

## DISEÑOS DE EQUIPOS

PARA MEDIR INDICADORES PSICOFISIOLÓGICOS VALORATIVOS DE CARGA MENTAL DE TRABAJO

### DESIGNS OF EQUIPMENT TO MEASURE EVALUATIVE PSYCHOPHYSIOLOGICAL INDICATORS OF MENTAL WORKLOAD

Juan Lázaro Acosta Prieto<sup>1</sup>

E-mail: [juan.acosta@umcc.cu](mailto:juan.acosta@umcc.cu)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1390-2380>

Joaquín García Dihigo<sup>1</sup>

E-mail: [joaquin.garcia@umcc.cu](mailto:joaquin.garcia@umcc.cu)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3289-7652>

Yoel Almeda Barrios<sup>1</sup>

E-mail: [yoel.barrios@umcc.cu](mailto:yoel.barrios@umcc.cu)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3423-4011>

Yilena Cuello Cuello<sup>1</sup>

E-mail: [yilena.cuello@gmail.com](mailto:yilena.cuello@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4589-8670>

<sup>1</sup>Universidad de Matanzas. Cuba.

#### Cita sugerida (APA, séptima edición)

Acosta Prieto, J. L., García Dihigo, J., Almeda Barrios, Y., & Cuello Cuello, Y. (2023). Diseños de equipos para medir indicadores psicofisiológicos valorativos de carga mental de trabajo. *Universidad y Sociedad*, 15(S1), 366-380.

#### RESUMEN

Los avances tecnológicos suponen mayores exigencias cognitivas, por ello la evaluación de la carga mental es de gran relevancia en el contexto laboral actual. La Universidad de Matanzas presenta afectaciones en el desempeño de prácticas experimentales referentes a la evaluación de la carga mental de trabajo por el deterioro de equipos que permitan la medición de indicadores psicofisiológicos como Frecuencia de Discriminación Cromática (FDC) y Percepción de Profundidad (PP). La presente investigación tiene como objetivo diseñar equipos capaces de medir los indicadores FDC y PP. Para el diseño físico en 3D de los equipos se emplearon los softwares Blender y SketchUp, mediante el software profesional Proteus se realizan los planos electrónicos y se emplea para la configuración del Arduino el lenguaje de programación basado en C++. El diseño físico y electrónico de los equipos para medir FDC y PP se realiza con materiales y componentes modernos, además de emplear mecanismos de almacenamiento de la información que facilitan la práctica experimental. La evaluación de estos indicadores psicofisiológicos es de gran importancia pues ante la presencia de fatiga mental, uno de los primeros síntomas en aparecer es la fatiga visual.

**Palabras clave:** Frecuencia de Discriminación Cromática, Percepción de Profundidad, indicadores psicofisiológicos, carga mental de trabajo.

#### ABSTRACT

Technological advances imply greater cognitive demands; therefore the evaluation of mental load is of great relevance in the current labor context. The University of Matanzas presents affectations in the performance of experimental practices referring to the evaluation of the mental workload due to the deterioration of equipment that allow the measurement of psychophysiological indicators such as Chromatic Discrimination Frequency (CDF) and Depth Perception (FP). The present research aims to design equipment capable of measuring the CDF and DP indicators. For the physical 3D design of the equipment, the Blender and SketchUp software were used, the electronic drawings were made using Proteus professional software, and the programming language based on C++ was used for the configuration of the Arduino. The physical and electronic design of the equipment to measure CDF and DP is carried out with modern materials and components, in addition to use information storage mechanisms that facilitate experimental practice. The evaluation of these psychophysiological indicators is of great importance because in the presence of mental fatigue, one of the first symptoms to appear is visual fatigue.

**Keywords:** Chromatic Discrimination Frequency, Depth Perception, psychophysiological indicators, mental workload.

## INTRODUCCIÓN

En la relación entre la persona y el sistema de trabajo se destacan dos aspectos relativamente diferentes. Por una parte, se encuentra el aspecto puramente físico que hace referencia a la estructura somática de la persona y del que se ocupa la Ergonomía Física. Sin embargo, hay otro aspecto de la relación entre la persona y el sistema de trabajo que hace referencia a como una persona conoce y actúa. La introducción de nuevas tecnologías, los rápidos cambios en el mercado y las estrategias de producción han influido en los contenidos del trabajo y la necesidad de entrenamiento del trabajador, exigiendo de esta forma una mayor demanda cognitiva (Litardo Velásquez et al., 2019). Para poder realizar su tarea una persona tiene que percibir los estímulos del ambiente, recibir información de otras personas, decidir qué acciones son las apropiadas, llevar a cabo estas acciones, transmitir información a otras personas para que puedan realizar sus tareas. Todos estos aspectos son el objeto de estudio de la Ergonomía Cognitiva (Charles & Nixon, 2019; González Betancourt et al., 2022).

La Asociación Internacional de Ergonomía define la Ergonomía Cognitiva como la que se ocupa de los procesos mentales, tales como la percepción, la memoria, el razonamiento y la respuesta motora, que afectan a las interacciones entre los seres humanos y otros elementos de un sistema. Los temas relevantes incluyen carga de trabajo mental, la toma de decisiones, el rendimiento experto, la interacción persona-computadora, la fiabilidad humana, el estrés laboral y la forma como estos pueden estar relacionados con el diseño de los sistemas humanos (IEA, 2023).

Cuando se combinan los términos cognición y ergonomía es para indicar el objetivo de estudiar los aspectos de la interacción entre las personas, el sistema de trabajo y los artefactos que se encuentran en él y diseñarlos para que la interacción sea eficaz. Los procesos cognitivos como percepción, aprendizaje o solución de problemas juegan un papel importante en la interacción y deben ser considerados para explicar tareas cognitivas, tales como la búsqueda de información y su interpretación, la toma de decisiones y la solución de problemas. La Ergonomía Cognitiva está orientada a los aspectos psicológicos del trabajo, basada en cómo el trabajo afecta al Sistema Nervioso Central y cómo la mente afecta al trabajo. Como elemento de estudio principal en el campo de la Ergonomía Cognitiva, se encuentra la carga mental de trabajo.

Se puede definir el término de carga mental de trabajo como un constructo multidimensional y recurso mental

finito que se utiliza para realizar una tarea en condiciones operativas específicas y que se ve afectada por las demandas de la tarea, que a su vez se ve influenciada por la carga perceptiva, la carga cognitiva y la carga motora (Ormaza Murillo et al., 2019). Cabe citar características de la tarea, como las demandas de memoria y atención, presiones temporales y ritmo de trabajo, así como, las funciones a desempeñar, el grado de autonomía, y la interacción con otros trabajadores (Jeffri & Rambli, 2021).

La carga mental siempre va a ser fruto del tipo de tarea, de la capacidad de los participantes y de las circunstancias (Rivera Rojas et al., 2020). Es importante tener esto presente, ya que toda carga mental va a presentar una dimensión cognitiva, que se refiere al esfuerzo desarrollado por el ejecutivo central (memoria de trabajo), y una dimensión emocional derivada de dicho esfuerzo, así como de la retroalimentación resultante de la realización de la tarea cognitiva (Hancock et al., 2021).

Las exigencias de procesos cognitivos demandados para el desempeño laboral en un extenso número de puestos de trabajo, generan que el concepto de carga mental alcance una importancia significativa para el área de la prevención de riesgos laborales.

El desequilibrio entre las demandas de la tarea y las capacidades de los trabajadores puede provocar sobrecarga o subcarga mental de trabajo. La sobrecarga alcanza situaciones en las que el trabajador vive sometido a más exigencias de las que es capaz de soportar, lo cual se traduce en fatiga mental, mientras que la subcarga mental se produce en puestos con pocas tareas y escasas demandas cognitivas (subcarga cualitativa) o tareas sencillas con tiempo suficiente para su ejecución (subcarga cuantitativa) lo que se traduce en la subutilización de las capacidades mentales del individuo (Dehais et al., 2020).

La consecuencia más directa de una carga mental de trabajo inadecuada es la fatiga mental, que aparece cuando, para realizar una tarea, el trabajador debe hacer un esfuerzo mental prolongado, al límite de sus capacidades. Es decir, aparece cuando el esfuerzo que se le exige al trabajador excede su capacidad de respuesta.

Un tratamiento inadecuado de fatiga mental, representa un riesgo, no solo para el trabajador sino también para el entorno laboral en general. La carga mental excesiva puede traer consigo riesgos de lesiones, accidentes de trabajo y enfermedades laborales que conllevan al ausentismo de los trabajadores. Además, puede aumentar los errores laborales y el desempeño de los trabajadores, lo que afecta la productividad de la empresa, su eficiencia, los estándares de producción y el rendimiento en el trabajo. A pesar de la evidente necesidad de la aplicación

de indicadores para su medición y de los beneficios que supone su puesta en práctica, no se han realizado estudios suficientes respecto a esta área.

El estudio de las condiciones de trabajo en determinado puesto, arroja como resultado las posibles afectaciones que puedan sufrir los trabajadores al desempeñar dicho cargo, lo que incluye una carga mental inadecuada. Ante la presencia de la fatiga mental, el organismo sufre alteraciones, lo que evidencia una serie de disfunciones físicas y psíquicas, acompañadas de una sensación de fatiga y una disminución de su rendimiento.

Para la evaluación de la fatiga mental son utilizados una serie de indicadores, los que se complementan entre sí para arrojar un resultado concluyente, debido a la complejidad del concepto. Los mismos son clasificados según expertos como psicológicos, fisiológicos, psicofisiológicos y biomoleculares (Acosta Prieto, 2019; García Dihigo, 2017).

La Universidad de Matanzas cuenta con un laboratorio de Ergonomía que ha sido centro de notables contribuciones en el área, como las realizadas por García Dihigo (1989), Basantes Vaca et al. (2017), García Dihigo (2017), Ormazá Murillo et al. (2019) y Acosta Prieto (2019). No obstante, presenta afectaciones en el desempeño de prácticas experimentales referente a la evaluación de la carga mental de trabajo mediante indicadores psicofisiológicos. Esto se debe a que se encuentran deteriorados los equipos que permiten medir los indicadores FDC y PP. En relación con lo anteriormente planteado se define como objetivo general de la presente investigación diseñar equipos capaces de medir los indicadores FDC y PP.

## DESARROLLO

La presencia de fatiga mental en el desempeño de una tarea en el ambiente laboral está intrínsecamente ligada con afectaciones en el aparato visual, debido a que la formación reticular rige el nivel de alerta de todo el organismo incluyendo el aparato visual. Esta estructura está dispuesta verticalmente a lo largo del sistema nervioso central y ejerce una función dinamizadora en el córtex, pero a su vez influida por los procesos que se efectúan en este, lo cual es regulado y modificado por los cambios que en él se operan, además se adapta fácilmente a las condiciones ambientales durante el curso de la actividad (García Dihigo, 2017; García Dihigo, 1989).

El trabajador, cuya labor demanda constantemente cambios en los estímulos, a veces no esperados, requiere un nivel de alerta incrementado, manifestado en una movilización del organismo para enfrentar las posibles sorpresas. En otras palabras, si la recepción de estímulos

provenientes del exterior es muy variable y exigen un nivel de atención sostenida y elevada, la formación reticular, por cierto, tiempo responde a las exigencias de la tarea que, de prolongarse, comienza a ocurrir un retardo entre la aparición del estímulo y la consecuente respuesta, lo que trae consigo un incremento en ese desfasaje en la medida que se prolonga la tarea (García Dihigo, 1989). Cuando ocurre este proceso se manifiesta la fatiga visual durante el ejercicio de la tarea.

La fatiga visual es una modificación funcional, de carácter reversible, debida a un esfuerzo excesivo del sistema. A nivel de fatiga localizada, la fatiga puede ser un fenómeno secundario a trastornos de la refracción del ojo, como la presbicia, hipermetropía y astigmatismo, cuando se cansa el músculo ciliar (astenopia), debido a un esfuerzo continuado. Los dos factores más importantes para la aparición de la fatiga ocular, son: La disminución de la amplitud de acomodación y la fatiga general (Norroña Salcedo & Vega Falcón, 2022; Park et al., 2019).

La aplicación de indicadores psicofisiológicos posee peculiar importancia debido a que se caracterizan por la facilidad de su aplicación puesto que no requieren de equipos especializados y por tanto no necesitan de altos costos para su implementación, además de que no son procedimientos invasivos y no requiere de aislar al individuo del puesto de trabajo bajo condiciones experimentales para medir el indicador.

El equipo que mide el indicador FDC se fundamenta en las alteraciones ocurridas en el nivel psicofisiológico. Tiene su procedencia en un equipo de oftalmología, llamado Flicker, que dio origen al indicador psicofisiológico frecuencia crítica de fusión. que determina la frecuencia para la cual el sujeto comienza a apreciar el centello de una luz, cuando su frecuencia de aparición disminuye. Su creador es el Ingeniero Industrial y Doctor en Ciencias de la Universidad de Matanzas Joaquín García Dihigo. Se le otorgó la patente al equipo que mide este indicador psicofisiológico en el año 1986, concedido por la ONIITEM (García Dihigo, 1989). Consiste en determinar la mínima frecuencia a la cual se discrimina la composición cromática de un disco que aumenta o disminuye su velocidad paulatinamente, si se tiene en cuenta que la prueba es ascendente o descendente.

Solo existe una referencia previa del uso de este indicador, después de haber sido patentado por García Dihigo (1989) que realiza prueba a 25 sujetos expuestos a puestos de trabajo que más carga mental demandan en los centrales azucareros, y 23 de ellos disminuyeron los valores tomados después de la jornada laboral, con elevada significación estadística, o sea, el individuo necesitaba

de una frecuencia menor para poder detectar la composición cromática del disco, lo cual corrobora la hipótesis, aunque en dos obreros los resultados antes y después fueron iguales. El promedio de los valores obtenidos de dichas pruebas a 25 sujetos fue: antes de comenzar la jornada laboral, es decir, en ausencia de carga mental de trabajo de 10 500 revoluciones por minuto (rpm), y luego de finalizada la jornada laboral de 8 000 rpm, lo cual arroja una diferencia significativa de 2 500 rpm, pues se pone de manifiesto una alteración de la excitabilidad de las vías visuales y posiblemente de todo el sistema nervioso central (García Dihigo, 1991).

García Dihigo (1989) hace referencia al indicador psicofisiológico para valorar trabajo mental FDC, donde se refleja su concepción y validación. Luego García Dihigo (1991) realiza un estudio en los trabajadores de los centrales azucareros, donde emplea el equipo para medir FDC.

También Almirall Hernández et al. (1995) refieren alcanzar diferencias estadísticas significativas entre el antes y el después. Un estudio realizado por Ormaza Murillo et al. (2019) alcanzan resultados favorables en actividades donde el analizador visual no es determinante.

Por otro lado el indicador PP ha sido definido de diferentes maneras. Según el punto de vista de su análisis uno de estos planteamientos lo menciona como la capacidad subjetiva de identificar distancias relativas, esta se presenta en diversos grados. También es considerada como la más pequeña separación discernible en profundidad que una persona puede detectar en función de la geometría de las imágenes en sus ojos (Chinlli & Heredia, 2023). Otros la consideran como la capacidad de distinguir binocularmente una diferencia de dos objetos estáticos (Che, 2022).

La Percepción de Profundidad es reconocida como un indicador psicofisiológico desde principios de siglo por numerosos investigadores y laboratorios. No obstante su uso como evaluador del estado funcional y como indicador fue de un efecto negativo, producto del desempeño de una actividad, no ha logrado un reconocimiento generalizado, principalmente en la Ergonomía, Fisiología y Psicología del Trabajo. A esto ha contribuido la escasa divulgación que tienen los indicadores psicofisiológicos en el campo de las ciencias aplicadas y en particular el concerniente a la relación Salud - Trabajo. De gran relevancia resultan también los costos de la tecnología moderna dedicada a la evaluación de las modalidades que reflejan el estado funcional del trabajador, aspecto que se hace determinante en países del tercer mundo con muy pocos recursos para la investigación- acción en áreas propias

de un enfoque preventivo, como puede ser el caso de la salud de los trabajadores (Vargas María, 2020).

En la actualidad existen varios tests para la medida de la estereoagudeza, entre ellos se encuentran: el Test Titmus Wirt, Test de Frisby, Test TNO, Test de visión ciclópea y Test de Randot; pero el Test de Howard Dolman, conocido en el campo de la Ergonomía como Caja Gover, ha sido la prueba mayormente utilizada para la evaluación de este indicador por su alto grado de fiabilidad y seguridad (Fernández Villacres et al., 2021).

La prueba de la Caja Gover consiste en un equipo que contiene tres varillas verticales de iguales características vistas sobre un fondo blanco con iluminación homogénea para evitar la presencia de sombras, separadas a una distancia fija, que son observadas a través de una rendija horizontal. Dicha apertura sirve para que el sujeto vea únicamente la parte central de las varillas para evitar así que se fije en la parte superior o inferior; de esta manera se consigue eliminar las pistas monoculares. La tarea del sujeto consiste en detener la varilla móvil, cuando considere que se encuentra equidistante a las varillas fijas.

Varias han sido las investigaciones que muestran resultados satisfactorios mediante el uso del indicador percepción de profundidad y su vinculación a estudios sobre carga mental. García Dihigo (2017) evalúa los efectos negativos del esfuerzo mental en profesiones que precisan de exigencias neuropsíquicas mediante la prueba de la Caja Gover, además comprueba su gran utilidad en el intento de diagnosticar los llamados efectos negativos del trabajo como las alteraciones relacionadas con los fallos y la eficiencia, así como la disminución del rendimiento y las manifestaciones típicas del estrés y la fatiga, Ormaza Murillo et al. (2019) incluye la prueba de la Caja Gover como método para evaluar la carga mental de trabajo mediante el indicador psicofisiológico percepción de profundidad y la misma fue validada por los autores en los estudios previamente mencionados.

#### *Características de los equipos existentes en la Universidad de Matanzas para medir los indicadores FDC y PP.*

El equipo capaz de valorar el indicador psicofisiológico FDC consta de un motor de corriente alterna acoplado a un potenciómetro, el cual al accionarlo regula la frecuencia de rotación de un disco que el motor tiene acoplado a su eje. Un tacómetro indica la frecuencia de rotación del disco que es colocado de frente al sujeto a evaluar. Trabaja con 110 V, es de poco peso y se ha construido en Cuba, su manipulación es relativamente sencilla, al igual que la interpretación de los resultados (García Dihigo, 1989). El mismo se encuentra dividido en franjas de diferentes colores: un disco compuesto por rojo, amarillo y

azul, y otro blanco y negro, dispuestos en forma análoga al conocido disco de Newton, las que al girar a alta velocidad impiden que puedan ser discriminados los componentes cromáticos del disco (García Dihigo, 1989)

La Caja Gover se utiliza para medir el indicador de PP, el equipo existente consiste en una caja metálica rectangular de color gris claro en cuyo interior se encuentran tres varillas plateadas, dos de ellas son fijas y la del centro se desplaza mediante un movimiento rotatorio que genera el evaluador al girar una manivela ubicada en el exterior de dicha caja, y mediante pares de poleas de igual diámetro situadas en el interior del equipo a cierta distancia con ejes paralelos, se transmite el movimiento conducido por un hilo al que se le ajusta la base de la varilla central, y convierte el movimiento circular de la manivela en movimiento rectilíneo de la varilla. Cuando la persona que realiza la prueba considere que se encuentran alineadas las varillas, informa verbalmente al evaluador para que deje de girar la manivela.

#### *Propuesta de nuevo diseño del equipo para medir el indicador FDC.*

Para el diseño del equipo para evaluar el indicador FDC se tiene en cuenta que cumpla con los requerimientos teóricos para poder efectuar las pruebas de visualización correctamente. Además, se diseña el equipo de forma tal que tenga una estructura compacta, lo que facilita su transportación. Otro aspecto a destacar en el diseño es que se intenta crear una interfaz simple, por lo que se encapsula todos los elementos posibles. El equipo está pensado para ser utilizado en ambientes controlados de laboratorio, por lo que no se tiene en cuenta ningún requerimiento de protección contra golpes ni contra agua.

El equipo evalúa el indicador psicofisiológico FDC mediante la rotación de un disco cromático, acoplado al motor del equipo. El máximo valor de velocidad de rotación al que puede distinguir los colores el ojo humano es de 3600 rpm, valor obtenido a partir de investigaciones realizadas por García Dihigo (1988) con el equipo ya existente, por lo tanto, se requiere de un motor que permita hacer girar el disco de colores a una velocidad superior a 3600 rpm. Para seleccionar el tipo de motor a utilizar, se tiene en cuenta dos aspectos: disponibilidad y facilidad de uso. Para el diseño del equipo se cuenta con un motor de corriente directa de 5V modelo RF-500TB12560 y un motor paso a paso de 12V modelo 42SHD0001-24. Al evaluar la facilidad de uso de los motores, se determina que el motor de corriente directa es más sencillo e idóneo de emplear en el equipo ya que el motor paso a paso no cuenta con la potencia requerida para el diseño del equipo. Ambos motores requieren de un controlador

para poder variar la velocidad a la que rotan, por lo que en este aspecto ninguno representa una ventaja sobre el otro. Después de haber analizado los aspectos anteriores se decide utilizar el motor de corriente directa.

Para controlar el motor de corriente directa se utiliza un chip modelo L298N. Este chip permite controlar dos motores de corriente directa o un motor paso a paso bipolar de hasta 2A. El módulo puede ser alimentado con una fuente entre 6 y 12V o entre 12 y 35V. En el caso de que se alimente con una fuente entre 6 y 12V, se debe conectar el jumper señalado en la figura 2.3 para regular internamente el voltaje de la parte lógica sin necesidad de otra fuente independiente. Por el contrario, si se alimenta con una fuente entre 12 y 35V, se debe proporcionar otra fuente de alimentación independiente de 5V para la parte lógica del integrado.

Al contarse con una fuente de alimentación que suministra 12V, es posible cualquier configuración descrita anteriormente, por lo que se opta por la primera configuración, lo que además permite utilizar el pin de 5V del chip para alimentar a otros dispositivos del sistema. El chip L298N ofrece varias opciones de control para motores de corriente directa, pero la requerida es una en la que se pueda variar la velocidad.

Una vez que se dispone del motor y el chip para su control, el siguiente paso en el diseño es seleccionar un microcontrolador que permita generar la señal PWM y además manejar todos los otros elementos necesarios del sistema. Para este fin se utiliza un Arduino UNO.

El Arduino UNO es una placa de microcontrolador de código abierto basado en el microchip ATmega328P. La placa está equipada con conjuntos de pines de entrada/salida digitales y analógicas que pueden conectarse a varias placas de expansión y otros circuitos. La placa tiene 14 pines digitales, 6 pines analógicos y programables con el Arduino IDE (Entorno de desarrollo integrado) a través de un cable USB tipo B. Puede ser alimentado por el cable USB o por una batería externa de 12V, aunque acepta voltajes entre 7 y 20V. El diseño de referencia de hardware se distribuye bajo una licencia Creative Commons Attribution Share-Alike 2.5 y está disponible en el sitio web de Arduino. Los archivos de diseño y producción para algunas versiones del hardware también están disponibles.

Además de los componentes antes analizados, se precisa conectar un botón tipo pulsador que permita indicar cuándo iniciar la prueba "Start" y otro para indicar cuándo finalizar la prueba "Stop". También es necesario añadir al sistema un dispositivo de visualización para que la persona que se encuentre en el control del equipo conozca a

qué velocidad de rotación en rpm el usuario deja de percibir los colores (prueba ascendente) o percibe los colores (prueba descendente). Para la visualización se utiliza una pantalla LCD1602 de 16x2 caracteres alfanuméricos. La pantalla se controla con el Arduino UNO mediante un adaptador a bus de comunicación I2C que viene integrado a la pantalla LCD. De esta manera, la comunicación I2C se realiza por los pines A4 y A5.

El sistema se compone de la unión de todos los elementos descritos previamente. Una imagen general del diseño electrónico del equipo para medir el indicador FDC se muestra en la figura 1.

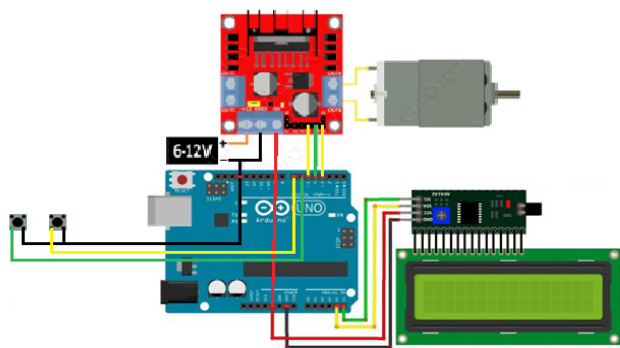


Figura 1. Diseño electrónico del equipo para medir el indicador FDC.

Fuente: elaboración propia.

Además, se le añade al diseño un dispositivo CNY70 que es un sensor reflexivo infrarrojo, de un rango de corto alcance (menos de 5cm), cuya alimentación es de 5V y está basado en un emisor de luz y un receptor, ambos apuntan en la misma dirección, y cuyo funcionamiento se basa en la capacidad de reflexión del objeto y la detección del rayo reflejado por el receptor. El LED (emisor) emite un haz de radiación infrarroja, el fototransistor (receptor) recibe ese haz de luz cuando se refleja sobre alguna superficie u objeto (en este caso una franja blanca adherida por debajo del disco giratorio de colores). Este dispositivo CNY70 va conectado al Arduino y al pasar la franja blanca adherida por debajo del disco de colores, el fototransistor recibe la luz emitida por el LED infrarrojo, lo que genera un pulso que es enviado al pin #2 del Arduino. Este sensor cumple la función de captar todos los pulsos que genera la rotación del disco cromático y enviar dicha información al Arduino para determinar las rpm a la que gira el disco al realizar la operación de multiplicación por 60.

El sistema que se visualiza en el diagrama cuenta fundamentalmente de 4 partes principales: Arduino, driver

L298N, pantalla LCD y sensor reflexivo infrarrojo CNY70. El circuito eléctrico se realiza a través del software profesional "Proteus".

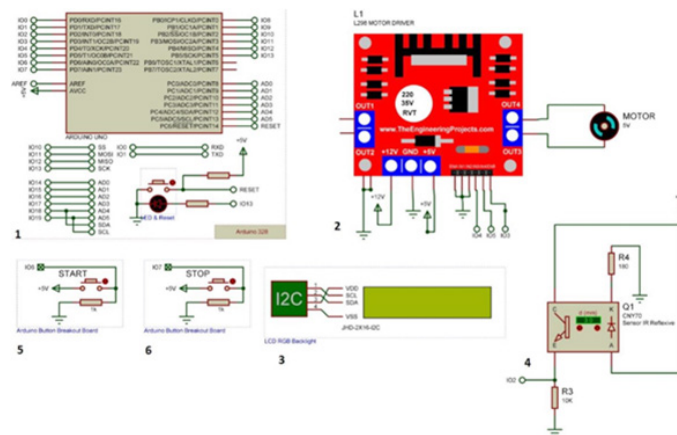


Figura 2. Plano eléctrico del equipo para la valoración del indicador FDC.

Fuente: elaboración propia.

Según los números asignados en el plano eléctrico, el circuito eléctrico se compone por:

1. La placa Arduino UNO
2. Chip L298N conectado al motor DC
3. La pantalla LCD 16x2 I2C
4. El sensor reflexivo de infrarrojo CNY70 y el circuito asociado de polarización.
5. Botón de comienzo "Start"
6. Botón de final "Stop"

En la placa Arduino UNO está conectado el botón "START" al pin digital #6 (IO6) que es el encargado de transmitirle al programa cuando comienza la prueba y el botón "STOP" al pin digital #7 (IO7) mediante el cual se finaliza la prueba. La pantalla LCD es la encargada de mostrar los mensajes y los resultados del test, conectada a los pines A4 y A5.

La placa del driver se alimenta con +12volts de una fuente de alimentación estabilizada y suministra un voltaje regulado y estabilizado de +5 volts para el correcto funcionamiento del Arduino (por lo que no hace falta tener otra fuente independiente para alimentar al controlador), los pines: ENA, IN1 y IN2, van a tierra (0 volt) para evitar que se induzcan voltajes parásitos y de lugar a comportamientos no esperados en el controlador, ya que no se usan. El pin IN3 se conecta al pin digital 4 y el pin IN4 al pin digital 5, que son los encargados de darle el sentido de giro al motor y el pin ENB está conectado al pin digital

#3 que es la salida del Arduino utilizada como salida PWM (Pulse Width Modulation) la que controla la velocidad con la que gira el motor DC.

La conexión al pin #2, programado para recibir los pulsos del sensor infrarrojo (IR) reflexivo para medir las rpm a la que gira el motor. Cuando gira el disco cromático este es de color negro por debajo y solo tiene una franja blanca, que es la que refleja la luz emitida por el LED infrarrojo y es captado por el fototransistor, lo cual arroja como resultado un pulso al pin #2 y este a su vez activa una interrupción que cuenta los pulsos.

El lenguaje de programación de Arduino está basado en C++ y aunque la referencia para implementar adecuadamente el lenguaje de programación se encuentra en <http://arduino.cc/en/Reference/HomePage>, también es posible usar comandos estándar de C++ en dicha programación.

El diseño del equipo se realiza mediante el software Blender para realizar diseños en 3D. Presume de una apariencia física moderna y atractiva, de gran facilidad de uso y maniobrabilidad, además se caracteriza por ser de poco peso, compacto y funcional. En cuanto al aspecto físico, el material que puede ser utilizado para el encapsulado del equipo es el zinc o aluminio, es decir, la pieza superior e inferior, el fondo y los laterales pueden ser construidos de zinc o aluminio. Las dimensiones del equipo son 467 mm de largo, 225 mm de ancho y 200 de altura. El material utilizado para los discos de colores que se acoplan al eje del motor de corriente directa es el plástico. Se emplean 2 discos para la realización de las pruebas, uno compuesto por los colores primarios: rojo, azul y amarillo, y otro por los colores negro y blanco, las dimensiones de los mismos son: 90,0 mm de ancho y 170 mm de diámetro. En la parte delantera se encuentran los botones tipo pulsador, y una ventanilla por donde se visualiza el disco cromático con una inclinación hacia arriba de 20 grados con respecto a la horizontal, para que el sujeto que se ubique frente al equipo tenga una visión clara y cómoda con respecto al equipo.

El diseño propuesto para el equipo evalúa el indicador psicofisiológico FDC se muestra en la figura 3 y 4.

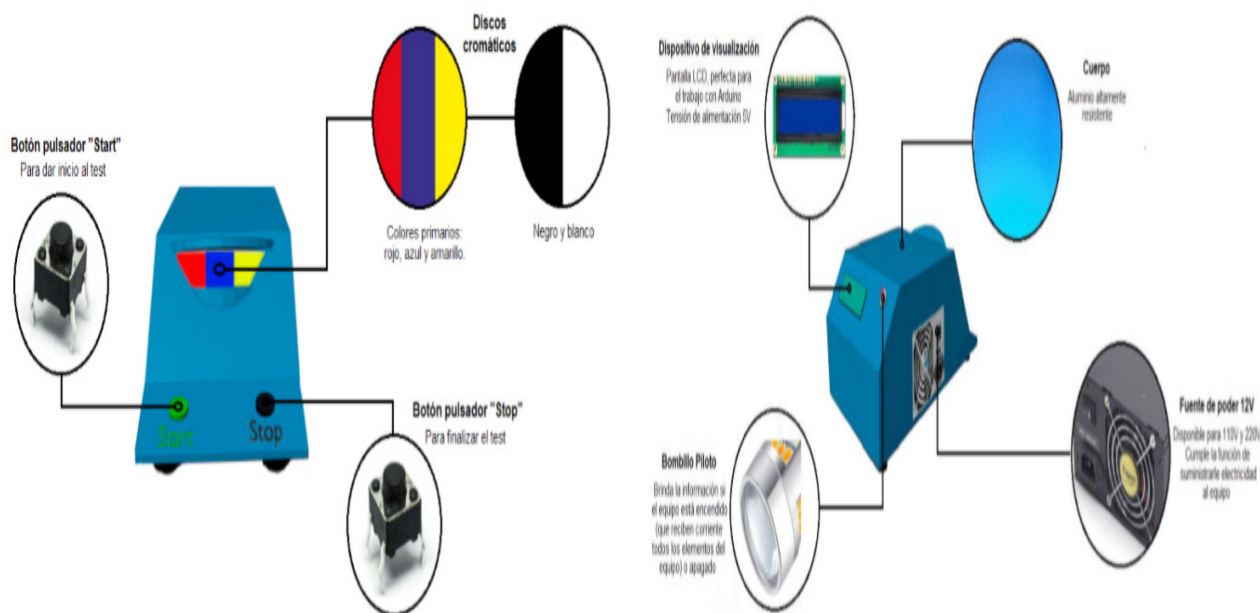


Figura 3. Imagen frontal y lateral del equipo para medir el indicador FDC y sus componentes

Fuente: elaboración propia

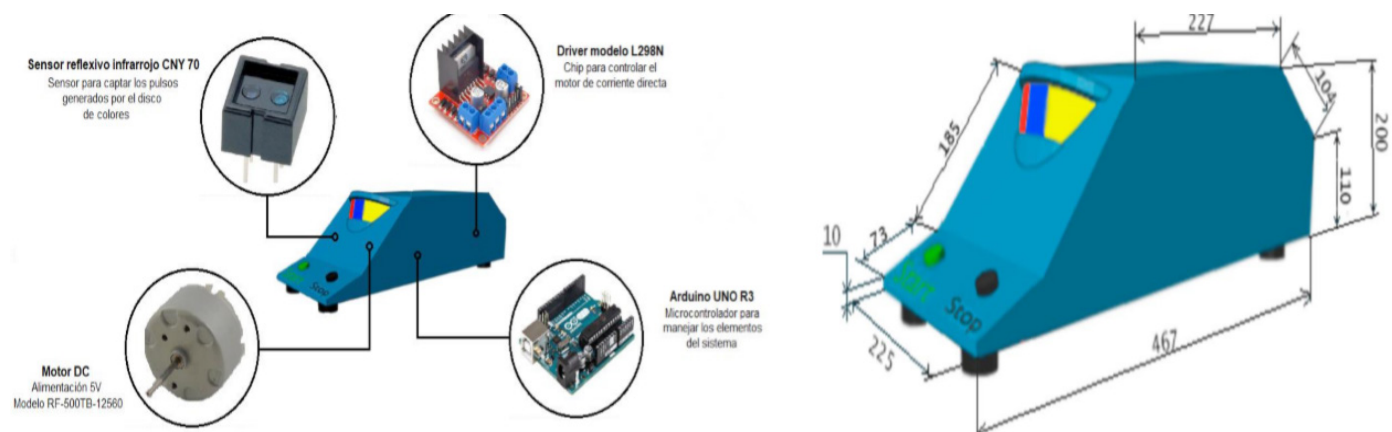


Figura 4. Imagen general del diseño del equipo, componentes electrónicos y dimensiones

Fuente: elaboración propia.

Se realiza a continuación una evaluación del equipo para medir el indicador FDC en un ambiente económico.

Por consiguiente, se reflejan en la siguiente tabla los costos potenciales por unidad de los materiales necesarios para la construcción del equipo, así como su costo total.

Tabla 1. Determinación de los costos del equipo para medir el indicador FDC.

Materiales	Costo Unitario (USD)
Motor de corriente directa	\$ 9.04
Arduino UNO	\$ 23.85
Chip L298N	\$ 6.69
Pantalla LCD	\$ 9.66
Botones pulsadores	\$ 1.96
Fuente de alimentación	\$ 30.00
Sensor infrarrojo CNY70	\$ 11.52
Armazón de aluminio	\$ 15.50
Costo Total	\$ 108,22

Fuente: elaboración propia.

Los costos potenciales de cada pieza que compone el equipo en cuestión han sido tomado de [www.amazon.com](http://www.amazon.com), en cuya plataforma el costo unitario está dado en USD. Por ende, el costo total del equipo en potencia solo es un aproximado, ya que los precios podrían variar en dependencia del lugar o mercado donde se obtenga cada pieza, además del tipo de moneda, así como el valor de la misma en el momento en que se efectuó la compra de dichas piezas.

El equipo diseñado, según el análisis económico desarrollado, posee un costo potencial aproximado de 109 (USD), con un desarrollo tecnológico superior al equipo ya existente para valorar el indicador FDC, el cual fue construido con materiales en desuso y recortes de zinc, por lo que no tiene un costo definido.

Aunque ambos equipos poseen la misma funcionalidad, el equipo diseñado está dotado con componentes modernos que facilitan el trabajo a la hora de aplicar el indicador FDC.

#### *Propuesta de nuevo diseño del equipo para medir el indicador PP.*

El diseño de la Caja Gover automatizada para la evaluación del indicador psicofisiológico PP se espera que sea un equipo fácil de manejar, con gran precisión y funcionalidad. Se mantiene el procedimiento empleado en la versión



existente de que el equipo cuente con tres varillas, dos de estas fijas y la del centro móvil. A continuación, se exponen las mejoras fundamentales aplicadas en el nuevo diseño.

Como parte del diseño electrónico del equipo para medir el indicador PP, se exponen los componentes electrónicos propuestos para la fabricación de la Caja Gover automatizada, así como las conexiones entre ellos. Estos datos se detallan a continuación.

El sistema está integrado por los siguientes componentes electrónicos:

- Placa Arduino UNO

Se selecciona la placa Arduino UNO, pues es la más utilizada y la que posee mayor cantidad de documentación, además de ser una de las más económicas. La misma contiene un microcontrolador ATmega328, procesador que se encarga de ejecutar las instrucciones del programa que se suministra mediante conexión USB. El código se desarrolla con el Arduino IDE, software que utiliza un lenguaje de programación basado en C++. La placa está equipada con 14 pines digitales de entrada y salida, de los cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM (Modulación por ancho de pulsos). Incluye además 6 pines para entradas analógicas y todo lo necesario para que el microcontrolador haga su trabajo, basta con conectarla a un ordenador con un cable USB o a la corriente eléctrica a través de un transformador.

Se ha establecido que la varilla, una vez enchufado el equipo, busque el sensor frontal (Front sensor) y a partir de aquí comience un conteo de la cantidad de pasos hasta llegar al sensor del fondo (Back sensor), registrando a su vez la posición del sensor central (Middle sensor); esto garantiza que, en caso de ser necesario cambiar el diámetro de la polea o la longitud de la correa, no sea preciso alterar la programación. Este proceso no se repetirá entre mediciones, pues el equipo almacenará esta información hasta tanto no se desconecte.

Para registrar la distancia que se ofrece como resultado de cada prueba, se establece una variable destinada a contar la cantidad de pasos que recorre la varilla móvil desde el lugar donde esté ubicada para iniciar la medición (en dependencia de si la prueba es ascendente o descendente) hasta el lugar donde el usuario detiene la misma. Si en la trayectoria no se altera el sentido de la varilla, esta variable sumará cada paso dado; en caso de que se rectifique el sentido en que se mueve la varilla, y se varíe el sentido de giro del motor, la variable contadora comienza a restar los pasos a su previo resultado. A este valor obtenido por la variable contadora se le resta la

cantidad de pasos registrados desde el sensor de inicio de la prueba hasta el sensor central y se multiplica por -1 en caso de un resultado negativo; lo que arroja una diferencia en pasos equivalente a la distancia de la varilla móvil con las fijas.

El programa convierte el valor resultante de pasos a milímetros mediante la ecuación 1 y 2.

**Ecuación 1.** Ecuación para determinar la distancia resultante en milímetros.

$$D = D_p * \text{valor resultante en pasos}$$

**Ecuación 2.** Ecuación para determinar la distancia de un paso en milímetros.

$$D_p = \pi * \text{diámetro de la polea} * \text{paso angular} / 360^\circ$$

D: Distancia resultante en milímetros.

D<sub>p</sub>: Distancia de un paso en milímetros.

Al ser el valor angular de un paso del motor STP-42D221-03 de 1.8°, al este dar 200 pasos, movería la polea de 20.5 mm de diámetro una vuelta completa, y a su vez desplazaría la correa junto a la varilla central 64.4 mm, y al dar solamente un paso 0.32 mm. La distancia entre varillas en milímetros sería equivalente a la multiplicación del valor resultante en pasos por 0.32 mm.

Se establece entre 10 y 20 milisegundos la demora entre paso y paso para garantizar que la velocidad de la varilla esté comprendida en el intervalo de 16 a 32 mm/s, regulado por la palanca del potenciómetro lineal.

- Step-motor unipolar STP-42D221-03

En este caso se selecciona el motor paso a paso unipolar STP-42D221-03, el mismo es el utilizado en la fabricación de impresoras Epson, las que son de muy buena calidad y muy empleadas en nuestro país en los sectores empresarial y educacional, hecho que facilita que al averiarse alguna de ellas sea reutilizada esta pieza para hacer más económica la fabricación del equipo. Este motor garantiza gran exactitud en la posición y repetición de los movimientos, con error de paso inferior al 5% y perfecta respuesta en arranque y parada, a diferencia de los motores de corriente continua. Además es confiable y duradero por la ausencia de engranajes en su composición. El ángulo del paso de este motor es de solamente 1.8°, por lo que realiza 200 pasos para finalizar una vuelta completa, lo que permite controlar su posición con mayor precisión. La velocidad del motor puede ser variada por la persona evaluada mediante el empleo de un potenciómetro lineal. Dicho motor opera con una polea dentada de 20.5mm de diámetro.

- Driver L298N asociado al motor paso a paso

Se selecciona para el diseño el Driver L298N por su gran compatibilidad, lo que facilitaría el reemplazo del motor en caso de que sufra una posible avería. Este Driver tiene además gran capacidad de filtrado de ruido y cuenta con un diodo de protección contra corriente inversa, lo que genera que su funcionamiento sea más estable y fiable.

- Sensores reflexivos por infrarrojo CNY-70

Fue seleccionado este sensor para el equipo a diseñar, pues el mismo registra automáticamente el valor de la posición al tener proximidad con la varilla, sin necesidad de ejercer una fuerza mecánica.

Cuando el fototransistor capta la luz emitida por el infrarrojo reflejada por la varilla en su desplazamiento, pasa una alimentación de 5V y envía un valor alto (HIGH) al Arduino; en caso de que la varilla no pase frente al sensor, el voltaje se mantiene en 0 y no se capta señal por parte del Arduino. Como la varilla tiene forma cilíndrica, y el sensor se establece para un índice de reflexión alto, el haz de luz del infrarrojo se capta por el sensor solamente cuando este se encuentre en su punto de tangencia con la varilla, o sea, cuando el haz de luz equidiste a la parte central de la varilla en su desplazamiento.

Al equipo a diseñar en la presente investigación se le incorporan tres de estos sensores colocados de forma vertical, encargados de detectar la máxima proximidad de la varilla móvil en diferentes posiciones:

- El sensor reflexivo por infrarrojo CNY-70 al inicio y el circuito asociado de polarización (FRONT SENSOR).
- El sensor reflexivo por infrarrojo CNY-70 del medio y el circuito asociado de polarización (MIDDLE SENSOR).
- El sensor reflexivo por infrarrojo CNY-70 del final y el circuito asociado de polarización (BACK SENSOR).

- Pantalla LCD 16x2 I2C

Para la visualización de las instrucciones operacionales y los resultados numéricos de la prueba, se selecciona la pantalla LCD 16x2, que consta de 2 líneas con 16 caracteres alfanuméricos cada una. Los 32 caracteres de 8 x 5 píxeles, son suficientes para reflejar los mensajes

precisos necesarios en cada momento de la prueba. La pantalla se conecta al Arduino UNO mediante el bus de comunicación I2C, por su fácil integración y por utilizar solamente 2 pines de entrada analógicos, para dejar el resto para otras conexiones necesarias.

- Botón pulsador

El botón pulsador es el encargado de la interrupción, es decir, al presionarlo envía una señal al Arduino para detener la varilla móvil, así como el tiempo que ha tomado realizar la prueba.

Potenciómetro lineal

El potenciómetro se utiliza para controlar los niveles de corriente y voltaje dentro de un circuito eléctrico. Proporciona una resistencia variable según se modifique su posición, si está totalmente cerrado se obtiene como salida el máximo voltaje (5V) y si está totalmente abierto se obtiene 0V; en caso de que esté en una posición intermedia se obtiene una fracción del voltaje de entrada proporcional a la posición en que se encuentra. El Arduino tiene un conversor AD (Analógico-Digital) cuya resolución es de 10 bits, lo que implica que se tienen 1024 valores diferentes, y el mismo detecta cambios de voltaje de 0.004V (5/1024) al leer en un rango de tensiones desde 0V hasta 5V, por lo que los valores que se obtienen irán de 0 hasta 1023. El potenciómetro lineal cuenta con tres intervalos según la programación del software: de 0 a 400; de 400 a 600 y de 600 a 1023. En el intervalo central de 400 a 600, habrá un rango muerto donde la varilla se detiene. De 600 a 1023 la varilla se moverá hacia adelante, y en dependencia del sentido en que se mueva la palanca del potenciómetro en ese rango dependerá la velocidad que tome la varilla, incrementándose al alejarse del rango muerto central. Por su parte, en el intervalo de 400 a 0 la varilla se moverá hacia atrás, y su velocidad será modificada de la misma manera mediante la palanca del potenciómetro. En caso de que sea preciso corregir el sentido de la varilla la palanca del potenciómetro deberá pasar el punto muerto central y continuar su curso hacia el intervalo del otro extremo.

En la figura 5 se muestra la representación gráfica de las conexiones entre los componentes electrónicos del equipo para medir el indicador PP.

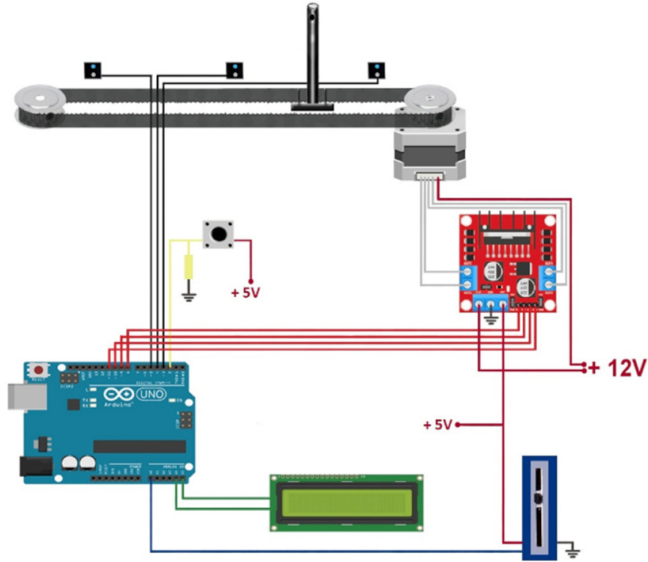


Figura 5. Conexiones entre los componentes electrónicos del equipo para medir el indicador PP.

Fuente: elaboración propia.

A continuación en la figura 6 se muestra el plano electrónico del equipo, donde se exponen los componentes electrónicos de la Caja Gover automatizada previamente detallados y sus conexiones, realizados con la ayuda del software profesional Proteus.

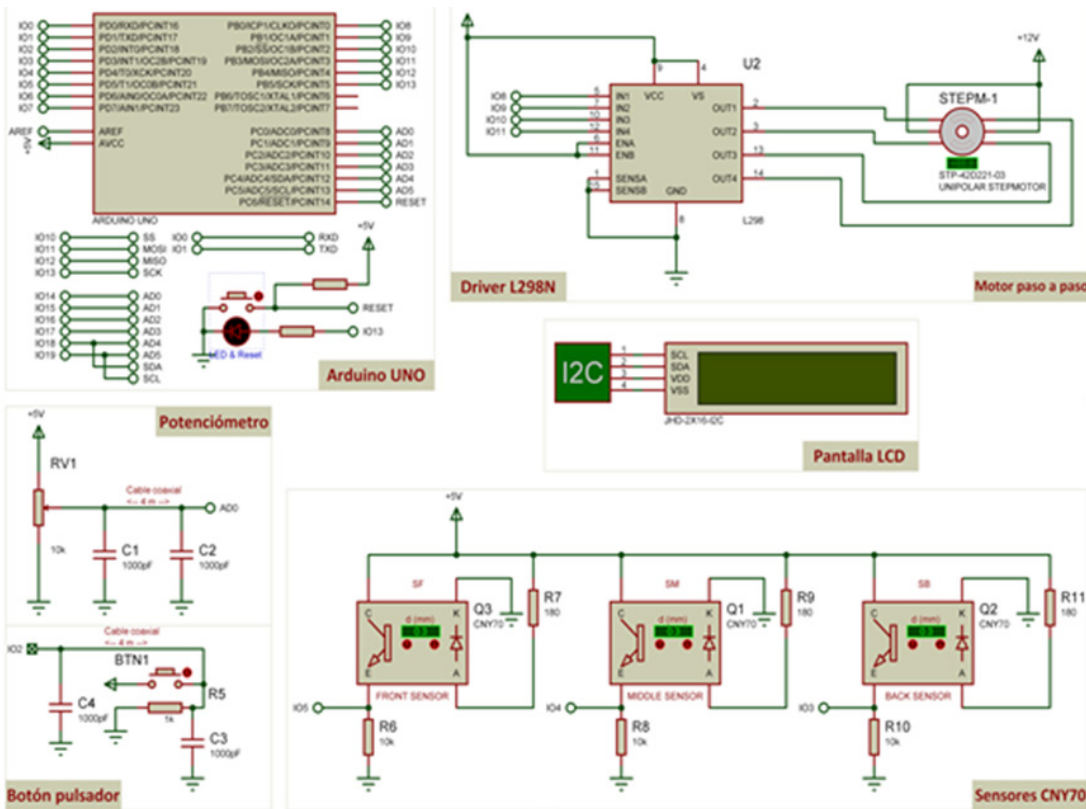


Figura 6. Plano electrónico del equipo para medir PP.

Fuente: elaboración propia.

El equipo tendrá las siguientes dimensiones: 30cm de altura, 22cm de ancho y 55cm de profundidad. La ventana por la que se visualizan las varillas al realizar la prueba cuenta con 10 cm de ancho y 18 cm de largo (Figura 2.5). La varilla móvil se encuentra en el centro y las fijas se sitúan a ambos lados de esta a 6 cm cada una, y a su vez a 5 cm del borde externo de la caja; cada una con una altura visible de 10 cm y un diámetro de 0.6 cm.

Se emplea un plafón con luces LED de alta intensidad, que garantiza un flujo luminoso de 400 lux y ofrece al fondo una iluminación homogénea con un aspecto plenamente blanco y carencia absoluta de sombras, así como un alto contraste entre el mismo y las varillas. Estas luces LED se caracterizan por su iluminación nítida y brillante, su bajo consumo energético y su amplia vida útil.

Se propone las varillas metálicas de color negro mate, para garantizar el mayor contraste posible entre las mismas y el fondo, y evitar que en ellas se refleje luz, para eliminar pistas monoculares que afecten la medición. Es de señalar que la parte inferior de la varilla central no observable por el usuario, debe tener un color reflectante para que sea captada con facilidad por los sensores.

Como propuesta de mejora fundamental, se encuentra la sustitución del sistema manual para dar movilidad a la varilla central por un sistema motorizado en el que se incorpora un motor paso a paso con una correa y dos poleas dentadas, para garantizar un mayor rozamiento que evite que la corre resbale y altere el resultado de la medición. A su vez, se le incorpora una pieza como base a la varilla móvil que se ajusta a la correa y una ranura para que la misma se desplace firmemente.

En el diseño se añade un pulsómetro y un botón de parada, conectados al equipo mediante cable coaxial para ser utilizado a distancia por el usuario, para que el mismo sea capaz de regular personalmente la velocidad y el sentido de la varilla y de detener la misma cuando considere.

Adherida a la carcasa del equipo se incorpora una pantalla LCD, donde se muestran las instrucciones operacionales, así como los resultados de la prueba. Es de señalar que debe estar ubicada en la zona lateral de la carcasa para garantizar que la persona a evaluar no sea capaz de ver la salida de los resultados de la prueba.

A continuación se exponen las mejoras fundamentales aplicadas en el nuevo diseño físico, el que se muestra en las figura 7 en diferentes vistas con la ayuda del software SketchUp, el que permite apreciar su proyección en 3D.



Figura 7. Vista lateral y frontal del diseño externo del equipo

Fuente: elaboración propia

A continuación se realiza la valoración económica de los componentes necesarios para la futura construcción de la Caja Gover diseñada para la evaluación del indicador PP. Los costos de las piezas son tomados de la página de ventas <https://www.amazon.com>, los mismos se muestran a continuación en la tabla 2.

Tabla 2. Costo de los elementos que integran la Caja Gover automatizada.

Pieza	Cantidad de piezas por tipo	Costo unitario (USD)	Costo total por tipo de pieza (USD)
Placa Arduino UNO	1	25.00	25.00
Pantalla LCD 16x2 I2C	1	7.00	7.00
Driver L298N	1	6.50	6.50
Motor paso a paso unipolar STP-42D221-03	1	10.00	10.00
Sensores reflexivos por infrarrojo CNY-70	3	3.00	9.00
Botón de parada	1	2.00	2.00
Potenciómetro	1	6.00	6.00
Carcasa de aluminio	1	15.00	15.00
Poleas	2	3.00	6.00
Correa de transmisión	1	7.00	7.00
Plafón de luces LED	1	12.00	12.00
Fuente de alimentación	1	30.00	30.00
Cable coaxial	8 m de cable	0.8	6.40
Costo total del equipo (USD)	141.90		

Fuente: elaboración propia.

Es de señalar que, debido a la fluctuación de los precios en el mercado, es posible que varíen estos datos en dependencia del momento y el lugar donde sean adquiridas las piezas y los materiales necesarios para la construcción del equipo diseñado. Además es de señalar que se puede economizar su precio, pues cuenta con piezas que pueden ser reutilizadas de otros equipos averiados de fácil acceso para el sector universitario. Como por ejemplo: puede ser tomado el motor paso a paso unipolar STP-42D221-03 con la correa y las dos poleas dentadas de las impresoras Epson y puede ser utilizada la fuente de alimentación y el material de la carcasa de computadoras en desuso.

Algunas ventajas del equipo para medir FDC diseñado sobre el equipo anteriormente construido se brindan a continuación:

- Tiene integrado una placa Arduino UNO que es una plataforma abierta que facilita la programación de un microcontrolador para grabar instrucciones y operaciones, por ejemplo: mostrar mensajes, guardar los valores de las frecuencias de rotación en rpm y promediar automáticamente los resultados obtenidos de las pruebas descendente y ascendente, lo cual representa una desventaja para el equipo ya construido, pues dichas operaciones debe ser realizadas manual por el experimentador.
- Por otra parte, el equipo diseñado tiene integrado un dispositivo de visualización (pantalla LCD), donde se muestra digitalmente los mensajes de comienzo y finalización del test, así como los resultados obtenidos, de lo cual carece el equipo existente.
- Además tiene acoplado una fuente de alimentación interna de 12V que permite conectar el equipo a un toma 110/220 VAC, mientras que el equipo construido solo trabaja con 110 VAC.
- Presenta un driver modelo L298N acoplado al Arduino mediante el cual se controla el motor automáticamente a través de la programación del Arduino, en cambio el otro equipo solo posee un potenciómetro que debe ser accionado manualmente.

Para medir el indicador PP el nuevo diseño de la Caja Gover propone un equipo automatizado con:

- Sistema motorizado que permita al usuario realizar la prueba mediante un mando a distancia, incluye un plafón de luces LED y registrar automáticamente los valores de tiempo y distancia resultantes, los que se muestran en la pantalla LCD incorporada y cuenta con la posibilidad de modificar la velocidad de desplazamiento de la varilla móvil y de mostrar el tiempo que tarda la persona evaluada en ejecutar la prueba.

- Respecto al exterior, se recomienda cambiar el armazón externo por una carcasa de aluminio de color negro, material menos pesado, altamente resistente y fácil de limpiar.
- Incorpora manijas ergonómicas a ambos lados que faciliten su transportación.
- Para el nuevo diseño se sustituye la luz fluorescente y la pantalla plástica por un plafón con luces LED de alta intensidad, que garantiza un flujo luminoso de 400 lux y ofrece al fondo una iluminación homogénea con un aspecto plenamente blanco y carencia absoluta de sombras, así como un alto contraste entre el mismo y las varillas.
- Se propone además sustituir el color plateado de las varillas metálicas por color negro mate, para garantizar el mayor contraste posible entre las mismas y el fondo, y evitar que en ellas se refleje luz, para eliminar pistas monoculares que afecten la medición.
- Como propuesta de mejora fundamental, se encuentra la sustitución del sistema manual para dar movilidad a la varilla central por un sistema motorizado en el que se incorpora un motor paso a paso con una correa y dos poleas dentadas, para garantizar un mayor rozamiento que evite que la correa resbale y altere el resultado de la medición.
- Se le incorpora una pieza como base a la varilla móvil que se ajusta a la correa y una ranura para que la misma se desplace firmemente.
- Por los elementos anteriormente expuestos se logra superar tecnológicamente el equipo que se emplea en la actualidad.
- En el diseño se añade un pulsómetro y un botón de parada, conectados al equipo mediante cable coaxial para ser utilizado a distancia por el usuario, para que el mismo sea capaz de regular personalmente la velocidad y el sentido de la varilla y de detener la misma cuando considere.

## CONCLUSIONES

La evaluación de estos indicadores psicofisiológicos es de gran importancia pues ante la presencia de fatiga mental, uno de los primeros síntomas en aparecer es la fatiga visual. Una vez materializado los equipos es necesario llevar a cabo prácticas experimentales e investigaciones con el fin de corroborar la veracidad del equipo diseñado, además de posibilitar expandir el estudio de estos indicadores psicofisiológico para la valoración del trabajo mental a otras instituciones educativas y de Educación Superior a fin de ganar en experiencia en el aprendizaje de este tema.

En cuanto al diseño, el equipo a construir ostenta un aspecto físico más atractivo, moderno y compacto, además se incluye el disco cromático dentro del encapsulado para evitar el deterioro del mismo y accidentes inesperados como introducir repentinamente una mano mientras el disco está en rotación.

SE constatan ventajas en el equipo para medir FDC diseñado sobre el equipo anteriormente construido a partir de la integración de una placa Arduino UNO en plataforma abierta, se emplea un dispositivo de visualización que facilita las lecturas y el empleo de diferentes fuentes de alimentación eléctrica entre otras. Finalmente, para medir el indicador PP el nuevo diseño de la Caja Gover propone un equipo automatizado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta Prieto, J. L. (2019). Valoración del comportamiento de indicadores relacionados con la carga mental en estudiantes de Ingeniería Industrial de la Universidad de Matanzas (Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Industrial, Universidad de Matanzas). Matanzas, Cuba
- Almirall Hernández, P., Santander, J., & Vergara, A. (1995). La variabilidad de la frecuencia cardiaca como indicador del nivel de activación ante el esfuerzo mental. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 33(1), 3-4. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1561-30031995000100002](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30031995000100002)
- Basantes Vaca, V., Parra Ferié, C., García Dihigo, J., Jo de Carvalho, J. N., & García Martínez, Y. (2017). Evaluación de los riesgos ocupacionales asociados a indicadores bioquímicos en conductores profesionales. *Revista Médica Electrónica*, 39(1), 33-42. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=s1684-18242017000100005](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s1684-18242017000100005)
- Charles, R. L., & Nixon, J. (2019). Measuring mental workload using physiological measures: A systematic review. *Applied ergonomics*, 74, 221-232. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.08.028>
- Che, H., Zeng, S., Li, K., & Guo, J. (2022). Reliability analysis of load-sharing man-machine systems subject to machine degradation, human errors, and random shocks. *Reliability Engineering & System Safety*, 226, 108679. <https://doi.org/10.1016/j.res.2022.108679>
- Chinlli, J. S., & Heredia, E. C. (2023). Síndrome de fatiga visual y relación con el teletrabajo post-pandemia en el personal administrativo del bloque 18-44 de EP Petroecuador. *Polo del Conocimiento*, 8(1), 62-80. <http://dx.doi.org/10.23857/pc.v8i1.5058>

- Dehais, F., Lafont, A., Roy, R., & Fairclough, S. (2020). A neuroergonomics approach to mental workload, engagement and human performance. *Frontiers in neuroscience*, 14(268). <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.00268>.
- Fernández Villacres, G. E., Viscaino Naranjo, F. A., Llerena Ocaña, L. A., & Baño Naranjo, F. P. (2021). Determinación de la fatiga ocular debido a teletrabajo en los docentes de la universidad UNIANDÉS de Ecuador. *Dilemas contemporáneos: educación, política y valores*, 8(3). <https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i3.2673>.
- García Dihigo, J. (1989). Un nuevo indicador psicofisiológico para valorar carga mental: frecuencia de discriminación cromática. *Ingeniería Industrial*, 10(1), 29-34.
- García Dihigo, J. (1991). Alteraciones de algunos indicadores valorativos de esfuerzo mental aplicados en trabajadores de centrales azucareros. *Ingeniería Industrial*, 12(2), 3-7.
- García Dihigo, J. (2017). Nuevo Modelo para la evaluación e intervención ergonómica. (Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias), Universidad de Matanzas. <http://cict.umcc.cu/repositorio.tesis>
- González Betancourt, E., García Baró, Y., Jiménez Sánchez, L., & García Dihigo, J. A. (2022). Prevención de enfermedades profesionales y desarrollo sostenible: hacia un enfoque interdisciplinario, humanista, activo y transformador. *Cooperativismo y Desarrollo*, 10(1), 203-226. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2310-340X2022000100203](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2310-340X2022000100203)
- Hancock, G. M., Longo, L., Young, M. S., & Hancock, P. A. (2021). Mental workload. *Handbook of human factors and ergonomics*, 203-226. <https://doi.org/10.1002/9781119636113.ch7>.
- IEA. (2023). Definition and Domains of Ergonomics. <https://www.iea.cc>
- Jeffri, N. F. S., & Rambli, D. R. A. (2021). A review of augmented reality systems and their effects on mental workload and task performance. *Heliyon*, 7(3). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06277>.
- Litardo Velásquez, C. A., Díaz Caballero, J. R., & Perero Espinoza, G. A. (2019). La ergonomía en la prevención de problemas de salud en los trabajadores y su impacto social. *Revista Cubana de Ingeniería*, 10(2), 3-15. <https://rci.cujae.edu.cu/index.php/rci/article/view/720>
- Noroña Salcedo, D. R. y Vega Falcón, V. (2022). Fatiga laboral percibida en conductores de compañías de transporte de Orellana, Pichincha y Guayas. *Revista Médica Electrónica*, 44(4), 652-667. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1684-18242022000400652](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1684-18242022000400652)
- Ormaza Murillo, M. P., Zambrano Rivera, A. D., Zamora Napa, S. C., Parra Ferié, C., & Félix López, M. (2019). Carga mental de profesores de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí. *Ingeniería Industrial*, 40(1), 3-13. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-59362019000100003&script=sci\\_arttext&tlng=en](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-59362019000100003&script=sci_arttext&tlng=en)
- Park, S., Kyung, G., Choi, D., Yi, J., Lee, S., Choi, B. y Lee, S. (2019). Effects of display curvature and task duration on proofreading performance, visual discomfort, visual fatigue, mental workload, and user satisfaction. *Applied ergonomics*, 78, 26-36. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.01.014>.
- Rivera Rojas, F., Ceballos Vásquez, P., Vilchez Barboza, V. (2020). Carga mental y la calidad de vida relacionada con salud en trabajadores Oncológicos. *Revista Salud Uninorte*, 36(3), 545-557. <https://doi.org/10.14482/sun.36.3.616.99>.
- Vargas María, C. A. (2020). Neuropsychological evaluations associated with workplace accidents: a systematic review. *Journal of Applied Cognitive Neuroscience*, 1(1), 9-24. <https://doi.org/10.17981/JACN.1.1.2020.01>.