

EQUIPO PARA LA DETERMINACIÓN DEL TRABAJO FÍSICO EN HUMANOS

Team for the decision of the physical work in humans

RESUMEN

Para conseguir información del estado actual de la fuerza laboral y por ende su rendimiento, algunos profesionales como médicos fisiólogos, o trabajadores ocupacionales aplican pruebas preestablecidas no muy técnicas, con un componente cualitativo y subjetivo muy importante, lo que conlleva a arrojar resultados imprecisos y poco confiables.

Una información precisa y veraz puede adquirirse a través de una base de datos suministrada por un equipo instrumentado que realice pruebas objetivas y pertinentes que será aplicada en aquellas empresas en las cuales su producción dependa de la actividad y fuerza muscular, obteniendo beneficio personal y un óptimo rendimiento laboral.

PALABRAS CLAVES: Datos, equipo, fisiólogos, fuerza, instrumentado, laboral, óptimo, producción, pruebas, rendimiento

ABSTRACT

Some professionals like doctors, physiologists, of occupational employment apply non technical pre-established test to get information about the current state of the labor force. and therefore its performance; these tests have a very important subjective and qualitative component; which throws an inexact and unreliable result.

And effective and realible information can be aquired through a databuse supplied by a effected team that carry out an objective test; it will be applied in those factories in which their productions depend on the activity and muscular force, obtaining personal benefit and an optimum work performance.

KEYWORDS: *Effected, force, labor, optimum, perfomance, physiologists, production, team, tests*

1. INTRODUCCIÓN

El trabajo físico es la capacidad de un sujeto para realizar movimientos con agrado y sin sensación de cansancio. No implica necesariamente la ejecución de un esfuerzo máximo, sino más bien el desempeño de un individuo en sus roles habituales laborales y de recreación. En los inicios de la humanidad, el hombre necesitó un gran poder físico para sobrevivir, el que se logró gracias al trabajo y lucha continuos, que dieron fuerza y habilidad a su cuerpo. De esta manera, sus características anátomo-fisiológicas se perfeccionaron para el movimiento y la acción, por lo que el aparato locomotor y sus órganos de servicio constituyeron la parte principal de su masa corporal total. En la actualidad, la disminución del tiempo libre, el exagerado reemplazo del esfuerzo físico humano por la tecnología, el aumento de agentes estresantes con la consecuente fatiga mental y física, etcétera, tienden a disminuir los

requerimientos de gasto energético en los individuos. Estos factores, sumados al deterioro funcional propio del envejecimiento, disminuyen la capacidad de trabajo físico, con pérdida de la eficiencia mental y física, pudiendo predisponer a enfermedades cardiovasculares, respiratorias y artro-músculo-esqueléticas. También pueden causar trastornos psicológicos y metabólicos, ya que los estímulos insuficientes deterioran las funciones mientras que los supramáximos suelen ser iatrogénicos

Las nuevas condiciones de trabajo que requieren más competitividad, esfuerzo intelectual, flexibilidad, y mayor exigencia de productividad, de disponibilidad y dependencia personal con horarios sin límites, han provocado la aparición de nuevos riesgos tanto psicosociales como físicos para la salud de los trabajadores, a la vez que un aumento de los ya prácticamente consagrados, como el estrés.

JOSE GERARDO CARDONA TORO

Candidato a maestría en Instrumentación Física.
Profesor Auxiliar
Universidad Tecnológica de Pereira
Jgdo7@utp.edu.co

LUIS FERNANDO JARAMILLO CORREA

Candidato a maestría en Instrumentación Física.
Profesor Catedrático Asistente
Universidad Tecnológica de Pereira
ferjaco@utp.edu.co

WILLIAN ARDILA URUEÑA

Profesor asociado
Universidad Tecnológica de Pereira
Magíster en Física Universidad de Antioquia
williamar@utp.edu.co

Una de las razones por las cuales se debe tener control sobre la exigencia del trabajo es porque la mayoría de trabajadores no están “fisiológicamente” entrenados para realizar actividades que demandan cargas de trabajo dinámico y estático altas. El entrenamiento de la función cardiorrespiratoria y muscular implica llevar las variables fisiológicas como la frecuencia cardiaca, presión arterial, frecuencia respiratoria, respuesta hormonal, metabólica, a niveles tales que el trabajador solo podría realizar la labor por muy poco tiempo, algunos minutos. El proceso laboral requiere de continuidad y exposición al trabajo físico por varias horas de la jornada de trabajo, por lo tanto no se podría llevar al trabajador a tales niveles de exigencia, bajo estas condiciones de entrenamiento el riesgo de lesión, de fatiga y de desgaste sería muy alto¹

Surge entonces la necesidad apremiante de determinar la capacidad de trabajo físico, existiendo para esto diferentes metodologías basadas en protocolos ya establecidos. El Instituto Nacional de Salud de los trabajadores de Cuba, diseño una prueba con base en un protocolo previo diseñado por el doctor Rogelio Manero, llamada prueba escalonada, mediante la cual se estima la potencia aeróbica máxima, que conduce al calculo de la capacidad de trabajo físico.

La prueba consiste en suministrar tres cargas de trabajo crecientes, de tres minutos de duración cada una, con un intervalo de reposo de un minuto entre cada carga. La carga se aplica sobre un escalón de 25 cm., de altura donde el trabajador evaluado debe subir y bajar a un ritmo constante marcado por un metrónomo. El ritmo de subida y bajada para la primera carga es de 17 pasos por minuto (68 pulsos) un paso equivale a 4 pulsos del metrónomo, la segunda carga es de 26 pasos por minuto y la tercera carga de 34 pasos por minuto.

El límite para la aplicación de una carga creciente está dado por el 65% de la frecuencia cardiaca máxima teórica, al superarse esta cifra la prueba debe ser detenida.

La frecuencia cardiaca se toma al terminar la aplicación de cada carga de trabajo en los primeros 15 segundos del reposo, mediante auscultación de la región precordial con fonendoscopio, o toma de la frecuencia del pulso a nivel radial. El valor obtenido de frecuencia cardiaca es referido a una tabla construida, donde se toman en cuenta el sexo y el peso del trabajador y la frecuencia cardiaca final de la última carga aplicada², a estos datos se les

debe aplicar un factor de corrección que está determinado por la edad.

Este método referido en su totalidad en su aplicación es muy rustico, entendiendlo esto como la no apropiación de tecnología que permita realizar la prueba de una manera más sutil, que minimice errores y arroje resultados más confiables.

Surge entonces la necesidad de diseñar un equipo que realice de manera versátil, técnica y eficaz esta prueba³.

2. CONTENIDO

Este proyecto se realizó en dos etapas a saber:

2.1. DISEÑO DEL HARDWARE. CIRCUITO ELECTRÓNICO

Esta primera etapa consistió en implementar un circuito electrónico que contiene dos grandes bloques a saber:

2.1.1 Bloque de procesamiento digital

Éste tiene como unidad central de procesamiento o UCP al microcontrolador PIC16F877 de la compañía MicroChip Technology⁴ encargado del proceso de la señal capturada; éste primer bloque lo conforman principalmente, el microcontrolador que gestiona todas las tareas del equipo, una pantalla de cristal líquido o LCD, un teclado alfanumérico y un zumbador o transductor sonoro los cuales le permiten al medico y paciente interactuar con el equipo. También hace parte de éste bloque un módulo de radiofrecuencia para la transmisión de datos al PC. Las funciones principales del microcontrolador son recibir desde el teclado los datos del paciente y con base en estos definir los límites y parámetros de la prueba física aplicando una serie de tablas y formulas que se encuentran en la memoria de programa EEPROM; también guía la prueba mediante señales audibles con las cuales se implementa un metrónomo de cuya frecuencia depende la prueba (ver figura 1).

[1] Velásquez V. Juan Carlos. Carga Física de Trabajo, Bases Fisiológicas y Metodológicas para su estudio. Premio Sociedad Colombiana de Medicina del Trabajo, Editor Universidad Libre Pereira. 2005. ISBN 958-9783-0-8

[2] Astrand - Rodahl, Fisiología del Trabajo Físico, 3ª Edición 1992 Editorial Panamericana.

[3] Cardona T Gerardo – Jaramillo C, Fernando. Determinación de la capacidad de trabajo físico en el hombre. Testis de grado, Maestría en Instrumentación Física. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira. 2007

[4] www.microchip.com

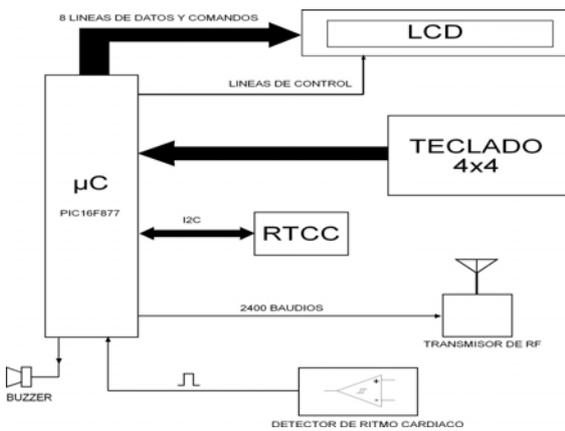


Figura 1. Circuito de procesamiento digital

El equipo Muestra los resultados de la prueba incluyendo los cálculos correspondientes al consumo de oxígeno y el gasto energético, además informa al usuario la fecha y la hora actual ya que cuenta con un reloj de tiempo real, también se visualizan los resultados de pruebas anteriores por medio de un menú de opciones.

2.1.2 Bloque de procesamiento análogo.

Encargado de capturar la señal análoga directamente del paciente; éste segundo bloque se relaciona con la medición del pulso o ritmo cardíaco, dato de suma importancia para establecer la duración de la prueba física y la selección de las tablas de ajuste para el cálculo final del VO₂. En éste bloque la topología del circuito es de tipo análogo, es decir que está formada por elementos electrónicos de respuesta lineal, como son: amplificadores operacionales, transistores, resistencias, condensadores⁵ etc. los cuales conforman los circuitos para el acondicionamiento de las señales captadas (figura 2).

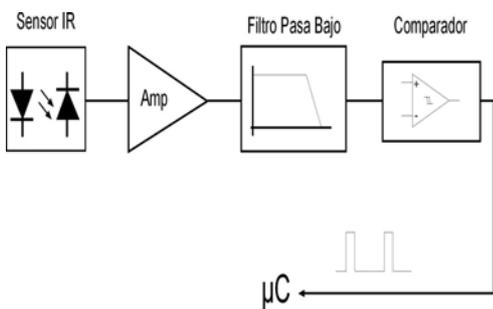


Figura 2. Detector del pulso cardíaco

2.1.2.1 Recepción y Transmisión de datos.

Los datos son enviados por vía inalámbrica al PC a través de un módulo transmisor y un módulo receptor cuyas referencias son TXM-418-LC y RXM-418-LC-S respectivamente. Éstos módulos son fabricados por la empresa LINX TECHNOLOGIES⁶, y tienen gran aplicación en el campo de la seguridad doméstica e industrial, así como en el control de equipos médicos, de monitoreo de procesos, control de luces, acceso remoto, transmisión regular de información, entre otros .

La construcción del módulo transmisor implementa tecnología de modulación AM CPCA (Carrier-Present Carrier Absent) también denominada por otros fabricantes como CW o OOK. En éste modo de funcionamiento la portadora o señal de radiofrecuencia es generada cuando por la línea de entrada del transmisor se envía un "1" lógico (Carrier Present), lo contrario ocurre cuando se envía un "0" lógico (Carrier Absent). Lo anterior tiene grandes ventajas como son 1) un bajo costo debido a la simplicidad del diseño, 2) una mayor tasa de transmisión debido a la eliminación de la marca/espacio (separador entre bits) y 3) alta potencia de salida lo que posibilita un amplio rango de operación en distintos países donde la legislación en cuanto a la utilización del espectro electromagnético varía.

La implementación de éste módulo es bastante sencilla, ya que basta con conectarlo a 5 V. por medio de un filtro pasa bajo formado por una resistencia y un capacitor y luego soldarle una antena de ¼ de longitud de onda, la cual puede ser un trozo de alambre de cobre de la medida adecuada, en éste caso de 16.4 cm. Los datos son simplemente pulsos con niveles TTL o CMOS en el pin de entrada, estos no deben sobrepasar una tasa de 5000 Bits por segundo (5000 Baudios) que es el límite impuesto por el fabricante. Un pin adicional se utiliza para conectar un a resistencia de 430 Ohm a tierra cuando el voltaje de alimentación es de 5 V (figuras 3 y 4).

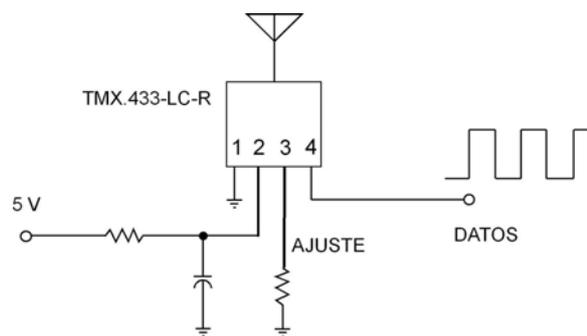


Figura 3. Diagrama de conexión del modulo transmisor.

[5] www.nationalsemiconductor.com

[6] www.linx.com

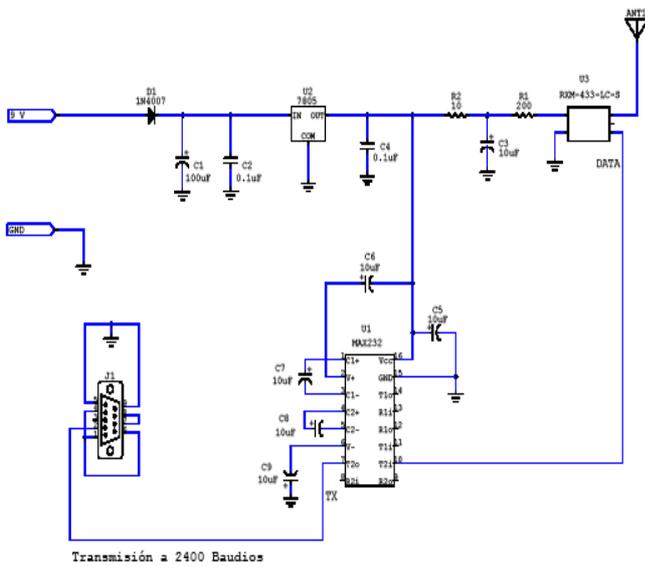


Figura 4. Circuito de Transmisión

La recepción de los datos transmitidos desde el equipo de pruebas es realizada por el módulo RXM-LC-S el cual es de bajo costo y alto rendimiento. Utiliza tecnología SAW (SURFACE ACUSTIC WAVE) basada en recepción CPCA (Carrier-Present Carrier-Absent), es capaz de recibir datos seriales hasta de 5000 bits/segundo. El nivel de salida es CMOS y puede ser acoplada directamente a un decodificador o microprocesador sin necesidad de la utilización de un buffer.

Luego los datos recibidos por el módulo receptor deben ser enviados al PC, pero antes hay que convertir los niveles de tensión para que sean compatibles con el estandar RS-232, para ello se utiliza el circuito integrado MAX232 y sus componentes asociados, con lo que se

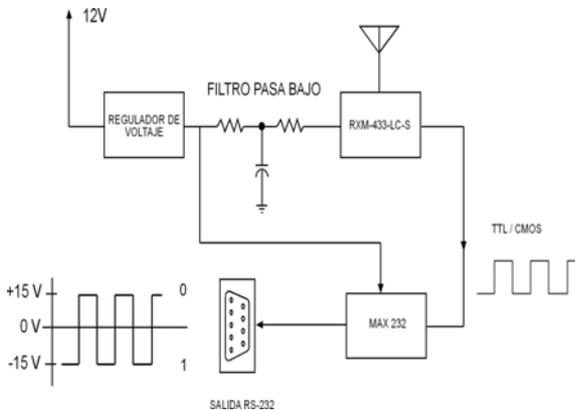


Figura 5. Módulo Receptor

obtienen voltajes de 15 V para el estado alto y de -15 V para el estado bajo (figura 5).

Debido a la eliminación paulatina de los puertos seriales en los computadores actuales, fue necesario utilizar como parte de la unidad receptora un cable convertidor de USB a RS-232.

Con éste cable y su driver correspondiente se logra crear en el PC un puerto serial virtual identificado como COM1 y al cual se le pueden modificar si es necesario sus parámetros, o sea, velocidad, bits de inicio, bits de parada, paridad etc.

2.2. Diseño del software

Esta segunda etapa del proyecto, tiene que ver con el software del microcontrolador que se instala en el PC. Éste último tiene como función mostrar en pantalla los datos del paciente, los parámetros bajo los cuales se realizó la prueba física y los resultados de ésta, también calcula y grafica la curva de gasto energético en función del tiempo para el sujeto bajo prueba. El software se elaboró con el paquete de programación Flash de Macromedia V9 por la facilidad que ofrece para el diseño del entorno gráfico. Los datos se capturaron a través del puerto USB con un convertidor USB – RS232

El microcontrolador PIC16F877 actúa como Unidad central de Procesamiento por lo que lleva acabo tareas como son manejo de teclado, comunicación serial I2C con el reloj de tiempo real (RTCC), comunicación serial para transmisión de datos al PC, manejo de la pantalla de cristal líquido, recepción de pulsos provenientes del circuito de detección de ritmo cardiaco y manejo del transductor de sonido.

3. RESULTADOS.

Para que éste equipo electrónico realice el propósito para el cual fue diseñado debe efectuar las siguientes operaciones:

- 1) Funcionar como temporizador de 3 min. y a la vez como metrónomo con intervalos de 2.65 s., 1.73 s. y 1.32 s. para las pruebas de escalón 1, 2 y 3 respectivamente.
- 2) Generar pausas de 1 min. entre cada prueba y en éstas medir el pulso cardiaco a través de un sensor óptico (Opto acoplador infrarrojo), para luego ser almacenado en memoria.
- 3) Desplegar en pantalla tipo LCD información sobre el estado de las pruebas y datos sobre el paciente bajo examen.
- 4) Memorizar información de cada prueba para luego ser descargada a un computador para su posterior análisis.

- 5) Calcular el valor de la VO₂ max y en consecuencia la CTFM (Capacidad de Trabajo Físico Máximo) incluyendo en los cálculos los factores de corrección así como el género, el peso y la edad del individuo bajo prueba.

Otras variables que puede medir el equipo opcionalmente, son la temperatura ambiente, la humedad relativa y el peso del paciente.

Circuitos de tipo análogo (amplificadores operacionales y componentes asociados) se incluye para el manejo de señales débiles provenientes de los sensores utilizados así como un reloj de tiempo real (DS1307) para relacionar las pruebas con la fecha y la hora.

El diseño de sistema es robusto y sus dimensiones y peso lo hacen portátil; la alimentación de corriente es suministrada por un adaptador AC/DC o por baterías recargables o alcalinas, en éste caso el Back-Light de la pantalla LCD es activado solo en forma manual para el ahorro de energía, además el estado de carga de las baterías es indicado en la pantalla LCD mediante la pulsación de una tecla que para tal propósito se encuentra en el teclado.

En la figura 7 se puede observar el equipo en su apariencia final.



Figura 7. Presentación final del Equipo

4. CONCLUSIONES.

El resultado del presente trabajo, permite a los profesionales bien sea médicos, fisiólogos o cualquier otro relacionado con esta área de conocimiento evaluar de una manera objetiva la capacidad de trabajo físico de un individuo.

El equipo facilita la evaluación de la carga física de trabajo y optimiza el tiempo de la prueba y el requerido para la obtención de los resultados de la misma, facilitando por lo tanto el análisis de los datos.

El equipo diseñado se convierte entonces en una herramienta versátil, sutil, eficaz, fundamental en el momento de implementar no solo programas de salud ocupacional sino también en programas relacionados con el acondicionamiento, mejoramiento o recuperación de la capacidad física de un individuo.



Figura 8. Equipo en funcionamiento

5. Recomendaciones.

Con el fin de optimizar aún más el equipo diseñado, se sugiere.

1. Ampliar la memoria de registros.
2. Extender la longitud del cable del pulsómetro digital.
3. Crear un campo alfanumérico para el número de identificación.
4. El programa solo borra todos los registros almacenados, sería inconveniente que se pudiera borrar registro o, los registros necesarios.
5. Adicionar interruptor de encendido y apagado al equipo de medición, actualmente hay que desconectarlo.
6. Crear un mecanismo que permita amplificar el sonido; en centros de trabajo muy ruidosos se dificulta la ejecución de la prueba.
7. Modificar el programa para que realice cálculos de límite de gasto energético acumulado y barreras de gasto energético, con el fin que se puedan diseñar procesos de trabajo y de pausas.
8. Incorporar en un futuro equipo esfigomanómetro (tensiómetro) digital y sensor de peso, esto haría el equipo más integral.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Velásquez V. Juan Carlos. Carga Física de Trabajo, Bases Fisiológicas y Metodológicas para su estudio. Premio Sociedad Colombiana de Medicina del Trabajo, Editor Universidad Libre Pereira. 2005. ISBN 958-9783-0-8
- [2] Astrand - Rodahl, Fisiología del Trabajo Físico, 3ª Edición 1992 Editorial Panamericana.
- [3] Cardona T Gerardo – Jaramillo C, Fernando. Determinación de la capacidad de trabajo físico en el hombre. Testis de grado, Maestría en Instrumentación Física. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira. 2007
- [4] www.microchip.com
- [5] www.nationalsemiconductor.com
- [6] www.linx.com
- [7] www.nelcor.com
- [8] www.nationalsemiconductor.com
- [9] www.wut.de/e-38001-www-daes-000.php
- [10] www.ucontrol.com.ar/wiki/index.php?title=LCD
- [11] www.drscope.com/privados/pac/anestesia/a1/p55.htm