de alimentación en la entrada de power detrás del aparato.

Apretar el botón de encendido durante 5 segundos hasta que suene una alarma.

Para el apagado es necesario cerrar todas las aplicaciones. Después se despliega la barra de inicio, oculta en la parte inferior de la pantalla, se pulsa inicio y después apagar (igual que con un Windows).

2.Conexiones:



1 Medidor PH

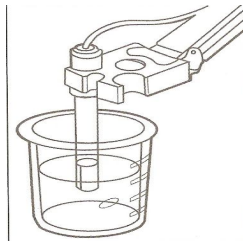
-Cuidadosamente retirar la cubierta de plástico del medidor.

-Conectar el medidor en la entrada PH1 o PH2

-Conectar la sonda ATC en el canal ATC1 o ATC2

-Si la sonda de PH no incorpora una referencia es necesario conectarle una en el canal REF (las existentes en laboratorio no la requieren).

NOTA: Si se conecta la sonda de PH en el canal 1 la sonda ATC y REF también ha de estar en su canal 1. (ejemplo: PH1 , ATC1 y REF1)



2 Medidor Conductividad

-Retirar la cobertura

-Antes de usar mojar durante 5 o 10 minutos en agua destilada

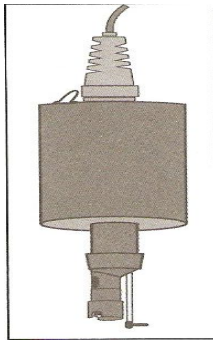
-Conectar la sonda en el canal cond 2/4 cell

* No hay que conectar la sonda ATC como referencia porque la propia sonda la incluye.

3 Medidor de DBO

-Retirar la cobertura.

-Conectar en el canal DO.

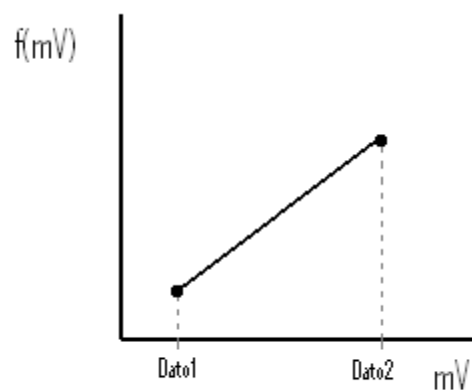


3.Calibración :

Para calibrar los distintos canales de recogida de datos, primero hay que conocer como se realizan las medidas:

La sonda que se conecte al multiparamétrico nos proporciona , a su salida , una diferencia de potencial que el programa interpreta como parámetro de entrada en una función . Como parámetro de salida obtenemos el dato que buscamos, ya sea Ph, conductividad , DBO..., etc.

El programa del multiparamétrico necesita relacionar como mínimo dos valores, uno para el máximo y otro para el mínimo, para poder trazar una recta para todos los valores intermedios.



Gráfica 1

Este modelo de multiparamétrico cuenta con cuatro tipos de calibración , USA, EURO, NIST, CUSTOM. Los valores que se usen como $f(Dato1)$ y $f(Dato2)$ es lo que diferencia a esos diferentes estándares. En nuestro caso usaremos el estándar USA..

Para seleccionar dicho estándar:

- Seleccione el icono del canal a calibrar.(Zona superior derecha del display).
- Seleccione Setup

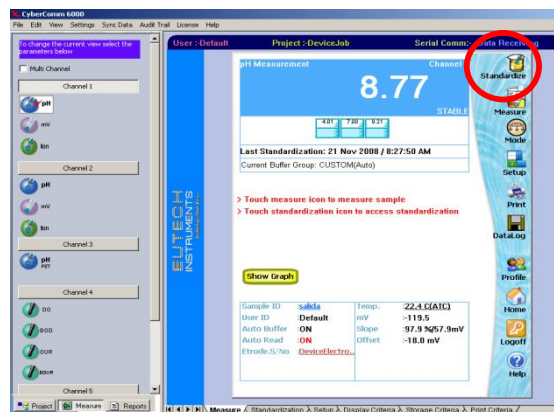
- Buffer Group >> USA
Esto hay que seleccionarlo en cada uno de los canales que vayamos a utilizar.

1 Sonda de PH:

En primer lugar se necesitan dos botes que contienen soluciones con valores determinados , uno de un **Ph 4.01**(tapón rojo) y otro de **Ph 7.00** (tapón verde) que se usaran para fijar esos dos valores de referencia .

Seleccionamos el canal del PH que estemos usando (PH1 O PH2). Después seleccionamos multichannel, en el panel que aparecerá seleccionamos el canal a calibrar.

Clickea en el icono de Standardice.(Nos aparecerán unos iconos en forma de recipientes de distintos colores con unos números, dos de ellos son los correspondientes a los frascos antes indicados.



Cogemos el frasco de **Ph 4.01** e introducimos la sonda en él, fijándonos en la parte superior del display hasta que aparezca la palabra **ESTABLE**.

Entonces pulsaremos el icono **Confirm** (Parte superior derecha).

Nota: Con esto ya se ha determinado un punto de la gráfica 1.

Limpiar con agua destilada la sonda.

Seguidamente se coge el frasco de **Ph 7.00** (tapón verde) y se repite el mismo procedimiento .

Con esto ya se han definido los dos valores máximo y mínimo, y con ello todos los intermedios, y ya esta lista la sonda para la medición

2 DO

Necesitamos un bote de agua destilada o aire que corresponde a una DO del 100%

seleccionamos el canal 4 y DO

Seleccionamos multichanel, y a continuación seleccionamos canal4.

Seleccionar Standardice .

Introducimos la sonda en el agua destilada o al aire y cambiamos de posición el interruptor que se encuentra en la misma sonda.

Esperamos que se estabilice la medida , se indicará en el mismo cuadro la palabra Stable. A continuación pulsamos confirm.

3 CONDUCTIVIDAD

En primer lugar se necesitan dos botes que contienen soluciones con valores determinados , uno de **1413 uS/cm** (tapón amarillo) y otro de **12880 uS/cm** (tapón blanco) que se usaran para fijar esos dos valores de referencia .

Después seleccionamos multichanel, en el panel que aparecerá seleccionamos el canal a calibrar.

Cliquea en el icono de Standardice.(Nos aparecerán unos iconos en forma de recipientes de distintos colores con unos números, dos de ellos son los correspondientes a los frascos antes indicados.

Cogemos el frasco de 1413 uS/cm e introducimos la sonda en él, fijándonos en la parte superior del display hasta que aparezca la palabra **ESTABLE**

Entonces pulsaremos el icono Confirm (Parte superior derecha).

Seguidamente se coge el frasco de 12880 uS/cm (tapón blanco) y se repite el mismo procedimiento.

4.Toma de Medidas.

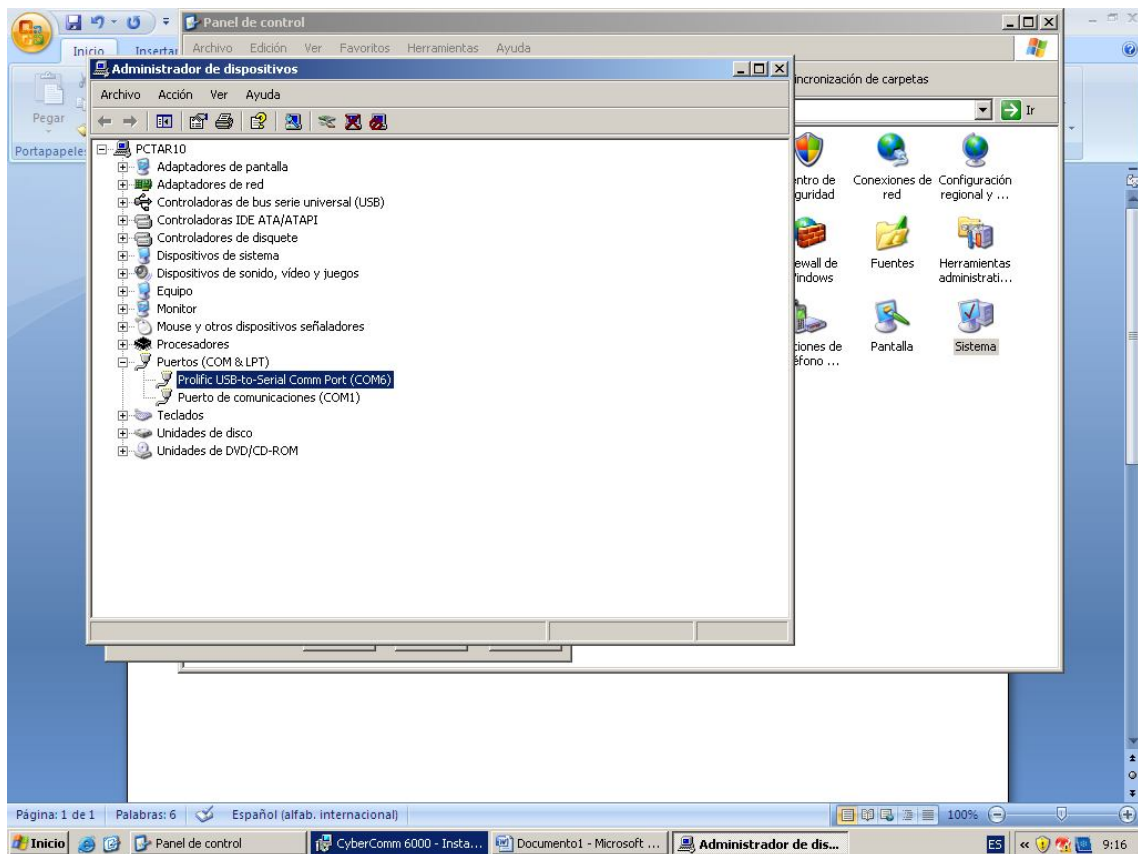
En la toma de medidas es necesario comprender que cada sonda puede obtener distintos resultados. por ejemplo; la sonda BO puede obtener BDO (demanda biológica de oxígeno), DO (demanda de oxígeno), OUR(velocidad de consumo de oxígeno) o SOUR(actividad biológica referida a MLVSS).

5.Instalación del software en el PC

Proceso seguido paso a paso:

- Instalamos el cable USB-RS232 en el ordenador, verificando su correcto funcionamiento.
- Para ello pulsamos Inicio → Panel de Control → Sistema → Hardware
 - Administrador de Dispositivos.
- Aparecerá la siguiente pantalla y en puertos (COM & LPT) ,Profilic USB- to-Serial Comm Port (COM x).

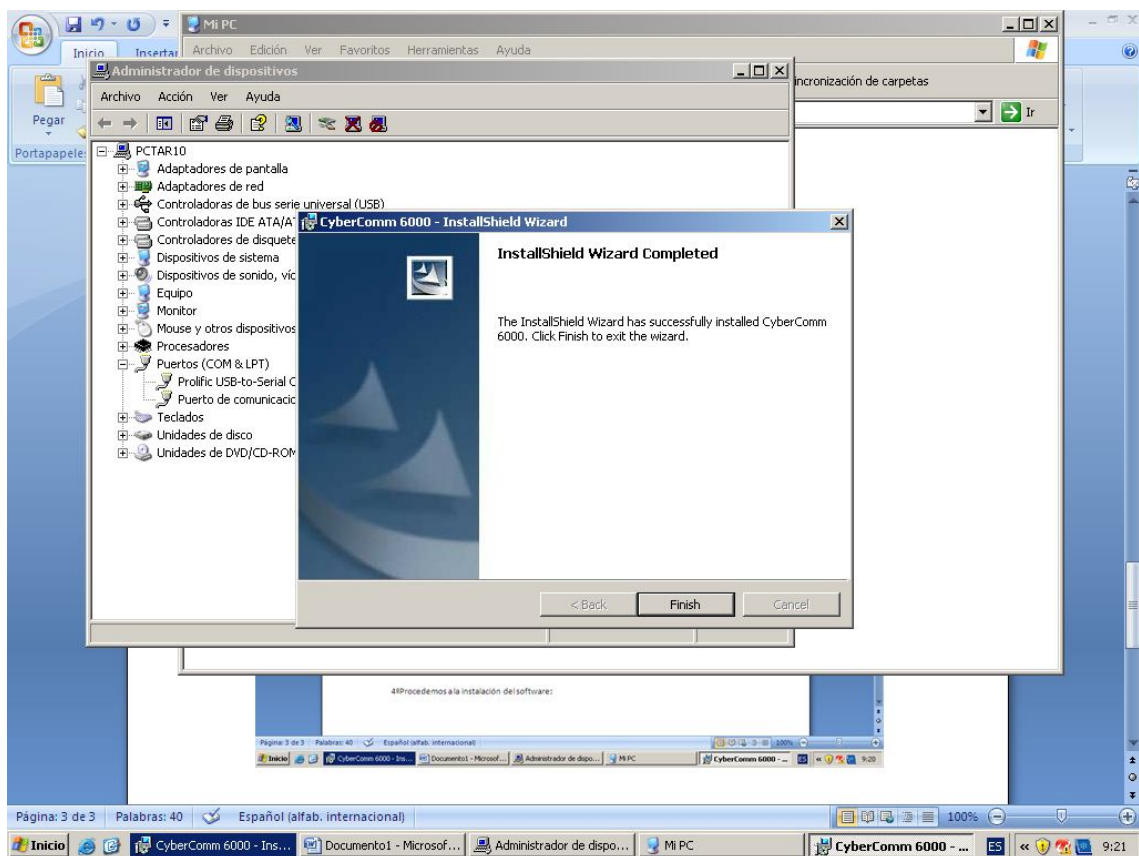
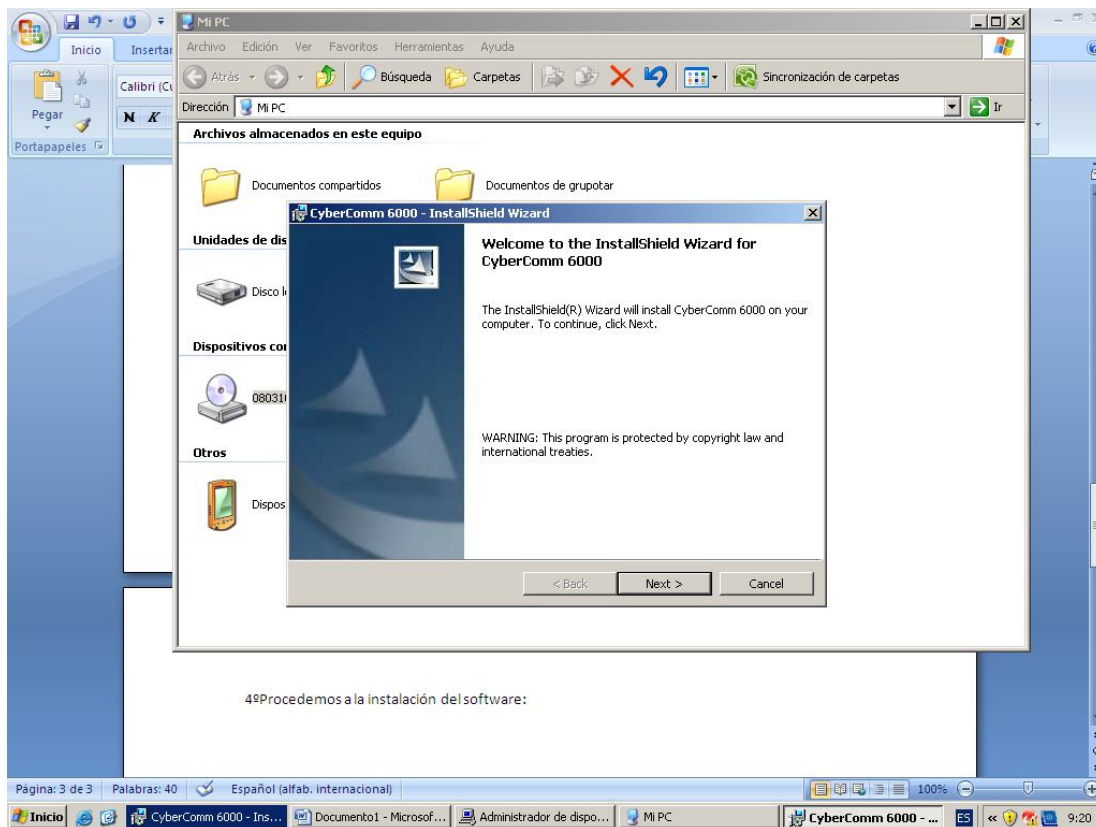
Hay que apuntar el número del puerto COM en que está instalado (COM x).



- Procedemos a la instalación del software del PCD 6500 :

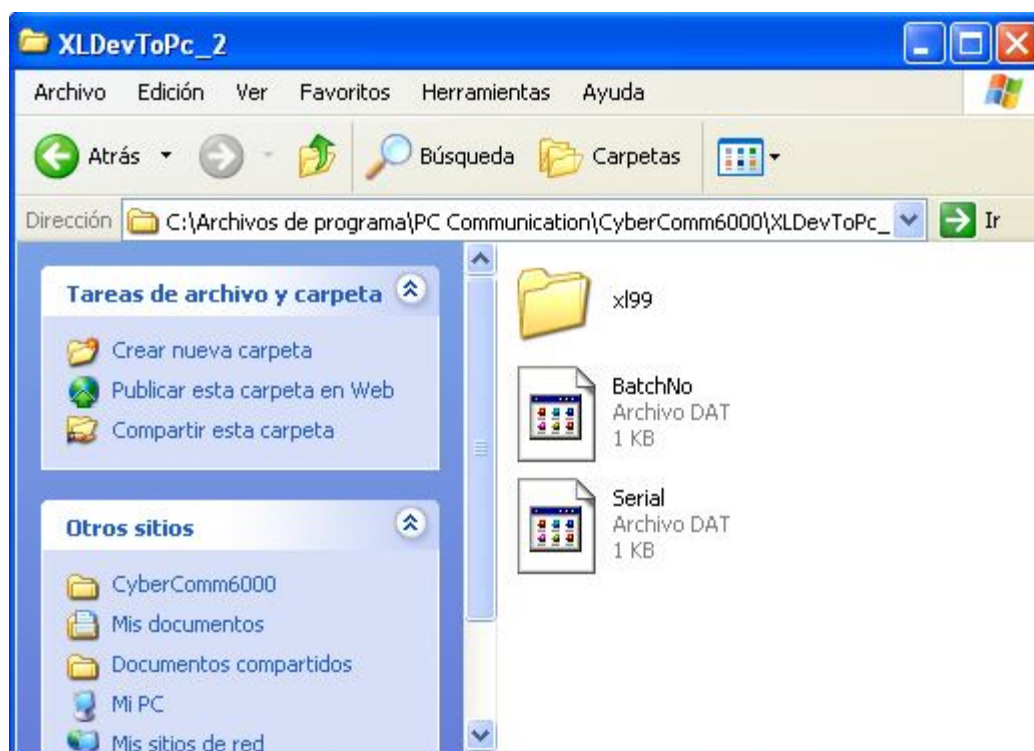
IMPORTANTE: En el laboratorio existen dos multiparamétricos, cada uno de ellos tiene un número de serie asociado. Para la correcta instalación del software es necesario que el número de serie del CD de instalación coincida con el número de serie de multiparamétrico que vayamos a comunicar.

- Seguidamente insertamos el CD y comenzamos con la instalación:

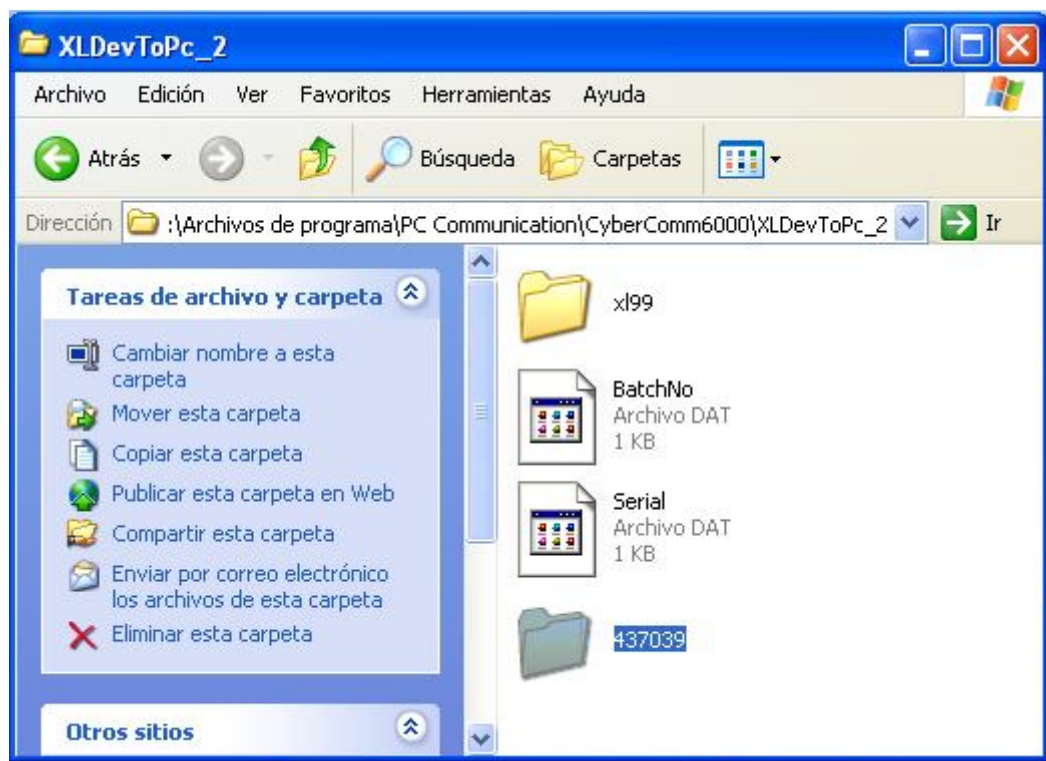


Una vez instalado el software deberemos realizar los siguientes pasos:

1. En Mi PC → Archivos de Programa → PC Communications → CyberComm6000 → XLDevToPc_2.
2. En esa carpeta hay otra carpeta que se llama xl99



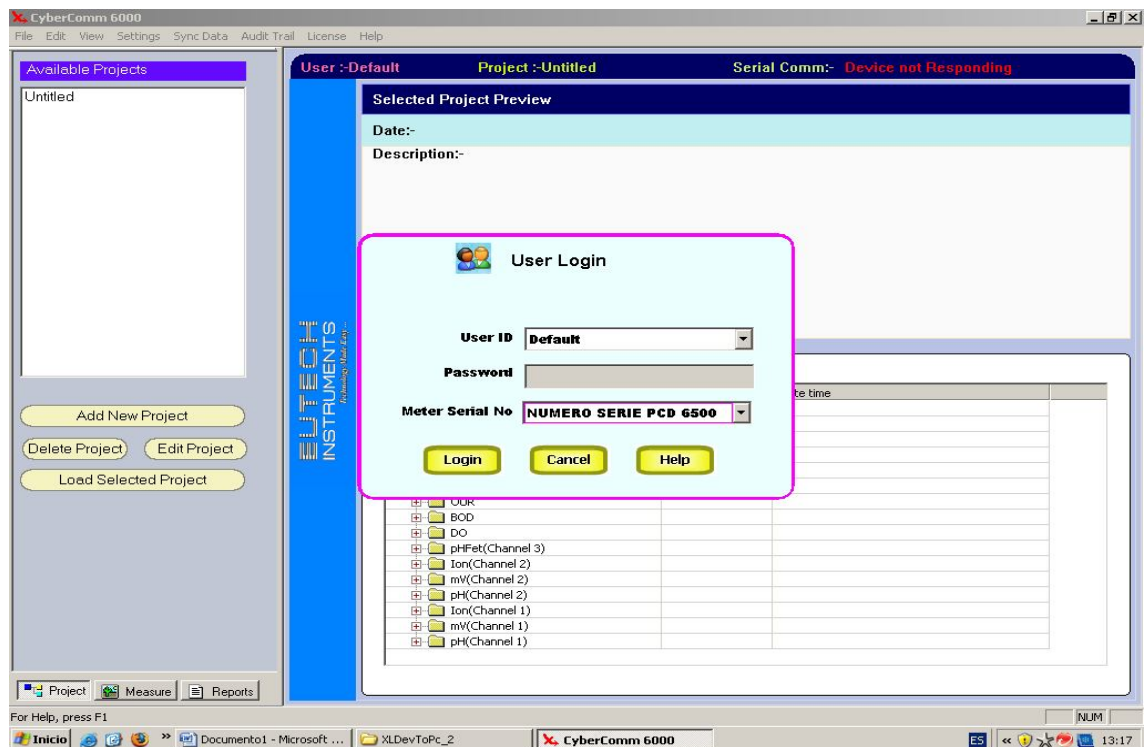
En esta carpeta deberemos copiar la carpeta xl99 , y la pegamos de nuevo en esta misma carpeta, pero a la nueva le cambiamos el nombre y le ponemos el número de serie del CD de instalación:



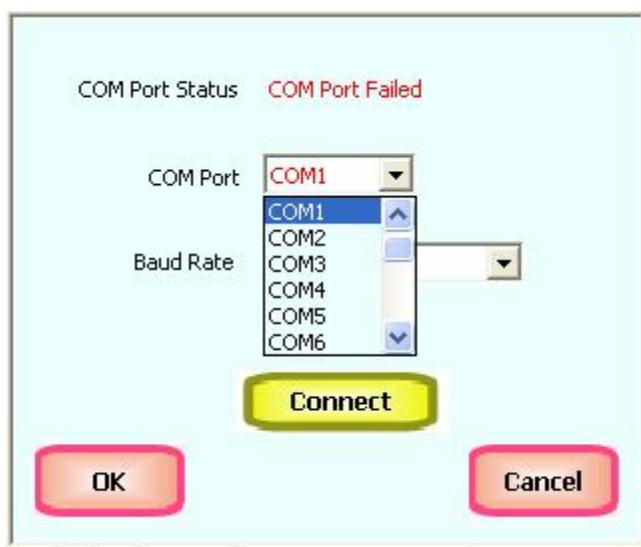
Con esto se ha instalado correctamente el programa.

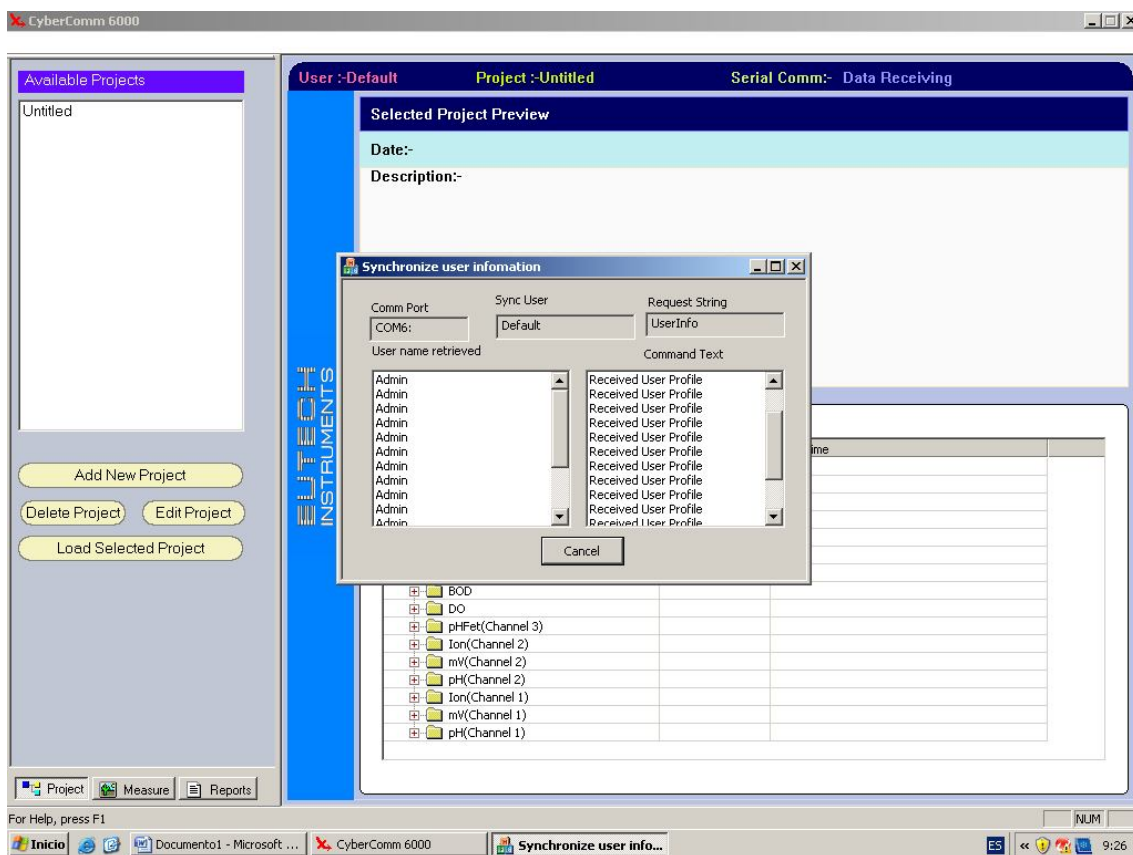
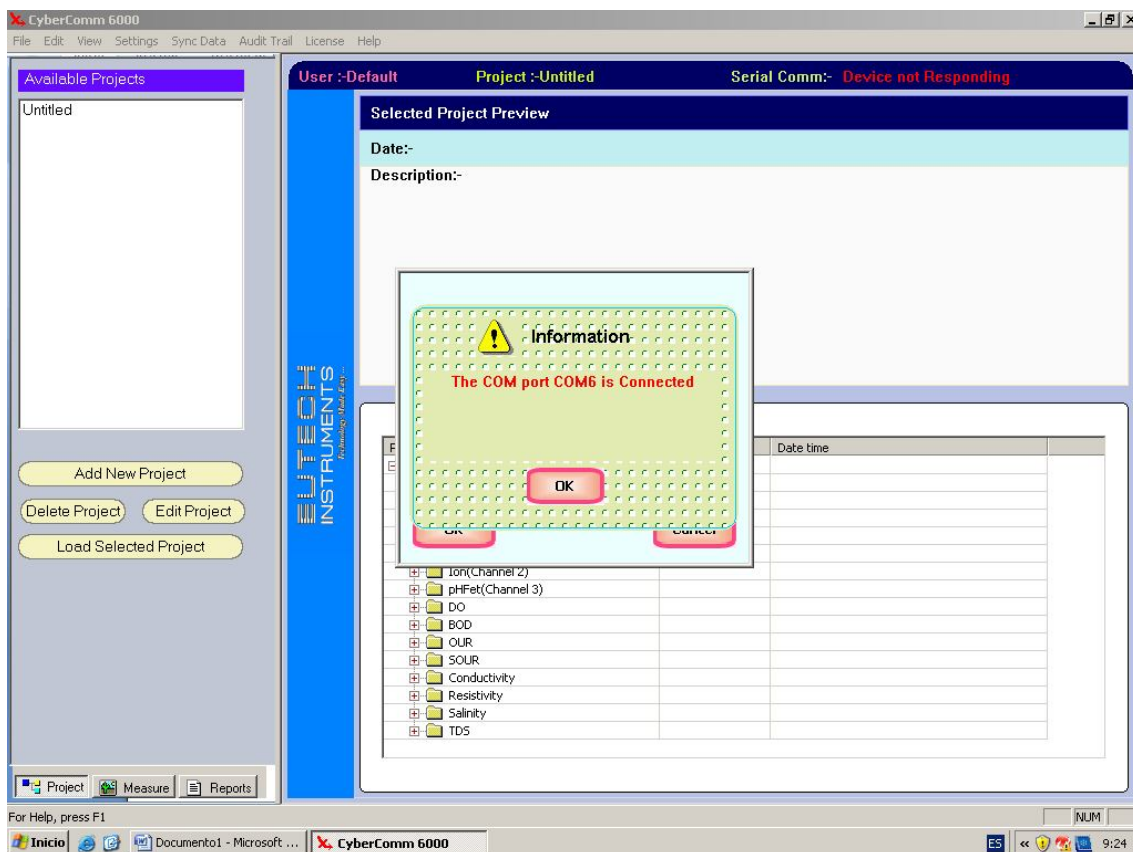
6. Comunicación con el multiparamétrico.

1. En primer lugar tendremos que salir del programa CyberComm 6000 del multiparamétrico:
2. En el menú principal pinchamos en LOGOF y después nos pregunta si queremos salir del programa, le decimos que sí.
3. Seguidamente pinchamos sobre ADCServer



4. En Meter Serial No debe aparecer el número de serie del multiparamétrico, pinchamos en Login.
5. Seleccionamos Setting → COM Port Configuration .
6. En COM port ponemos el puerto COM donde se ha instalado el divers del cable adaptador. Y pulsamos Connect → OK.



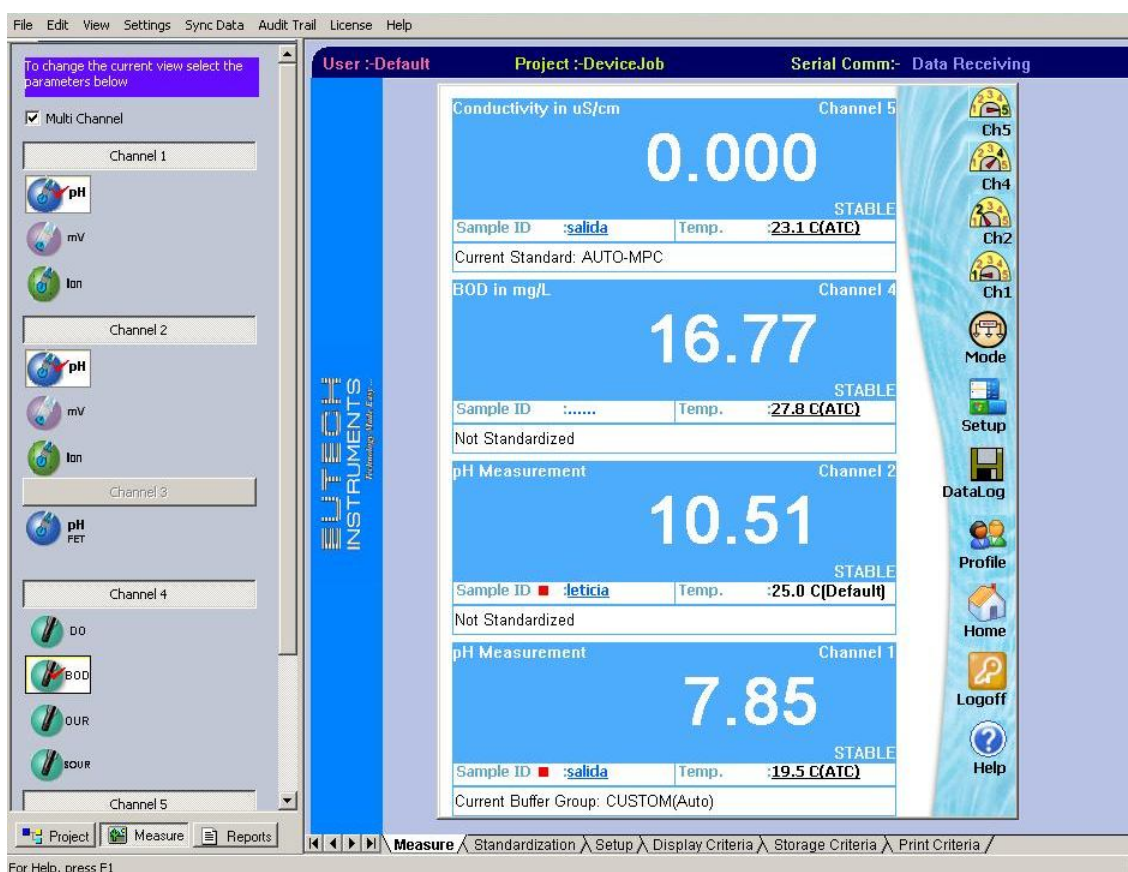


7. Cuando esto termine ya estará sincronizado el multiparamétrico con el PC.

7. CyberComm 6000

7.1 Iniciación

Una vez realizada la comunicación entre el multiparamétrico y el pc tendremos la siguiente pantalla:

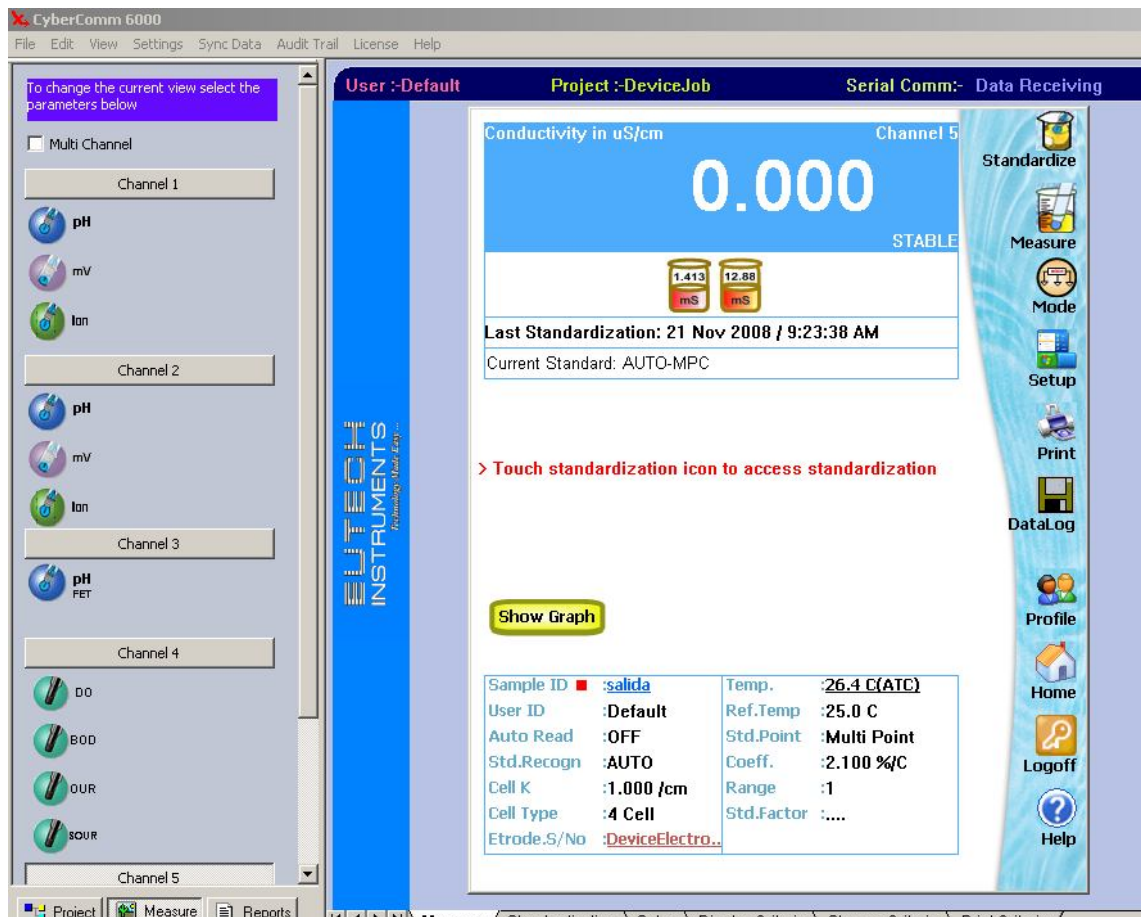


A la izquierda tenemos los diferentes canales que se han seleccionado y dentro de cada uno de ellos el parámetro que se desea conocer, por ejemplo en el canal 1 se ha seleccionado la lectura de Ph, pero además se puede seleccionar medida de mV e Ion.

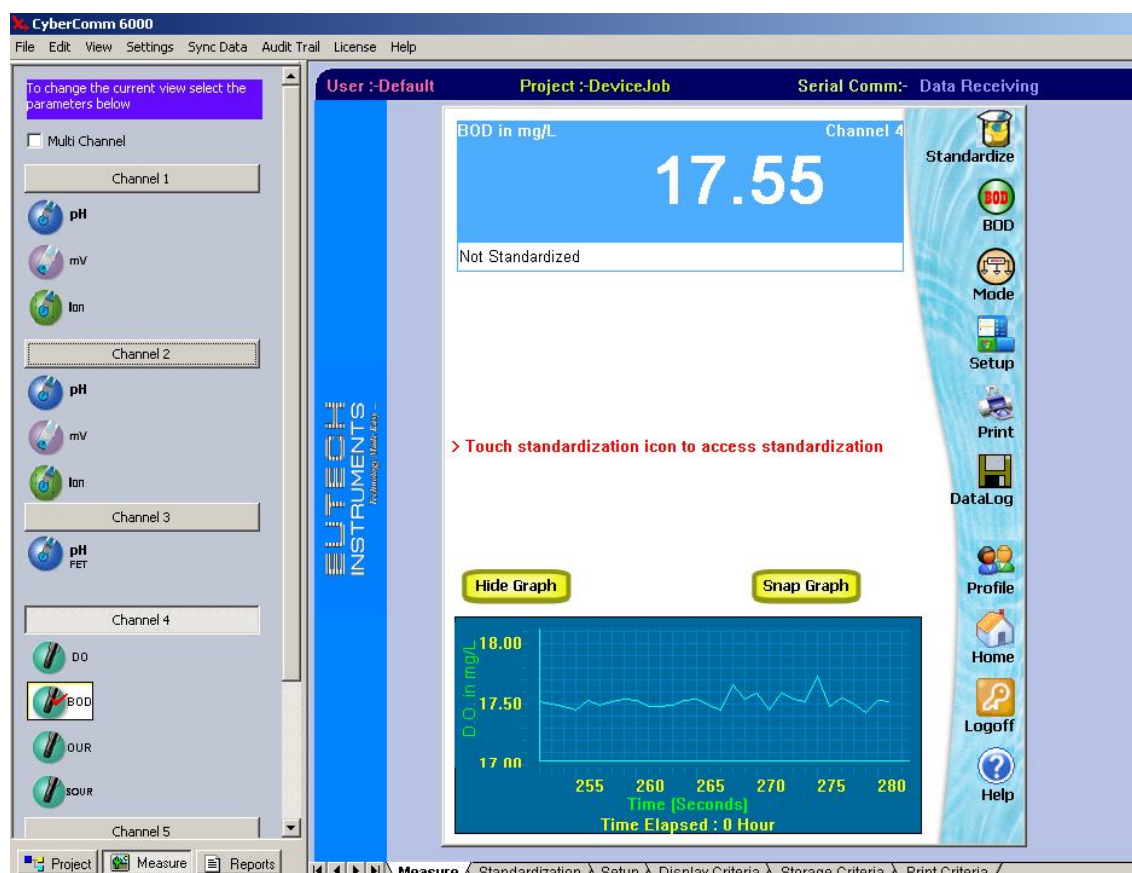
En la zona central de la pantalla tenemos las medidas de las diferentes sondas en las que se indica :

- Parámetro mostrado (parte sup. Izquierda)
- Canal al que está conectada la sonda (parte sup. Derecha)
- Temperatura de referencia de la sonda (parte inferior derecha)

En la zona derecha de la pantalla tenemos en primer lugar los diferentes canales que se están usando, seleccionando cualquiera de ellos , por ejemplo el canal 2, aparece la siguiente pantalla:



Si pulsamos en **Show Graph** , nos aparecerá una gráfica con el parámetro que se está midiendo en tiempo real:

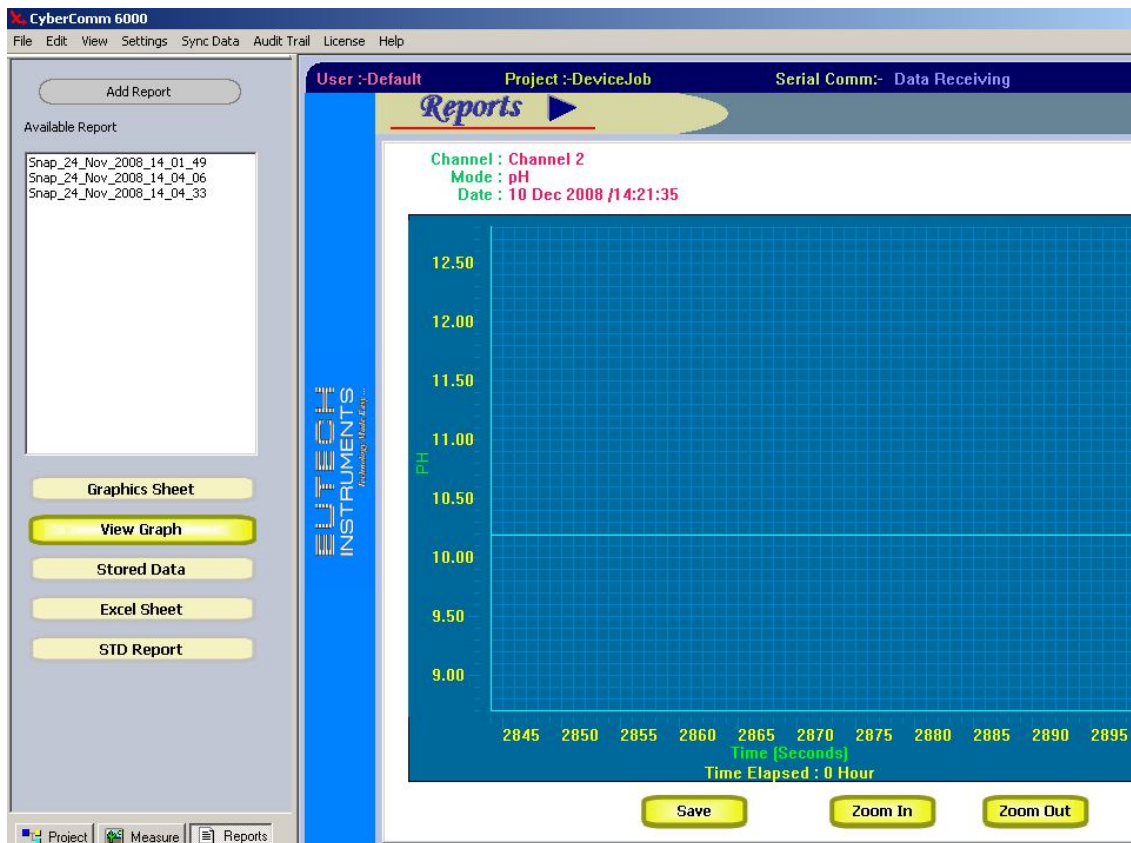


Si volvemos a mirar a la derecha tenemos otro botón, **Home**, pulsando sobre él salimos del programa pero sin cerrarlo, es decir, el programa seguirá tomando datos de las diferentes sondas. Sin embargo si pulsamos sobre el botón **Logoff**, salimos del programa y deja de tomar datos. Esto ocurre tanto en el PC como en el Multiparamétrico.

7.2 Exportar datos a un archivo Excel

La principal aplicación que tiene el CyberComm 6000 es la posibilidad de exportar los datos obtenidos de las diferentes medidas a un archivo de Excel 2007.

(Cabe la posibilidad de guardar el archivo para que sea compatible con Excel 2003), para ello debemos seleccionar en primer lugar el canal del cual queremos obtener los datos, y seguidamente en la parte inferior izquierda seleccionamos **Report**. Aparecerá la siguiente pantalla:



Pulsando **Excel Sheet** , nos aparecerá una pantalla y en el centro pondrá **Launch Excel Application**, pulsamos sobre él y nos pedirá el canal a exportar y el dato requerido. Una vez introducido eso datos pulsamos **ok**, y aparecerá la pantalla del Excel.

Untitled - ExcelApp

File Edit View Help

Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Revisar Vista

Portapapeles Pegar Fuente Alineación General Estilos Insertar Eliminar Formato Celdas Ordenar y filtrar Buscar y seleccionar Modificar

A1 Reading

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Reading	Operator	Date / Time	Sample Id	Temperature	Last Standard	Current Buffer	Slope	mV Measure
2	8,76		21 Nov 2008	salida	30.8 C(ATC)	21 Nov 2008	CUSTOM(Au	97.9 %/57.9n	-121,8
3	8,77		21 Nov 2008	salida	31.9 C(ATC)	21 Nov 2008	CUSTOM(Au	97.9 %/57.9n	-122,8
4	8,79		21 Nov 2008	salida	33.1 C(ATC)	21 Nov 2008	CUSTOM(Au	97.9 %/57.9n	-124,6
5	8,78		21 Nov 2008	salida	34.1 C(ATC)	21 Nov 2008	CUSTOM(Au	97.9 %/57.9n	-124,4
6	8,82		21 Nov 2008	salida	34.9 C(ATC)	21 Nov 2008	CUSTOM(Au	97.9 %/57.9n	-127,3
7	8,85		21 Nov 2008	salida	35.7 C(ATC)	21 Nov 2008	CUSTOM(Au	97.9 %/57.9n	-129,1
8	8,81		21 Nov 2008	salida	36.3 C(ATC)	21 Nov 2008	CUSTOM(Au	97.9 %/57.9n	-127,1
9	8,86		21 Nov 2008	salida	36.8 C(ATC)	21 Nov 2008	CUSTOM(Au	97.9 %/57.9n	-129,8
10	8,86		21 Nov 2008	salida	37.3 C(ATC)	21 Nov 2008	CUSTOM(Au	97.9 %/57.9n	-130,5
11	8,89		21 Nov 2008	salida	37.5 C(ATC)	21 Nov 2008	CUSTOM(Au	97.9 %/57.9n	-132,2
12	8,92		21 Nov 2008	salida	37.4 C(ATC)	21 Nov 2008	CUSTOM(Au	97.9 %/57.9n	-133,7
13	8,88		21 Nov 2008	salida	36.5 C(ATC)	21 Nov 2008	CUSTOM(Au	97.9 %/57.9n	-130,5

Hoja1

Reports

CAP NUM SCRL