



INSTITUTO NACIONAL DE SILICOSIS

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA ESTACION  
DE ENTRENAMIENTO EN EL USO DE  
AUTORRESCATADORES DE OXIGENO  
QUÍMICO. (1ª generación)  
INFORME FINAL**

**INSTITUTO NACIONAL DE SILICOSIS**



**Proyecto financiado por la Consejería de Industria del  
Principado de Asturias**

**Marzo 2001**

GESTOR DEL PROYECTO:

Manuel Martinez Fidalgo\*

EQUIPO DE TRABAJO:

Luis Alvarez-Santullano Martínez\*\*

Manuel Angel Alvarez Alvarez\*\*\*

Sara Burgueño Montañés\*\*\*\*

\*Dr. Ingeniero de Minas. Coordinador Dtto. Técnico I.N.Silicosis

\*\* Ingeniero Técnico de Minas. Servicio Prevención Técnica. I.N.Silicosis

\*\*\*Maestro Industrial. Dtto. Técnico I.N.Silicosis

\*\*\*\*Ingeniero de Minas. Becario

## **1.- ANTECEDENTES**

### **1.1.- INTRODUCCION**

En las minas españolas es relativamente reciente el uso de autorrescatadores de oxígeno químico por los trabajadores mineros.

En la década de los 80 sucedieron en la minería española algunos accidentes significativos, a raíz de los cuales las autoridades mineras prescribieron la dotación de equipos de autosalvamento al personal que trabajaba en determinadas labores de riesgo.

Igualmente, el Organismo Permanente para la Seguridad e Higiene en las Minas, a raíz de algunos accidentes muy señalados, desarrolló recomendaciones relativas a reducir los riesgos de explosión e incendio en las labores mineras con ventilación secundaria, haciendo hincapié en la dotación de autorrescatadores al personal y en la necesidad de los programas de formación en su uso. Posteriormente, estos extremos son abordados profusamente en diferentes documentos y normativa comunitarios y nacionales.<sup>1</sup>

Progresivamente, en los últimos años, la dotación de estos equipos se extiende a mayor número de trabajadores de las minas, de forma que el autorrescatador ya forma parte del equipamiento usual y obligado de gran parte del personal de interior.

Recientemente, con ocasión de algunos incidentes y accidentes, se observó que la formación en el uso de los equipos de autosalvamento requería una optimización con objeto de evitar posibles fracasos en situaciones críticas.

Así, como consecuencia de una explosión de grisú de resultados catastróficos, al menos uno de los trabajadores fallecidos, fue hallado con el autorrescatador en

---

<sup>1</sup> Ver ANEXO 1.

situación de uso, mientras su compañero de tarea que inicia la evacuación junto al fallecido, logra salvarse gracias al uso del equipo.

En un hundimiento con desprendimiento súbito de grisú, fallecieron dos trabajadores por anoxia, siendo hallados con los autorrescatadores activados.

Finalmente, en un incidente sin víctimas provocado por un incendio moderado, de los 18 trabajadores que activaron su autorrescatador, varios lo inutilizaron por un uso indebido y otros lo rechazaron al interpretar equivocadamente que el disconfort provocado por su uso significaba un funcionamiento incorrecto del equipo.

Los hechos reseñados permitieron deducir que, en algún caso, la formación del personal no garantizaba suficientemente el uso adecuado de los equipos, lo que podría provocar, en situaciones críticas, el fracaso de los objetivos de autosalvamento.

Es previsible que en dicho fracaso, además de una insuficiente formación y entrenamiento sobre las operaciones de apertura y puesta en uso del equipo, sea determinante el desconocimiento previo de las condiciones de disconfort en que se desarrolla la evacuación, lo que pudiera inducir a un rechazo del mismo, de consecuencias fatales. Esta previsión se justifica al tener en cuenta las propias características de funcionamiento del equipo, en el que las reacciones químicas de producción de oxígeno son exotérmicas, alcanzándose temperaturas en la inspiración de 50-55 grados. Igualmente, cierta resistencia a la respiración y la exigencia de utilizar una pinza de nariz permanentemente, constituyen elementos sustanciales de disconfort.

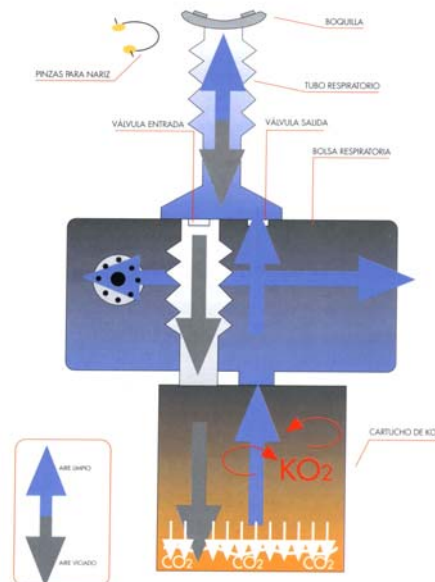
Aunque algún trabajador tiene la oportunidad de experimentar el uso del autorrescatador al realizar una práctica real con los equipos que alcanzan la fecha de caducidad, dicha oportunidad es muy limitada al no disponerse de suficientes equipos en estas condiciones para hacer frente a la formación de todo el personal. Por otra parte, la utilización generalizada de equipos nuevos para entrenamiento

supondría un coste económico difícil de asumir, especialmente teniendo en cuenta que la formación y entrenamiento deberían repetirse periódicamente.

Las observaciones anteriores motivaron el encargo realizado por la Administración Minera del Principado de Asturias al Instituto Nacional de Silicosis para el *desarrollo de una estación de entrenamiento en el uso de autorrescatadores de oxígeno químico*. Los resultados de dicho desarrollo se exponen en el presente informe.

## 1.2.-LOS AUTORRESCATADORES

Los autorrescatadores son equipos autónomos de evacuación en situaciones de emergencia en que la atmósfera es irrespirable por ausencia de oxígeno o por existencia de gases letales: explosiones, incendios o emanaciones intempestivas de grisú.

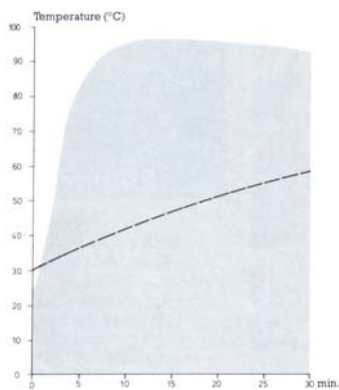


**Figura 1** .-Esquema de autorrescatador de oxígeno químico

Las características de funcionamiento más destacadas son:

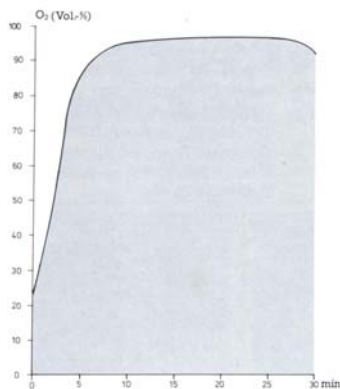
- circuito cerrado
- reacción de agua y  $\text{CO}_2$  de respiración con el  $\text{KO}_2$  para producción de Oxígeno
- reacciones exotérmicas

En funcionamiento, la temperatura puede alcanzar 50 grados con saturación de humedad. En algún tipo de equipo, la temperatura puede alcanzar 65 grados de aire seco



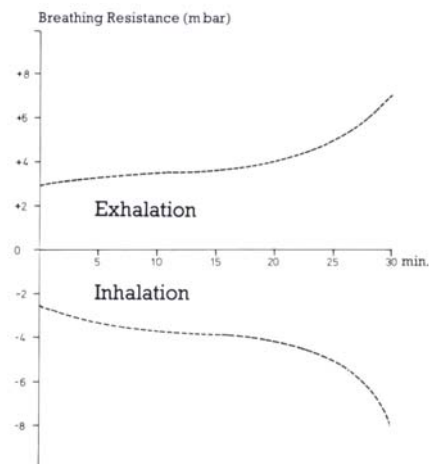
**Figura 2.-** Temperatura alcanzada durante el uso

El contenido de oxígeno es suficiente desde el comienzo de la reacción y durante el tiempo de funcionamiento nominal



**Figura 3.-** Contenido de oxígeno

La resistencia a la inspiración y espiración se mantiene en cifras soportables durante el tiempo de funcionamiento nominal.



**Figura 4.- Resistencia respiratoria**

## **2.-OBJETIVO DEL DESARROLLO**

El objetivo del desarrollo del proyecto es dotar a todo el personal minero de:

- conocimientos sobre el funcionamiento de los equipos
- modo de utilización
- sensaciones de disconfort más habituales

## **3.- DESARROLLO DEL PROYECTO**

A partir de los objetivos especificados anteriormente, el proyecto se ha desarrollado atendiendo a los siguientes aspectos generales:

- diseño y construcción de un equipo de simulación

- dotación de una estación de entrenamiento y formación.

### **3.1.-DESARROLLO DE EQUIPO DE SIMULACIÓN**

Los principales factores de disconfort provocados por el uso de autorrescatadores de oxígeno químico, origen de las posibles reacciones de rechazo por parte del personal, son las siguientes:

- Fuerte sequedad de las vías respiratorias
- Sensación sofocante por el aire caliente y húmedo
- Resistencia
- Incomodidad por el uso de la boquilla y pinza de nariz

El objeto del desarrollo del simulador pretende proporcionar a los trabajadores un entrenamiento en el que se experimenten las sensaciones de disconfort más características.

#### **3.1.1.-Ensayos preliminares**

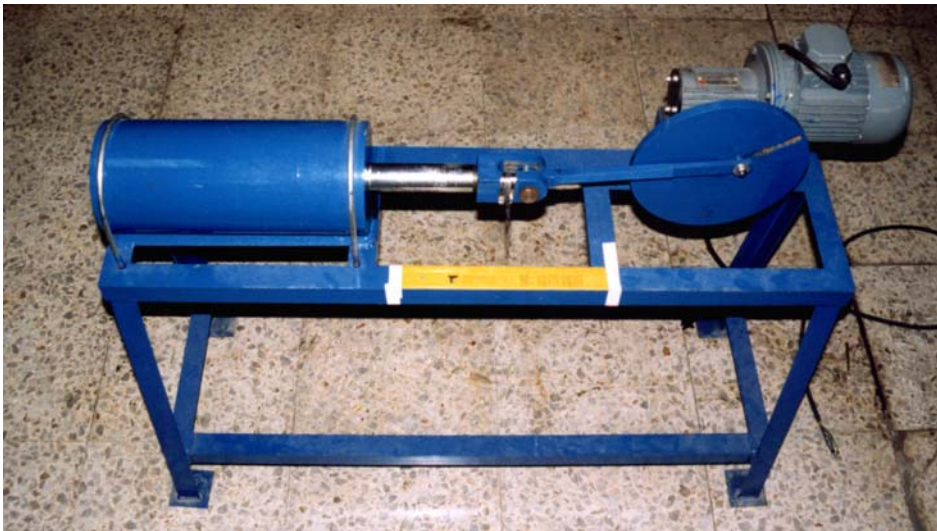
Se preparó un banco de ensayos con el objeto de determinar las condiciones futuras del equipo, resolviendo los problemas metodológicos y de equipamiento.

El banco de ensayos fue dotado de:

- Calentador de agua.
- Controlador de potencia.
- Bomba.
- Electroválvula de tres vías.
- Selector que intercambia las salidas de la electroválvula.
- Termostato de seguridad.



- Sonda de temperatura para medir la temperatura del agua.
- Sonda que mide la temperatura y la humedad del aire.
- Intercambiador de calor.<sup>2</sup>
- Refrigerador.
- Simulador respiratorio.
- Variador de frecuencia para el motor del cilindro.
- Dos válvulas de membrana para inspiración y espiración.
- Medidor de presión diferencial.
- Medidor de caudal de aire respirado.
- Compresor de aire, calderín de acumulación con regulación de salida y caudalímetro de control del caudal del aire.
- Autómata programable.
- Ordenador e impresora.



**Figura 5.-** Simulador respiratorio

---

<sup>2</sup> Ver ANEXO 2. Cálculo de intercambiadores



**Figura 6.-** Medidor de caudal respiratorio



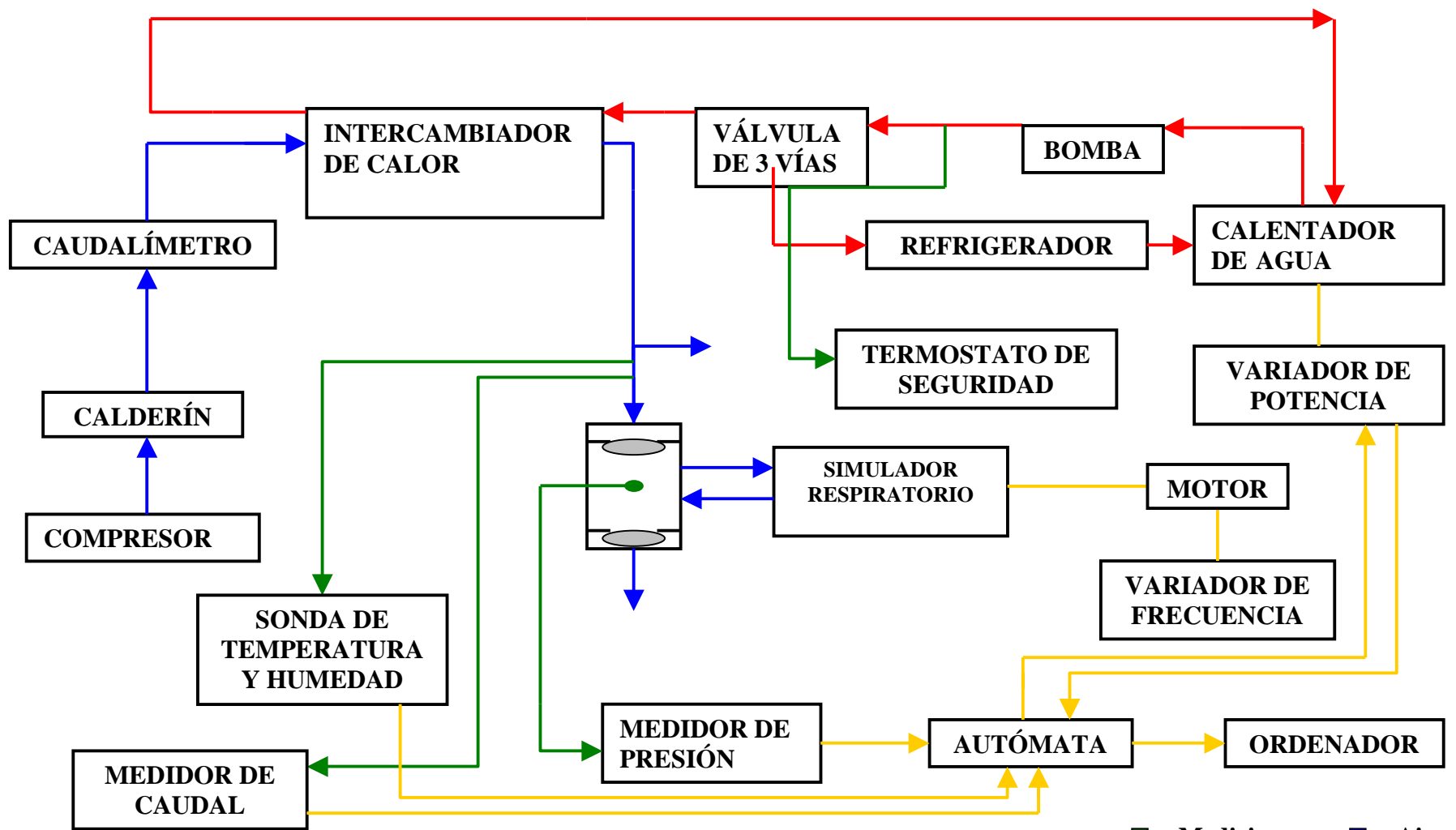
**Figura 7.-** Intercambiador de calor

El objetivo de estos ensayos era proporcionar aire caliente en condiciones similares a las del oxígeno generado en los autorrescatadores de oxígeno químico. Para ello era necesario controlar la temperatura del aire (que debía llegar a 55°C), su humedad relativa y las resistencias a la inspiración y espiración.

La disposición de los elementos del banco de ensayos se puede ver en el diagrama de flujo de la siguiente página.

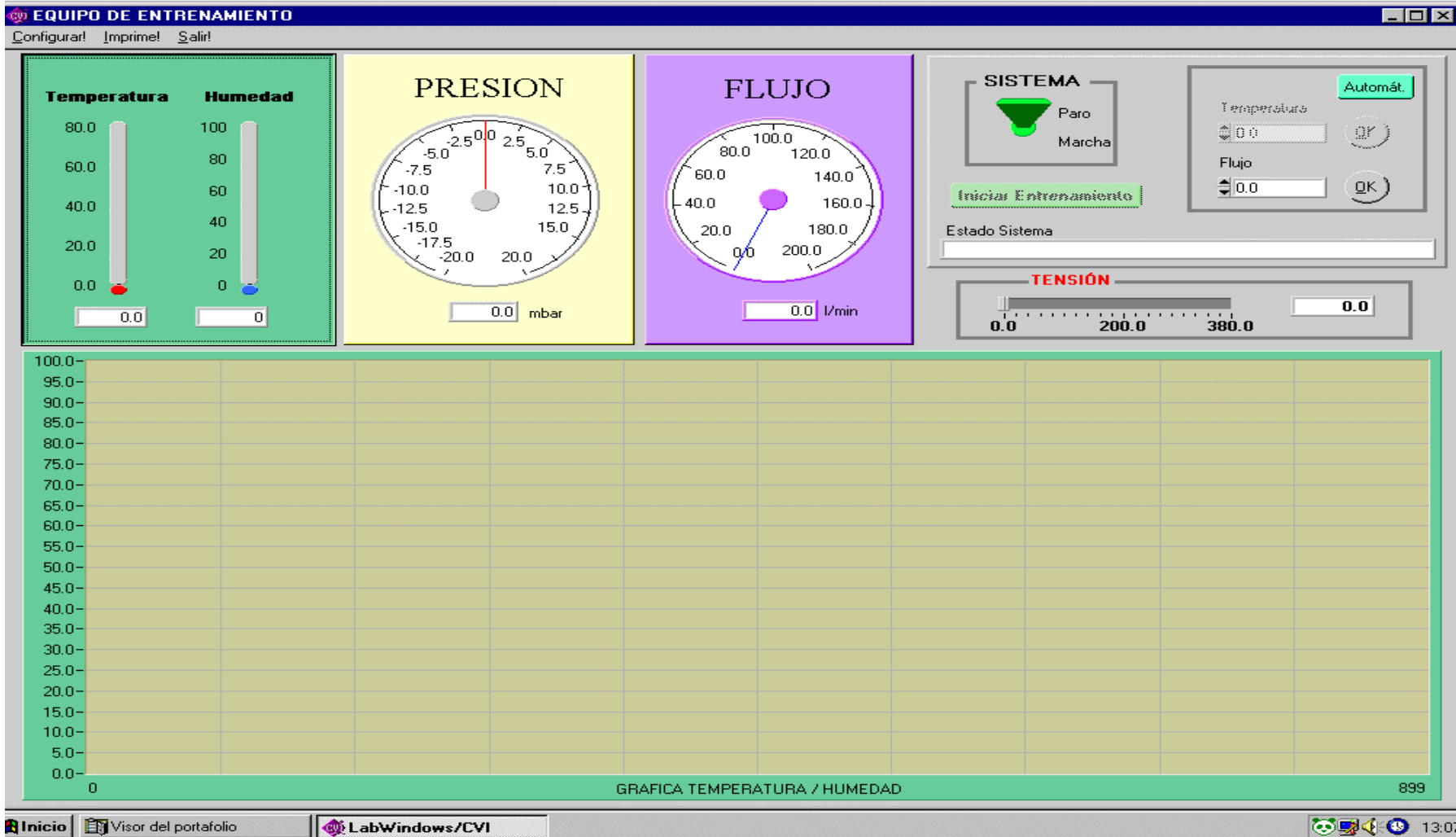
El circuito azul representa la circulación del aire. El aire pasa por un caudalímetro de flotador que permite visualizar el caudal en una escala. El siguiente paso es el intercambiador, donde el aire recibe el calor transmitido por el agua caliente que circula en contracorriente con él. A la salida del intercambiador se separa el aire solicitado por el simulador respiratorio, y el aire sobrante sale a la atmósfera. El aire “respirado” pasa por las válvulas de inspiración-espriación.. Entre ambas válvulas se mide la resistencia respiratoria. Justo antes de entrar el aire en el cilindro se toman las medidas de caudal de aire respirado, temperatura y humedad. Estas mediciones llegan al autómata y son enviadas al ordenador.

El circuito rojo corresponde al circuito del agua. Ésta se calienta en un depósito dotado de resistencias eléctricas. Mediante una bomba es impulsada hacia el intercambiador de calor para volver de nuevo al depósito. Cuando la temperatura del aire ya ha alcanzado 55°C , se intercambia en el selector la salida del agua hacia el intercambiador por la salida hacia el refrigerador. Así se enfría el agua y se está en disposición de iniciar un nuevo ensayo. Para regular el calentamiento del agua se dispone de un controlador de potencia (conectado al autómata) mediante el cual se varía la tensión de alimentación de las resistencias.



<span style="color: green;">■</span> Mediciones	<span style="color: blue;">■</span> Aire
<span style="color: yellow;">■</span> Conexiones	<span style="color: red;">■</span> Agua

Para la visualización en la pantalla del ordenador de todos los parámetros medidos (temperatura del aire, resistencias en la inspiración y espiración, flujo de aire respirado, humedad y tensión aplicada a las resistencias), se elaboró un programa informático. Su pantalla principal es la que aparece en la página siguiente, en la cual se refleja la temperatura del aire caliente y su humedad. Otras pantallas representan la presión y el caudal respirado.



**Temperatura** **Humedad**

0.0 0

**PRESION**

0.0 mbar

**FLUJO**

0.0 l/min

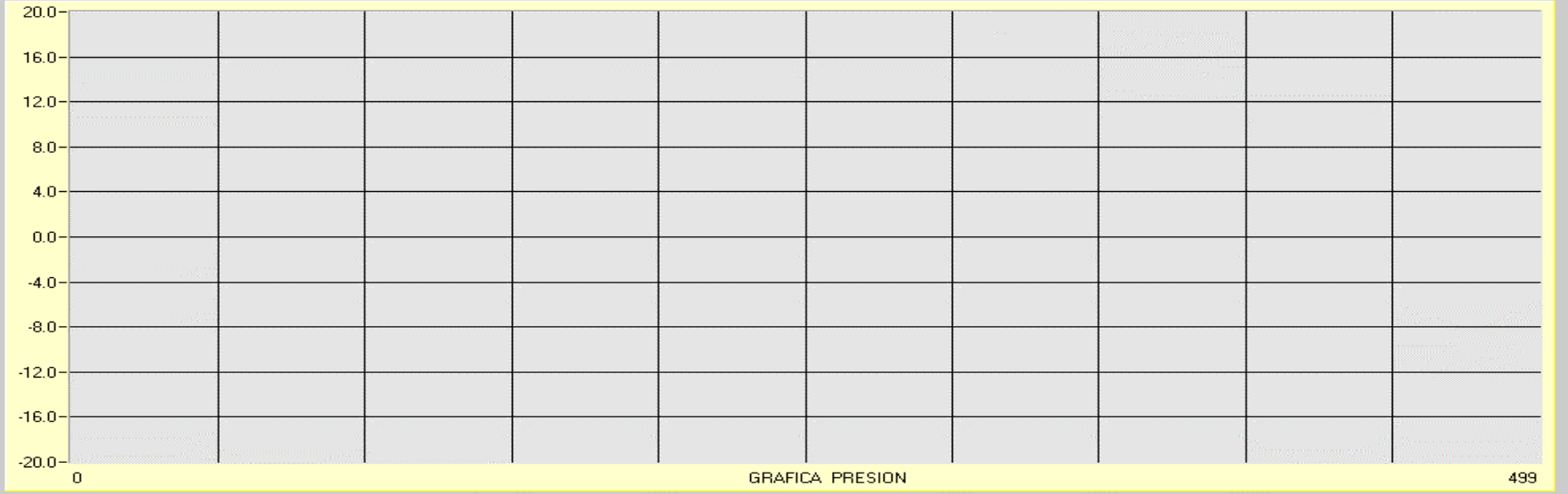
**SISTEMA**

Temperatura 0.0 OK  
Flujo 0.0 OK

Estado Sistema

**TENSIÓN**

0.0 200.0 380.0 0.0



**EQUIPO DE ENTRENAMIENTO** \_ □ ×

Configurar! Imprime! Salir!

**Temperatura** **Humedad**

0.0 0

**PRESION**

0.0 mbar

**FLUJO**

0.0 l/min

**SISTEMA**

Paro

Marcha

**Inicia Entrenamiento**

Estado Sistema

---

**TENSION**

0.0 200.0 380.0 0.0

100.0

90.0

80.0

70.0

60.0

50.0

40.0

30.0

20.0

10.0

0.0

0

GRAFICA FLUJO RESPIRATORIO

499

Inicio Visor del portafolio LabWindows/CVI 13:25

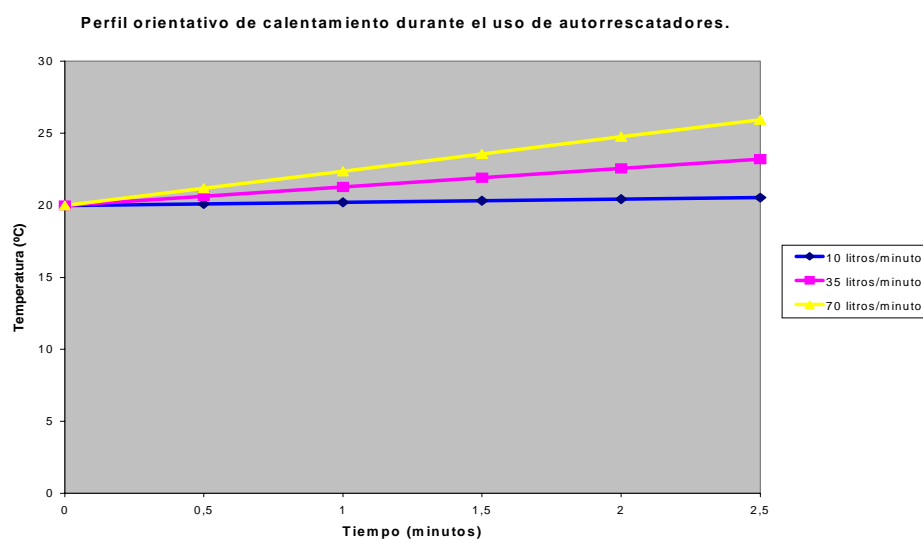


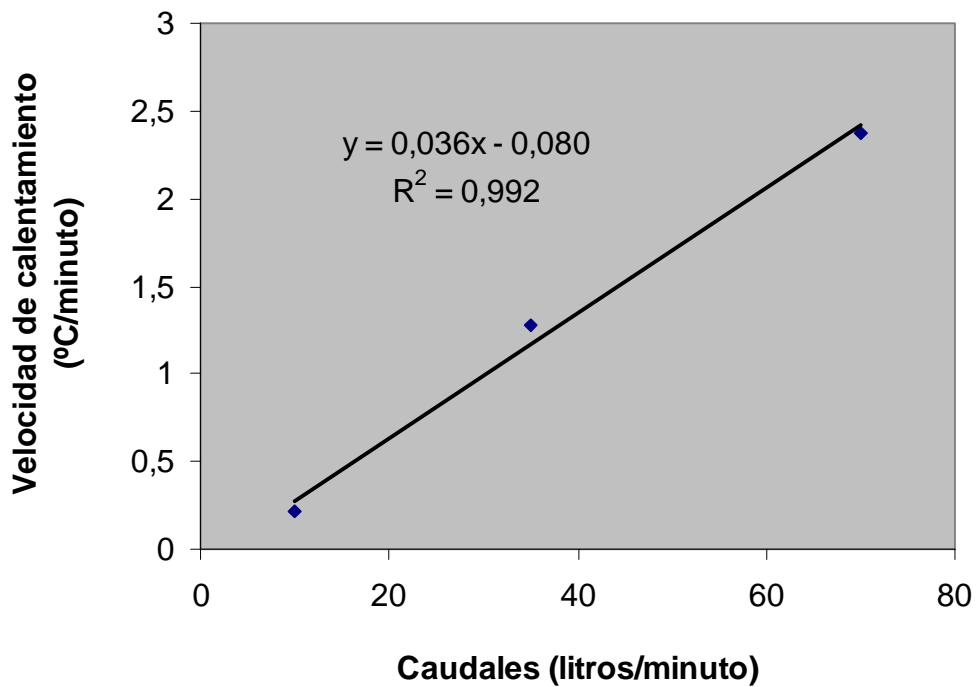
Además el programa permite registrar todos los datos a modo de listado, pudiendo consultar datos históricos.

Una vez preparado el equipo de prueba se iniciaron los ensayos, con el objeto de fijar un modelo de calentamiento, es decir, con qué gradiente de aumento de temperatura había que calentar el aire para que el proceso de calentamiento se asemejara lo más posible al funcionamiento del autorrescatador.

A partir de las curvas tiempo-temperatura proporcionadas por los fabricantes, para los caudales respiratorios: 10, 35 y 70 litros/minuto, se calculó la velocidad de calentamiento y se relacionó con el caudal respirado. Así se obtuvo una recta de calibración que relacionaba el caudal respirado con la velocidad de calentamiento.

<b>Caudales (litros/minuto)</b>	<b>Velocidad de calentamiento (°C/minuto)</b>
10	0,214
35	1,278
70	2,375





Siendo la recta de calibración resultante:

$$\text{Velocidad de calentamiento (°C/min)} = 0,036 \cdot \text{Caudal (l/min)} - 0,080$$

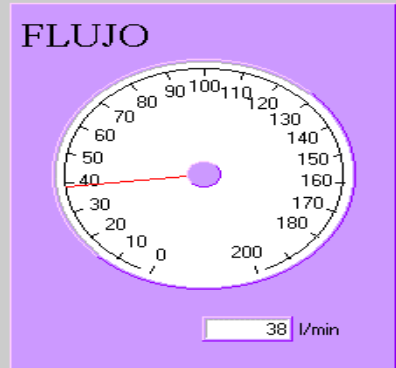
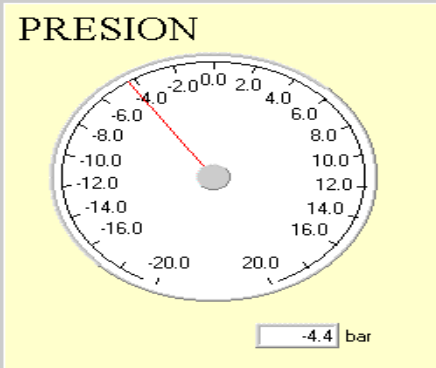
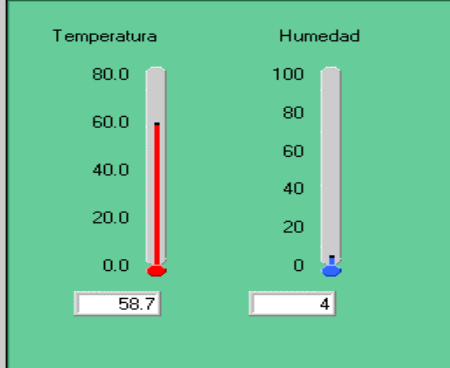
Se observa que el ritmo de calentamiento del oxígeno suministrado por el autorrescatador es más rápido cuanto mayor es el flujo de aire respirado por el usuario, por lo que la estación de entrenamiento definitiva deberá suministrar aire calentado siguiendo la ecuación anterior; es decir, se calentará el aire más rápido cuanto más aire respire la persona que se encuentre entrenándose. Para conseguir esto se variará la potencia de las resistencias, teniendo un calentamiento más rápido del agua y, por consiguiente, del aire, al aumentar la potencia de las resistencias.

Para afrontar el problema se disponía de un variador que permitía cambiar la tensión. Al disminuir la tensión que alimenta las resistencias disminuye su potencia. Se hicieron varios ensayos con un caudal total de aire a calentar (mayor que el que “respiraba” el cilindro) de 100 litros por minuto y se fue cambiando la tensión de alimentación de las resistencias.

Un ejemplo de estos ensayos aparece en la página siguiente; es la pantalla correspondiente a un ensayo realizado con una tensión de alimentación a las resistencias de 266 Voltios. La línea roja representa la temperatura y la azul la humedad relativa.<sup>3</sup>

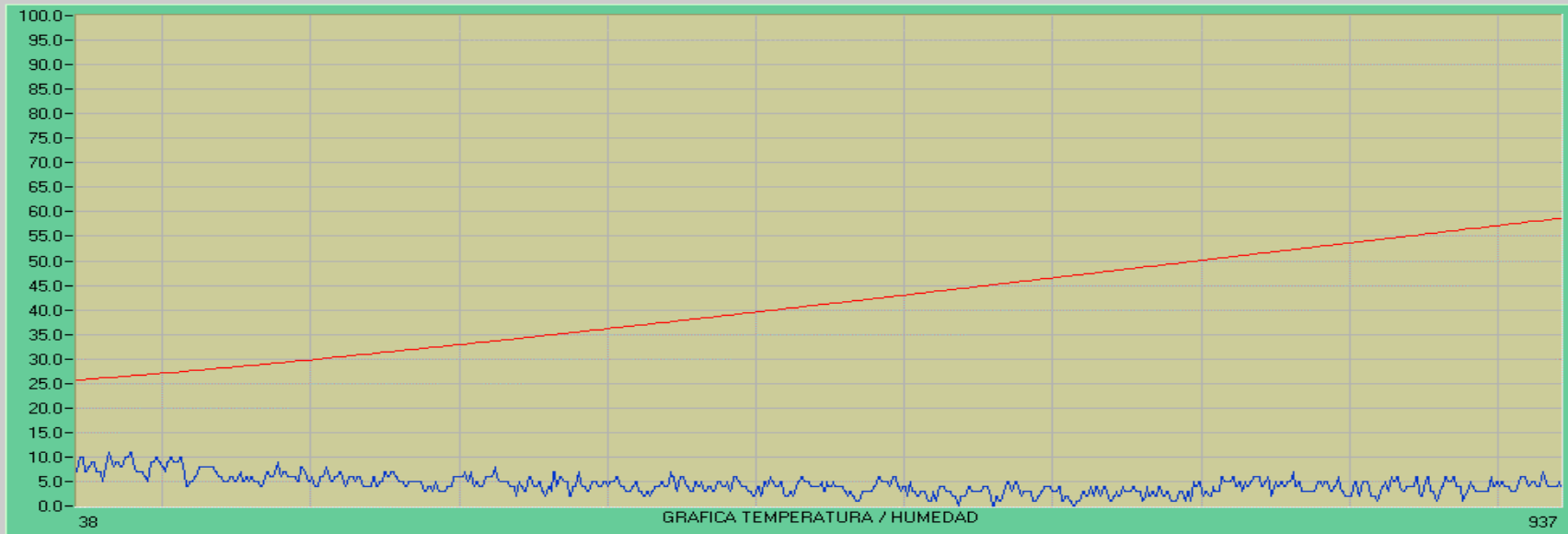
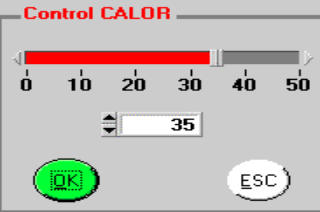
---

<sup>3</sup> Ver ANEXO 3. Ensayos Gradiente-tensión



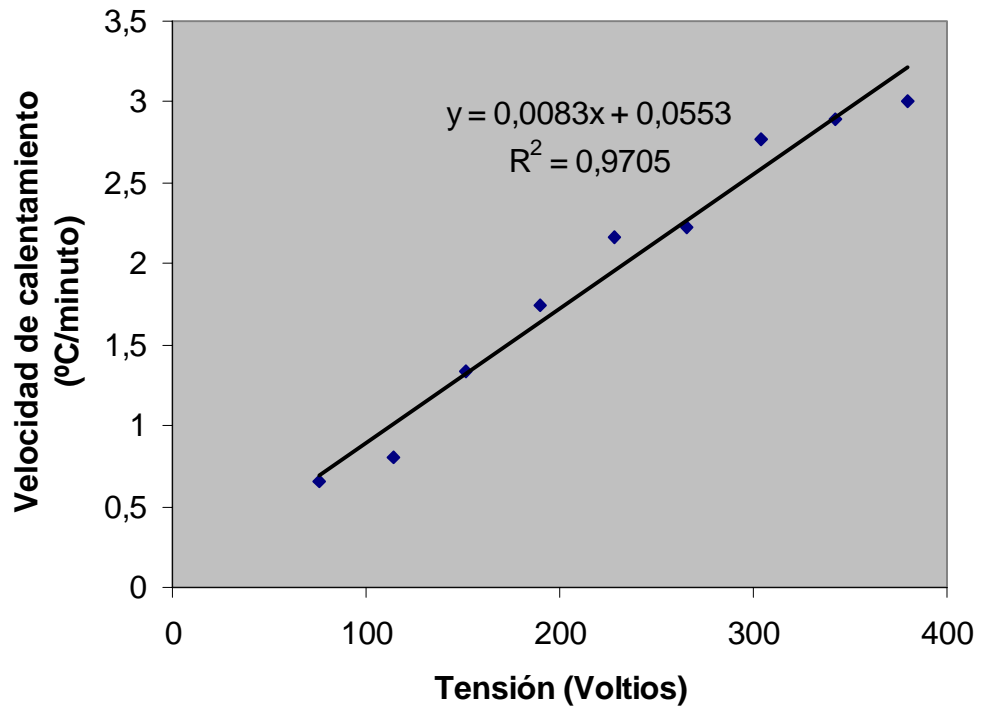
Grafica

Salir



Las velocidades de calentamiento obtenidas fueron las siguientes:

Tensión (Voltios)	Velocidad de calentamiento (°C/minuto)
76	0,66
114	0,80
152	1,33
190	1,75
228	2,16
266	2,22
304	2,77
342	2,89
380	3,00



La recta de calibración obtenida fue:

$$\text{Velocidad de calentamiento (°C/min)} = 0,0083 \cdot \text{Tensión (V)} + 0,0553$$

A partir de estas dos ecuaciones:

$$\text{Velocidad de calentamiento (}^{\circ}\text{C/min)} = 0,0083 \cdot \text{Tensión (V)} + 0,0553$$

$$\text{Velocidad de calentamiento (}^{\circ}\text{C/min)} = 0,036 \cdot \text{Caudal (l/min)} - 0,080$$

se igualaron los primeros miembros quedando una ecuación que relacionaba el caudal y la tensión que alimentaba las resistencias:

$$\text{Tensión (V)} = 4,3373 \cdot \text{Caudal (l/min)} - 16,3012$$

Como se puede observar, al aumentar el caudal respirado aumenta la tensión. Así, una vez registrada la ecuación en el autómata programable, se comprobó cómo al solicitarse un caudal determinado, el autómata actuaba variando la tensión en el sentido de conseguir la velocidad de calentamiento correspondiente. Al ir variando la frecuencia del motor del “pulmón” (lo que suponía un cambio del caudal respirado) se comprobó cómo iba variando la tensión de alimentación de las resistencias de acuerdo con la ecuación introducida en el autómata. De esta forma se logró simular el perfil de calentamiento característico de los autorrescatadores.

### 3.1.2.- Estación de entrenamiento definitiva.<sup>4</sup>

La estación de entrenamiento definitiva fue diseñada y construida a partir de los parámetros obtenidos en los ensayos preliminares referidos en apartados anteriores. Los equipos de que consta son los siguientes:

- Compresor.
- Regulador de presión.
- Intercambiador de calor.

---

<sup>4</sup> Ver ANEXOS 4 y 5. Programación y Esquemas eléctricos

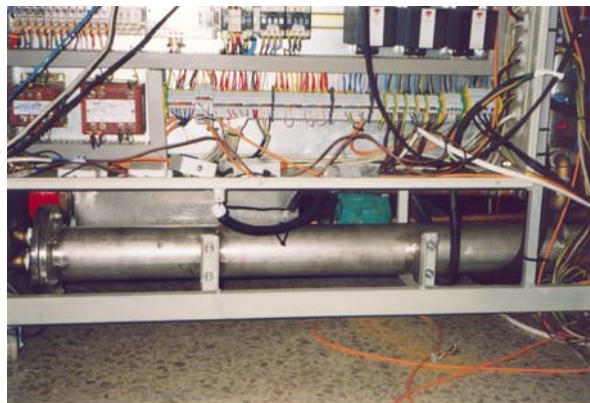
- Cuatro depósitos para agua. Uno de ellos lleva resistencias eléctricas instaladas en su interior para el calentamiento del agua.
- Cuatro detectores de nivel.
- Electroválvula de tres vías.
- Tres válvulas.
- Dos bombas.
- Controlador de potencia.
- Refrigerador.
- Sonda de temperatura y humedad para el ambiente.
- Sonda de temperatura para el agua a la salida del intercambiador de calor.
- Sonda de temperatura para el agua del depósito enfriador.
- Sonda de temperatura para el agua del depósito calefactor.
- Sonda de temperatura y humedad para el aire respirado.
- Sonda de temperatura en la boquilla.
- Medidor de caudal de turbina para el aire.
- Medidor de caudal de aire respirado.
- Válvula de membranas para inspiración y espiración.
- Medidor de presión diferencial.
- Boquilla.
- Caja de PVC que representa la forma de la carcasa de un autorrescatador.
- Cinta sin fin.
- Autómata programable.
- Ordenador e impresora.

El compresor proporciona aire seco apto para respirar. Se trata de un compresor sin aceite; en el circuito del compresor, el aire se filtra y deseca. El caudal proporcionado por el compresor es de 238 litros por minuto.



**Figura 8.-** Compresor

El intercambiador de calor se construyó en acero inoxidable, ya que el aire calentado en su interior debía ser respirado. Se trata de un intercambiador de calor de un solo tubo con varios pasos por carcasa. El conjunto resulta así mucho más compacto que el sistema en contracorriente utilizado en el banco de ensayos. El agua, calentada previamente en el depósito que contiene las resistencias eléctricas, circula por la carcasa en dos pasos y el aire por el tubo en ocho.



**Figura 9.-** Intercambiador



El simulador se complementa con un tapiz rodante de pendiente y velocidad variables. Su utilización durante los entrenamientos permite que éstos sean más reales, ya que se representa mejor una situación de huida usando el autorrescatador.

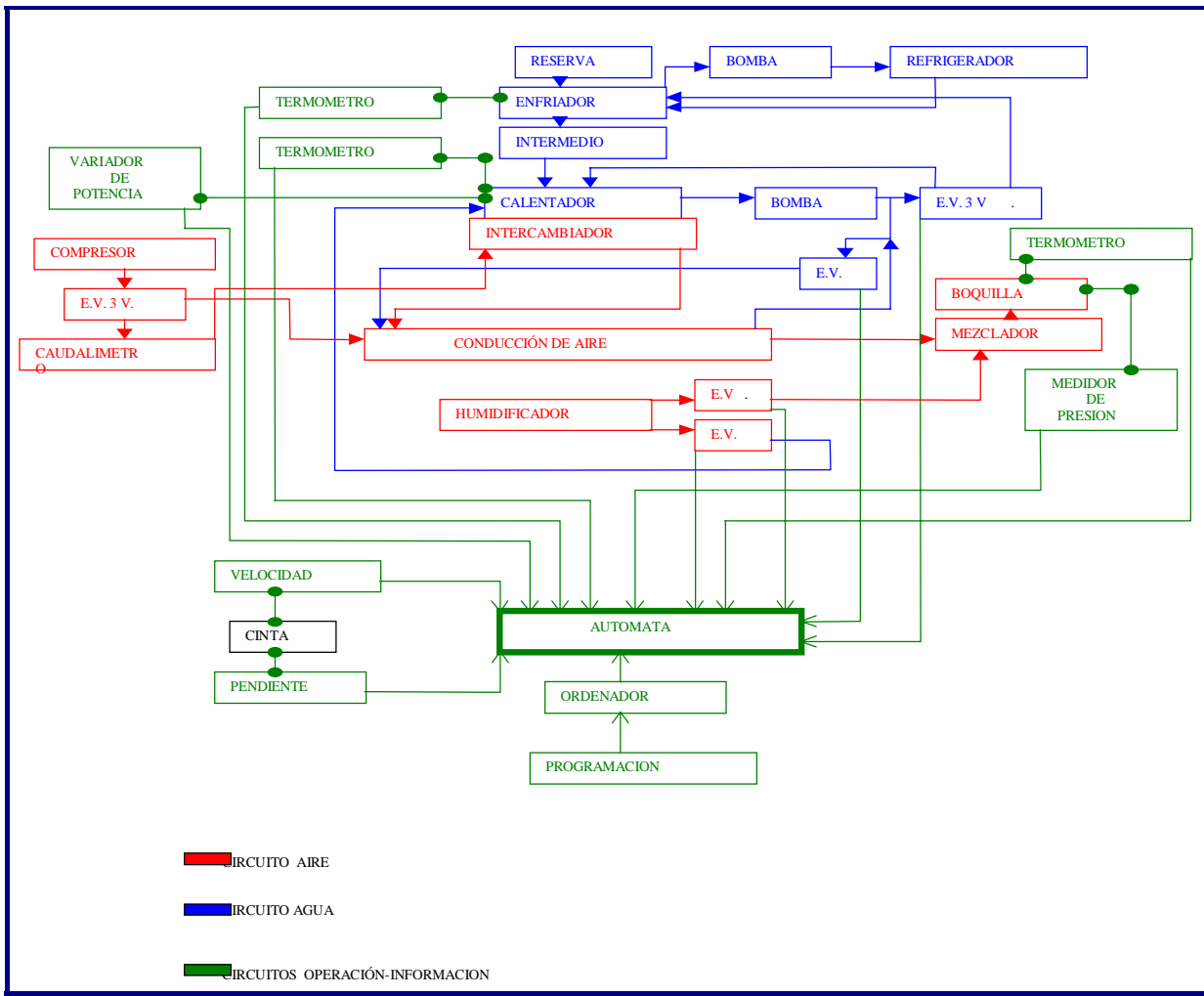
Los entrenamientos se realizan en dos fases, húmeda y seca. El equipo controla el gradiente de temperatura en cada una de las fases húmeda y seca, mediante la aplicación de la potencia conveniente a los elementos calefactores. La resistencia respiratoria deseada se obtiene por actuación automatizada sobre la pendiente del tapiz, de forma que dicha pendiente condiciona la demanda respiratoria de cada individuo y, por consiguiente, la resistencia establecida para el entrenamiento.

Los parámetros de configuración son los siguientes:

- Temperatura inicial
- Temperatura final (fase seca y fase húmeda)
- Duración del entrenamiento (fase seca y fase húmeda)
- Humedad deseada en la fase húmeda
- Resistencia deseada



**Figura 10.-** Estación de entrenamiento y simulador



ESQUEMA DE CIRCUITOS Y CONEXIONES

El simulador permite diferentes configuraciones del sistema de calentamiento, impresión de datos, ect. Así como el control de las operaciones y de los entrenamientos.<sup>5</sup>

### **3.2.- ESTACION DE ENTRENAMIENTO**

Se realizaron instalaciones específicas, para la formación de los trabajadores. La formación estándar se desarrolla atendiendo los tres objetivos establecidos en el programa.

#### **Formación sobre las características y funcionamiento de los equipos**

Los trabajadores son informados minuciosamente sobre estos extremos, con apoyo de paneles gráficos y medios audiovisuales. Con especial insistencia se informa de los detalles particulares de la puesta en funcionamiento de los diferentes modelos utilizados en las minas y de las sensaciones que provocan en cada caso.



**Figura 11.-** Paneles formativos

#### **Formación sobre el modo de utilización.**

Los trabajadores realizan prácticas de puesta en uso de los diferentes modelos de autorrescatador, utilizando equipos de entrenamiento.

<sup>5</sup> Ver ANEXO 6. Pantallas de configuración y control

### **Entrenamiento en simulador.**

El entrenamiento se realiza en el equipo de simulación desarrollado según un protocolo preestablecido que simula las sensaciones más características de los equipos reales. Un protocolo habitual se describe a continuación.

Durante el entrenamiento, de una duración aproximada de 12 minutos, el individuo camina sobre el tapiz a una velocidad constante de 4 Km/h con el autorrescatador de simulación en uso incluídas las pinza de nariz. La resistencia a la respiración, configurada en 6 mb, se adquiere automáticamente, cada 10 segundos, por ajuste de la pendiente del tapiz, que condiciona la magnitud del flujo respiratorio para cada individuo y, consecuentemente, la resistencia.

Al inicio del entrenamiento, el aire respirado tiene una temperatura de 40 grados, y una humedad relativa del 75%. Durante 6 minutos, la temperatura asciende progresivamente hasta los 50 grados manteniendo constante la humedad. Alcanzada esta temperatura, la humedad relativa se sitúa instantáneamente en el 2-3% continuando el entrenamiento otros 6 minutos hasta alcanzar progresivamente una temperatura de 65 grados en cuyo momento se corta instantáneamente el flujo de aire y se para el tapiz.

Las sensaciones sofocante, de sequedad, resistencia e incomodidad son muy similares a las provocadas por los equipos reales.



**Figura 12.-** Realización de entrenamientos