



## **TRABAJO PROFESIONAL**

**COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TITULO DE:**

# **INGENIERA INDUSTRIAL EN PRODUCCIÓN**

**QUE PRESENTA:**

**IRMA SÁNCHEZ JONAPÁ**

**CON EL TEMA:**

**“SISTEMA DIDÁCTICO PARA EL ESTUDIO DE  
TIEMPO ASISTIDO POR COMPUTADORA”**

**MEDIANTE:**

**OPCION IV**

**DISEÑO O REDISEÑO DE EQUIPO O MAQUINA**

# INDICE

<b>CAPÍTULO I.</b>	4
<b>INTRODUCCCIÓN.</b>	4
<b>CAPÍTULO II.</b>	8
<b>PROPUESTA DEL SISTEMA DIDACTICO.</b>	8
<b>2.1 OBJETIVOS</b>	9
2.1.1 General	9
2.1.2. Específicos.	9
<b>2.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	9
<b>2.3 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA</b>	10
<b>2.4 HIPÓTESIS</b>	11
<b>2.5 JUSTIFICACIÓN</b>	11
<b>CAPÍTULO III.</b>	12
<b>FUNDAMENTOS TEORICOS</b>	12
<b>3.1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS.</b>	13
<b>3.2 ERGONOMÍA</b>	15
3.2.1. Definición	15
3.2.2 Aplicaciones	17
3.2.3 Uso de las medidas antropométricas	22
<b>3.3 EL ESTUDIO DE TIEMPOS EN LA REALIZACIÓN DEL TRABAJO</b>	24
<b>3.4 APLICACION DEL ESTUDIO DE TIEMPOS POR COMPUTADORA.</b>	25
3.4.1. Formularios para reunir datos	28
3.4.2 Formularios para analizar los datos reunidos	28
<b>3.5. ELEMENTOS ELECTRONICOS</b>	29
3.5.1 LEDs	29
3.5.2 Baterías recargables.	30
3.5.3 Cargadores de baterías.	31
3.5.4 Micro controlador	32
3.5.5 Arduino.	33
3.5.6 Creación de bibliotecas	36
<b>3.6 COMUNICACIÓN INALAMBRICA.</b>	37
<b>CAPÍTULO IV.</b>	41
<b>DESARROLLO DEL SISTEMA DIDACTICO</b>	41

<b>4.1. DISEÑO DEL PROTOTIPO DIDÁCTICO.</b>	42
<b>4.2. CONTENEDORES.</b>	42
<b>4.3. MESA ERGONOMICA</b>	43
4.3.1 Cálculo de los percentiles	44
<b>4.4 SILLA ERGONOMICA.</b>	51
<b>4.5 TAPETE.</b>	52
<b>4.6 FUENTE DE VOLTAJE</b>	53
<b>4.7 SISTEMA ARDUINO.</b>	54
4.7.1 XBee.	55
4.7.2 Sensores.	56
4.7.3 Leds indicadores de presencia.	57
4.7.4 Programación	61
<b>4.8 DISEÑO DE LA INTERFAZ GRÁFICA DEL USUARIO.</b>	65
4.8.1 Sistema para estudio de tiempos asistido por computadora	65
4.8.2 Pestaña Tabla de Registro	66
4.8.3 Pestaña Configuración	66
4.8.4 Ventana Configuración	67
4.8.5 Tabla de Registros	67
<b>CAPITULO V.</b>	70
<b>PRUEBAS Y RESULTADOS</b>	70
<b>5.1 TOMA DE TIEMPOS EN PRUEBAS DE ENSAMBLES.</b>	71
<b>5.2 RESULTADOS OBTENIDOS DEL MÉTODO DE TRABAJO ANALIZADO</b>	71
<b>CAPITULO VI.</b>	74
<b>ANÁLISIS DE COSTOS Y CONCLUSIONES</b>	74
<b>6.1. ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO DEL SISTEMA.</b>	75
<b>6.2 BENEFICIOS</b>	76
<b>6.3 CONCLUSIONES.</b>	77
<b>CAPITULO VII. BIBLIOGRAFIA</b>	78

# **CAPÍTULO I.**

## **INTRODUCCCIÓN.**

El Desarrollo de la Ingeniería Industrial se ubica en la aplicación de técnicas, métodos y procedimientos en todos los factores que intervienen en dirección, procesos, distribución y aplicación a la producción de bienes y servicios.

Una de las actividades del Ingeniero Industrial se relacionan con sistemas de carácter tecnológico, y debe estar preparado para los retos del siglo XXI, como interactuar con mega empresas; estar vinculados al desarrollo de procesos automatizados, robotizados e inclusive controlados vía internet.

La preparación en el aula de estos profesionistas exige que sea acorde a esa realidad que ya se vive. Tener un sistema didáctico para el estudio de tiempos asistido por computadora le permitiría simular procesos productivos y realizar el estudio de tiempos para resaltar la importancia de la optimización de recursos, materiales y humanos.

En empresas que se dedican a la fabricación de productos, uno de los temas que se convierten en vitales, es el establecimiento de estándares de tiempos.

Existen varias técnicas de medición del trabajo que son buenos medios para establecer estándares justos de producción:

- Estudio de tiempos con cronómetro.
- Datos de estándares.
- Fórmulas de tiempos o estudios de muestreo del trabajo.

Todos estos métodos se basan en hechos. Estudian cada detalle del trabajo y su relación con el tiempo normal que se requiere para ejecutar el ciclo completo. Los estándares de tiempo cuidadosamente establecidos posibilitan una mayor producción en una planta, incrementando así la eficiencia del equipo y del personal que la opera.

Con relación a la eficiencia del equipo: Se establecen para controlar el funcionamiento de las máquinas, para conocer el porcentaje de paradas y sus causas, para programar la carga de las máquinas, seleccionar nueva maquinaria, estudiar la distribución en planta, seleccionar los medios de transporte de materiales, estudiar y diseñar los equipos de trabajo, determinar los costos de mecanizado.

En relación con la eficiencia del personal: Se establecen para determinar el número de operarios necesarios, establecer planes de trabajo, determinar y

controlar los costos de mano de obra (como base de los incentivos directos e indirectos).

El buen funcionamiento de la planta productiva va a depender en muchas ocasiones de que las diversas actividades enunciadas estén correctamente resueltas y esto dependerá de la bondad de los tiempos de trabajo calculados.

Además los tiempos calculados han de ser justos porque:

- De su duración depende lo que va a cobrar el operario, y lo que ha de pagar la empresa.
- Unos tiempos de trabajo mal calculados son el caldo de cultivo ideal para el nacimiento de la mayoría de los problemas laborales.

Los buenos estándares tienen muchas aplicaciones que pueden significar la diferencia entre el éxito y el fracaso de una actividad.

El estudio de tiempos: Es una técnica para determinar con la mayor exactitud posible, partiendo de un número limitado de observaciones, el tiempo necesario para llevar a cabo una tarea determinada con arreglo a una norma de rendimiento preestablecido.

Para realizar un estudio de tiempos, el procedimiento es el siguiente:

1. Se debe sensibilizar a los operarios, supervisores y jefes de áreas de la importancia que tiene la aplicación del estudio, así como de los beneficios que brindarán los resultados que se obtengan.
2. Seleccionar al operario: es imprescindible que los operarios sean diestros y trabajen con habilidad y esfuerzo.
3. Poner el estudio al alcance de los involucrados: El estudio no debe considerarse un documento confidencial, por lo que debe ponerse al alcance de quienes lo requieran.
4. División de trabajo en elementos: El ciclo de trabajo debe ser dividido en segmentos cortos denominados elementos, esto permitirá tener mayor exactitud en la evaluación del desempeño, facilita el trabajo de observación, brinda facilidad para revisar en el futuro los estándares, posibilita la creaciones de tiempos estándares para actividades recurrentes.

5. Identificación de elementos extraños y eliminación de los evitables: Los elementos extraños son aquellos movimientos que pueden ser o no parte del trabajo, pero que se presenta de manera imprevista o irregular.

6. Determinación del número de observaciones: Es necesario asegurar que el tiempo que se determine como estándar de trabajo, es representativo del mismo. Debe calcularse el número de veces que el trabajo debe ser observado.

Las técnicas para estudio de tiempos han evolucionado rápidamente debido al avance tecnológico que ha permitido incorporar herramientas de punta aplicadas para este objetivo, facilitando la labor del analista, obteniendo mayor precisión, velocidad de aplicación y resultados más confiables, comprensibles y rápidos.

Se propone en el presente proyecto, desarrollar un prototipo didáctico que permita determinar los tiempos de ensamblado en diversas prácticas y permitan a un estudiante de Ingeniería Industrial, observar una perspectiva diferente de la realización del estudio de tiempos de los métodos de trabajo con un dispositivo automatizado constituido de hardware y software. Así se cumplirían con los objetivos que se plantean para mejorar la productividad en una empresa, incrementando la eficiencia del equipo y del personal que lo opera.

**CAPÍTULO II.**  
**PROPUESTA DEL SISTEMA**  
**DIDACTICO.**

La razón principal para realizar este proyecto, es la de aplicar los conocimientos adquiridos, enfocando los esfuerzos para resolver un problema específico, además de continuar con la investigación y desarrollo tecnológico de prototipos que permitan mayor precisión para el estudio de tiempos.

## **2.1 OBJETIVOS**

### **2.1.1 General**

Diseñar y construir un prototipo didáctico que permita el estudio de tiempos asistido por computadora para un laboratorio de Ingeniería Industrial, que permita llevar el registro de los tiempos reales, eliminando los errores de toma de lecturas de las técnicas con cronómetro, en la simulación de métodos de ensamblado de un producto para posteriormente obtener el tiempo estándar.

### **2.1.2. Específicos.**

- Diseñar y construir un prototipo con sensores de presencia, con el más bajo costo.
- Diseñar y desarrollar un programa en lenguaje visual para almacenar los datos en la que se podrán observar los resultados.
- Diseñar y construir la interface de comunicación con una PC de forma inalámbrica.
- Agilizar el proceso de aprendizaje del estudiante para el cálculo de los tiempos.
- Diseñar y construir ergonómicamente una silla y mesa industrial de trabajo para el prototipo de estación de trabajo que optimice los recursos humanos-tiempo-costos.
- Explorar una nueva estrategia en el proceso enseñanza-aprendizaje.
- Valorar el aprendizaje de un método de trabajo en tiempo real y conocer los tiempos estándares de forma inmediata.

## **2.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Conforme la tecnología avanza, el hombre constantemente se genera nuevas necesidades. En el caso de las instituciones educativas, en sus laboratorios tienen instrumentos y equipos que algunas veces son obsoletos, como el cronómetro y cronógrafo, los cuales se utilizan para entrenar y capacitar al estudiante en la realización de estudios de tiempos.

Se hace necesario entonces contar con equipos que permitan realizar el estudio de tiempos pero con tecnología moderna, para hacer el registro de los tiempos reales en la realización de un trabajo de ensamble simulado de un producto, para posteriormente obtener el tiempo estándar, pero, de forma más automatizada con menos errores en su obtención, además, capacitar de forma más eficiente al estudiante con tecnología de punta.

## **2.3 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA**

Este es un prototipo didáctico que facilita el análisis del estudio de tiempos a través de un sistema electrónico de censo y un programa de cómputo.

El sistema se compone de una mesa y una silla (ambos ergonómicos), y un sistema electrónico que determina los tiempos de trabajo censando los movimientos de forma inalámbrica y el software que registra los tiempos reales de los elementos de trabajo. Todos estos componentes constituyen la estación de trabajo para la simulación de un trabajo de ensamble.

La mesa tiene colocados seis contenedores que se usan para almacenar en uno las herramientas, uno de producto terminado y cuatro que almacenan las piezas a ensamblar. Por lo anterior, en las prácticas se pueden realizar ensambles de hasta 4 piezas como máximo.

La comunicación es de manera inalámbrica entre los contenedores que tienen colocados los sensores (infrarrojos) de presencia que se activan cuando el operario realiza los movimientos para alcanzar una pieza. Estos sensores no interfieren con el trabajo del operario y envían los datos de tiempos a la computadora.

Los tiempos en que el operador realiza el movimiento para introducir su mano en los contenedores, se van almacenando en una base de datos en el programa destinado para ello.

Finalmente se obtienen datos estadísticos, calculados automáticamente por la computadora al terminar la simulación.

La cantidad de productos a ensamblar se pueden especificar en el programa, sin límites en ello, básicamente delimitado por el tamaño de los contenedores.

Se cuenta con leds indicadores de inicio (verde), termino (rojo) y de próximo termino (amarillo), visible al operador.

El sistema cuenta con una batería recargable que permite utilizar el sistema en caso de no existir una toma eléctrica.

## **2.4 HIPÓTESIS**

Un prototipo didáctico para el estudio de tiempos, asistido por computadora que incorpore nuevas tecnologías, con la capacidad de determinar los tiempos en una simulación de trabajo en tiempo real, permitirá a los alumnos aplicar fácilmente los conocimientos adquiridos en las materias relacionadas con estudios de tiempos.

## **2.5 JUSTIFICACIÓN**

La incorporación de la tecnología actual en el ámbito de la computación y la electrónica en la Ingeniería de Métodos, es de gran importancia ya que los métodos de trabajo en la industria, las empresas de servicio y en otros espacios laborales, han tenido cambios considerables y se requiere de técnicas más eficaces, así como, equipos de medición más precisos y ágiles en su uso. El estudio de tiempos con el uso de cronómetros ha representado un problema de aceptación por los trabajadores, la precisión del estudio con estos elementos depende en gran medida de la habilidad y experiencia del analista.

En las instituciones educativas y de manera muy particular en los Institutos Tecnológicos, los laboratorios de Ingeniería Industrial, en su mayoría tienen equipos para el estudio de tiempos; como cronómetros, tablas porta cronómetros, cronógrafos, cajas entrenadoras principalmente. Estos equipos son obsoletos y generan errores de medición y exigen una alta destreza y habilidad de los estudiantes, por esto, es necesario incorporar nuevos equipos que con el apoyo de la tecnología más reciente, faciliten los estudios de tiempos.

En algunos Institutos Tecnológicos se suministró un equipo llamado Accutime, el cual posee una computadora para el estudio de tiempos, se podría decir que este equipo es el más moderno que se tiene. El entrenamiento se hace sobre un evento simulado ausente de operario midiendo tiempos constantes, puesto que es una rueda de colores que se hace girar por medio de un motor síncrono, sobre el que no se puede aplicar la calificación del desempeño, otro aspecto importante a considerar es que en 1999 este equipo tenía un costo por encima de los \$400,000.00 pesos.

# **CAPÍTULO III.**

## **FUNDAMENTOS TEORICOS**

El proyecto desarrollado, engloba dos ingenierías, por un lado la parte industrial, que es a quien le beneficia el uso del mismo, pero por otra parte consta de elementos electrónicos; los fundamentos teóricos requeridos de ambas áreas se explican por separado.

### **3.1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS.**

La Producción en Serie o en Cadena surgió en la Revolución Industrial como forma de organización de la producción en la que cada trabajador se especializaba en una función específica y manejaba máquinas también mejor desarrolladas tecnológicamente, elevando la calidad de los productos y los tiempos de producción por unidad. Hoy en día nos parece algo de lo más común en cualquier fábrica pero fue toda una revolución en una época en la que la producción era mayoritariamente artesanal.

A principios del siglo XX surge el Taylorismo, el cual se basaba en la división de las tareas del proceso de producción y debe su nombre a Frederick Winslow Taylor, ingeniero y economista norteamericano que desarrolló este modelo teórico.

Este fue un nuevo método de organización industrial, cuyo fin era aumentar la productividad y evitar el control que el obrero podía tener sobre los tiempos de producción. Se basaba en la aplicación de métodos científicos al estudio de la relación entre la mano de obra y las técnicas modernas de producción industrial, con el fin de maximizar la eficiencia, mediante la división sistemática de las tareas, la organización racional del trabajo en sus secuencias y procesos, y el cronometraje de las operaciones.

Tras el Taylorismo surge el Fordismo que debe su nombre a Henry Ford, ingeniero industrial norteamericano que fundó la Ford Motor Company en 1903 y supo ver una oportunidad en la industria si conseguía mejorar el modelo de Taylor. Así lo hizo. Ford fue el impulsor en la práctica de la producción en serie, la línea de montaje, la estandarización e intercambiabilidad de las piezas, a la vez que cuidaba los derechos de los obreros. Su modelo se extendió rápidamente al sector industrial de numerosos países.

Este sistema de producción consiste en una persona o un grupo de personas que hacen solo 1 trabajo... por ejemplo antes 2 grupos de 5 personas hacían un carro cada uno y tardaban 1 semana, entonces al nacer este sistema de producción se

dividió y organizó el trabajo por ejemplo, 2 personas ensamblan carrocería, otras 2 puertas y parabrisas, otras 2 luces y sistema eléctrico, otras 2 motor y otras 2 pintura, de esta manera las 10 personas ya no creaban 2 carros a la semana si no 5 o 6, eso es producción en serie.

A partir de la producción en serie, el estudio de tiempos y movimientos formo parte importante para incrementar la eficiencia de la producción.

Frank Bunker Gilbreth y su esposa Lillian Moller Gilbreth establecieron los principios para el estudio de movimientos con la identificación y clasificación de los movimientos básicos con que se efectúan las actividades, constituyéndose estos como la base para el desarrollo de los sistemas de tiempos predeterminados, también desarrollaron importantes técnicas para el estudio de movimientos como la técnica de Ciclograma y Cronociclograma, posteriormente Lillian M. Gilbreth incorporó la cámara de cine lo que permitió resolver muchos problemas.

Marvin E. Mundel mejoró el uso de la cámara de cine y definió la técnica como estudio de memo-movimientos o fotografías a intervalos.

En el siglo XIX, Frederick Winslow Taylor fue pionero en la "Administración Científica del Trabajo" Taylorismo, método que propone la manera de encontrar el método óptimo para llevar a cabo una tarea determinada.

Frank y Lillian Gilbreth, ampliaron los métodos de Taylor en el año 1900 para desarrollar "El estudio de tiempos y movimientos". Su objetivo era mejorar la eficiencia mediante la eliminación de pasos innecesarios.

Harrington Emerson diseñó en 1911 el primer programa de estímulos o premios para el incremento de la producción, su obra titulada "Los doce principios de eficiencia" permitió tener bases para el desarrollo de trabajos eficientes.

Allan Mójensen desarrolló aproximadamente en 1932 un procedimiento para la simplificación del trabajo, este fue publicado en su libro "El sentimiento común aplicado a los movimientos y estudio de tiempos".

Harold B. Maynard en coordinación con G. J. Stegemerten y S. M. Lowry presentaron su libro "Estudio de Tiempos y Movimientos" en 1927, desarrollaron también el sistema de tiempos predeterminados MTM, posteriormente en 1932 Maynard hizo uso por primera vez del término "Ingeniería de Métodos".

Frederick A. Hasley diseñó un plan para aumentar la productividad a partir de la medición de costos de mano de obra, esto dio origen al plan Hasley.

Henry L. Gantt profundizó sus ideas y además de desarrollar estudios de costos, selección y capacitación de trabajadores, planes de incentivos, también realizó trabajos relacionados con problemas de programación creando los gráficos de Gantt que en su evolución dieron paso al desarrollo de las técnicas CPM y PERT.

Ralph M. Barnes en 1933 obtuvo un grado de doctor en Ingeniería Industrial desarrollando la tesis "Practical and Theoretical Aspects of Micro-motion Study" obra que después fue presentada como libro y considerada la Biblia del estudio de movimientos.

A estos trabajos les siguieron otros también sumamente importantes como el de Akiyuki Sakima de la Universidad de Keio que implantó el uso de circuito cerrado de Televisión.

Todos estos dieron forma y constituyeron esta importante rama de la Ingeniería, cuyo objetivo es el de administrar los recursos humanos, materiales y financieros necesarios para realizar las actividades inherentes a un trabajo, de tal manera que se logren los propósitos y metas con el mínimo de recursos, a este proceso se le conoce como optimización de los recursos.

Quedando como "La Ingeniería Industrial se ocupa del diseño, mejoramiento e implementación de sistemas integrados por personas, materiales, equipos y energía. Se vale de los conocimientos y posibilidades especiales de las ciencias Matemáticas, Físicas y Sociales, junto con los principios y métodos de análisis y el diseño de Ingeniería, para especificar, predecir y evaluar los resultados que se obtendrán de dichos sistemas".

## **3.2 ERGONOMÍA**

### **3.2.1. Definición**

El término Ergonomía, del griego Ἔργον, que significa "trabajo", y Νόμος, que significa "leyes naturales"

Es la disciplina científica que trata del diseño de lugares de trabajo, herramientas y tareas que coinciden con las características fisiológicas, anatómicas, psicológicas y las capacidades del trabajador. Busca la optimización de los tres elementos del sistema (humano-máquina-ambiente), para lo cual elabora métodos de estudio de la persona, de la técnica y de la organización.

Los fundamentos de la ciencia de la ergonomía que se han establecido dentro del contexto de la cultura de la Antigua Grecia. Una buena parte de la evidencia indica que la civilización griega en el siglo 5 a.c. utilizó principios de la Ergonomía en el diseño de herramientas en sus lugares de trabajo. Por ejemplo, Hipócrates describió el diseño de las herramientas y la forma en que el lugar de trabajo debía organizarse para un cirujano.

La Segunda Guerra Mundial marcó el desarrollo de nuevas armas y máquinas complejas, y nuevas exigencias sobre la cognición de los operadores.

Se observó que los aviones en pleno funcionamiento, piloteados por los pilotos mejor entrenados, sufrían accidentes aéreos. En 1943, Alphonse Chapanis, un teniente del Ejército de los EE.UU., mostró que este llamado "error del piloto" podría reducirse en gran medida, cuando los controles eran remplazados por diseños más lógicos y menos confusos en la cabina del avión.

El amanecer de la era de la información se ha traducido en el campo de la Ergonomía de la nueva interacción persona-computador (HCI). Del mismo modo, la creciente demanda y la competencia entre los bienes de consumo y de la Electrónica ha dado lugar a más empresas, incluidos los factores humanos en el diseño de productos, por lo cual se redefine:

- La Ergonomía se define como interacciones entre humanos y los elementos de un sistema.
- Sus características son fisiológicas, anatómicas o psicológicas.
- Sus factores más conocidos son el hombre, las máquinas y el ambiente.
- Según su dominio, se divide en cognitiva, física u organizacional:
- La ergonomía cognitiva, estudia los procesos mentales.
- La ergonomía física, estudia la actividad física.
- La ergonomía organizacional, estudia la optimización de sistemas psicotécnicos.

#### Beneficios de la Ergonomía

- Disminución de errores / rehacer
- Disminución de enfermedades profesionales
- Disminución de días de trabajo perdidos
- Disminución de los tiempos de ciclo
- Aumento de la tasa de producción
- Aumento de la eficiencia y productividad
- Aumento de los estándares de producción

- Aumento de un buen clima organizacional y simplificación de las actividades

La Ergonomía, como ciencia multidisciplinar, convoca a profesionales de diversas áreas: ingenieros, diseñadores, médicos, enfermeras, kinesiólogos, terapeutas ocupacionales, psicólogos, especialistas en recursos humanos, arquitectos, y muchas otras.

En sus aplicaciones en el campo laboral y productivo se encuentran el rediseño bajo estos conceptos ergonómicos de equipos que pueden ser más redituables y armoniosos de su centro de trabajo.

### **3.2.2 Aplicaciones**

La ergonomía, como se mencionó anteriormente, trata del diseño de lugares de trabajo, herramientas y tareas que coinciden con las características fisiológicas, anatómicas, psicológicas y las capacidades del trabajador, en este sentido, se deben rediseñar los espacios de trabajo que consideren todos es factores.

Los esposos Gilbreth, introdujeron el diseño del trabajo manual a través del estudio de movimientos, en lo que se conoce como Therbligs, y los veintiún principios de economía de movimientos. Los principios se clasifican en tres grupos básicos:

- Uso del cuerpo humano
- Arreglo y condiciones del lugar de trabajo
- Diseño de herramientas y equipo.

La capacidad de la fuerza humana depende de tres factores importantes:

- El tipo de fuerza
- El músculo o coyuntura de movimiento que se utiliza
- La postura

Ingeniería de Métodos reconoce estos conceptos al lograr adaptarlos y ajustarlos al operario como ergonomía. Este enfoque ayuda a lograr una mayor producción y eficiencia en las operaciones y menores tasas de lesiones para los operarios.

La práctica del ergonomista debe tener un amplio entendimiento del panorama completo de la disciplina, e incluye: la cognitiva, la física y la organizacional.

*Ergonomía cognitiva:* se interesa en los procesos mentales, tales como: percepción, memoria, razonamiento, y respuesta motora, en la medida que éstas, afectan las interacciones entre los seres humanos y los otros elementos componentes de un sistema.

*Ergonomía física:* se preocupa de las características anatómicas, antropométricas (ver figura No.1), fisiológicas y biomecánicas humanas (ver figura No.2), en tanto que se relacionan con la actividad física. Sus temas más relevantes incluyen posturas de trabajo, sobreesfuerzo, manejo manual de materiales, movimientos repetitivos, lesiones músculo-tendinosas (LMT) de origen laboral, diseño de puestos de trabajo, seguridad y salud ocupacional.



Figura 3.1 Medidas antropométricas.

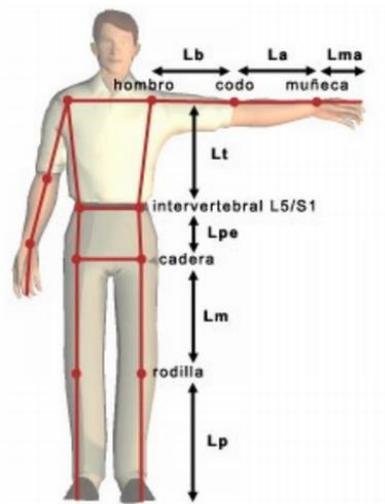
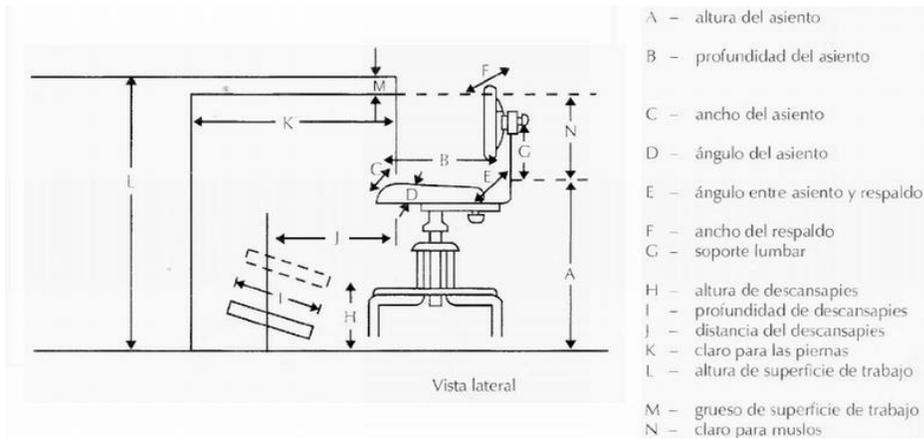


Figura 3.2 Medidas biomecánicas ocupacionales.

*Ergonomía organizacional:* La ergonomía organizacional o macro ergonomía, se preocupa por la optimización de sistemas socio-técnicos, incluyendo sus estructuras organizacionales, las políticas y los procesos.

La postura sentada es importante desde el punto de vista de reducir tanto el estrés sobre los pies como el gasto global de energía. Es muy importante proporcionar soporte lumbar mediante una protuberancia en el respaldo de la silla o con un cojín lumbar colocado a la altura del cinturón. La altura es lo más crítico, donde lo ideal se determina con la altura poplíteica de la persona. La posición de trabajo debe de ser lo más cómoda posible. Para mejorar la posición del operario que está sentado, debe bajar la altura de la silla, inclinarla ligeramente hacia adelante y se debe facilitar un escabel para que descansen los pies ver, figura No. 3.3



*Figura 3.3 Factores ergonómicos a considerar en una silla de trabajo.*

En una mesa de trabajo de ensamble y para la comodidad y rapidez del ensamblado de equipos y lograr que el trabajo se adapte al trabajador en lugar de obligar al trabajador adaptarse a él, es conveniente que la altura de sea tal que el operario no tenga que inclinarse innecesariamente para trabajar como lo indica la figura 3.4

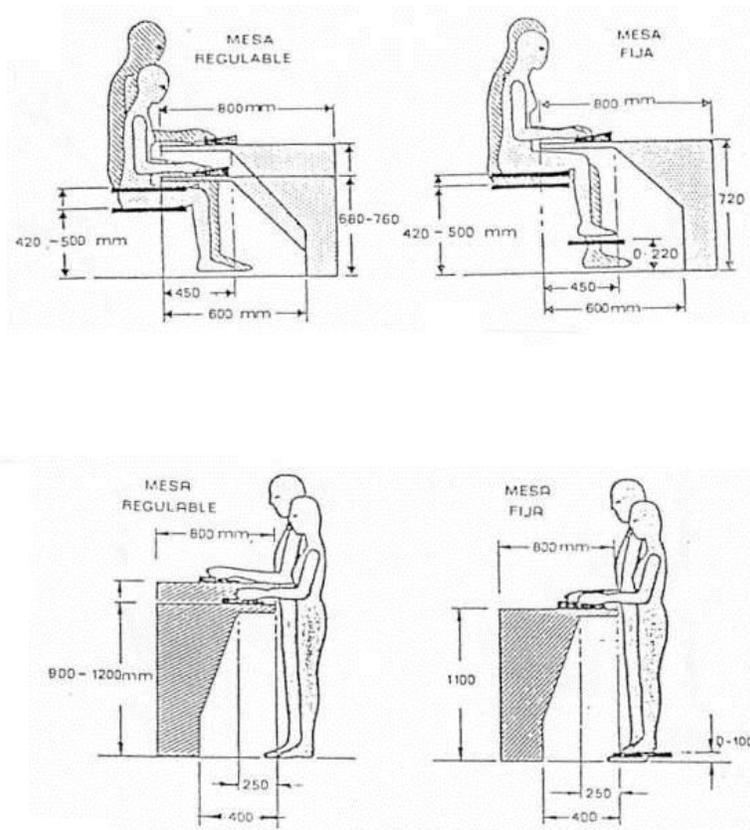


Figura 3.4 Altura adecuada de las mesas de trabajo.

La altura del brazo, se recomienda que sea una postura horizontal, cuando se trabaja con taladros, como se muestra en la figura No. 3.5

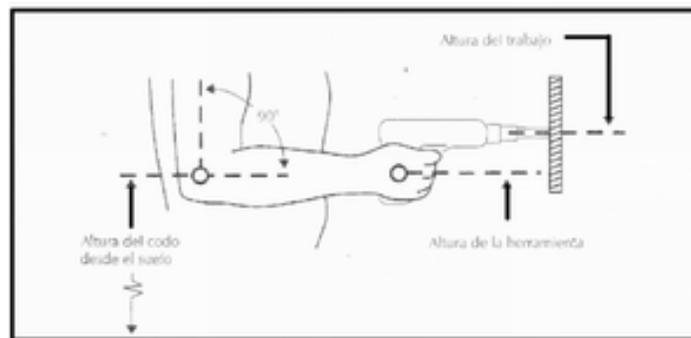
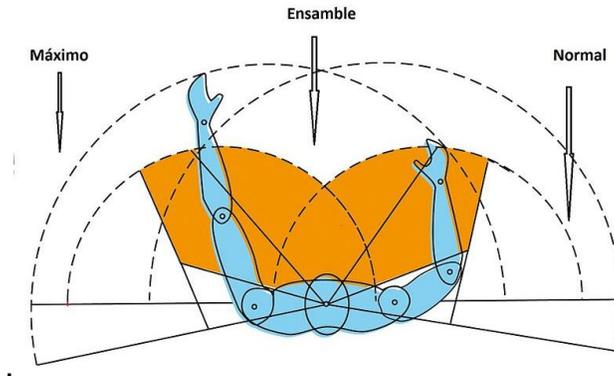


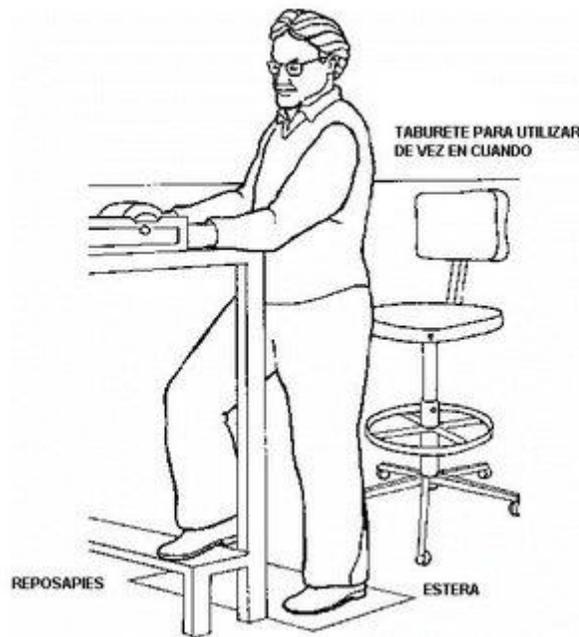
Figura 3.5 Posición correcta del brazo al taladrar.

En la figura No. 3.6 se muestra una posición de vista plana de los movimientos del brazo del operario en una mesa de trabajo que deben considerarse para la disposición de las herramientas y piezas.



*Figura 3.6 Movimientos del brazo.*

Un asiento, un escabel, una estera para estar encima de ella y una superficie de trabajo ajustables son elementos esenciales de un puesto de trabajo en el que se está de pie.



*Figura 3.7 Postura de trabajo correcta estando en pie*

Diversos investigadores refieren que más de un tercio de todos los trabajadores tienen que trabajar de pie y o caminado por periodos mayores a 4 horas al día. La postura prolongada de pie, definida como aquella que se mantiene más de 2 horas al día, se ha vinculado con diferentes problemas de salud como por ejemplo:

- Lumbalgia (Drewezynski 1998,Hansen 1998,Redfern 1995)

- Dolor en pies y piernas (Drewezynski 1998,Hansen 1998,Redfern 1995)
- Fascitis plantar (Rys 1994)
- Restricción del flujo sanguíneo (Hansen 1998,Goonetilleke 1998)
- Hinchazón de piernas y pies (Drewezynski 1998,Hansen 1998)
- Venas varicosas ((Drewezynski 1988)
- Incremento de cambios óseos degenerativos (osteo-artrosis) en piernas y rodillas (Manninen 2002)
- Embarazos pre-término y bajo peso.

### **3.2.3 Uso de las medidas antropométricas**

Se deben usar los datos antropométricos para asegurar que la máquina, el equipo o herramienta le quede bien al hombre, en este caso en particular nos referimos a un mueble. Cada operario tiene que interactuar con su ambiente, por lo que es importante tener los detalles de las dimensiones de las partes apropiadas del cuerpo que serán utilizadas al realizar el trabajo. Así, la estatura total es importante para diseñar el tamaño de la habitación, la altura de las puertas o las dimensiones de los aparadores; la dimensión de la pelvis y los glúteos limitan el tamaño de los asientos o de las aberturas; el tamaño de la mano determina las dimensiones de los controles y de los soportes de descanso; y se necesita tener detalle del alcance de los brazos para determinar la posición de los controles en las consolas y tableros.

Las características antropométricas y biomecánicas de las personas, son aquellas relacionadas con los sistemas antropométricos y biomecánicos. Los sistemas antropométricos estudian principalmente el cuerpo humano, su constitución y sus componentes, así como la relación existente entre sus dimensiones, el diseño del puesto, las prendas de protección personal y el entorno laboral. Las dimensiones a medir, denominadas variables antropométricas, pueden ser estructurales y funcionales. Las variables antropométricas estructurales se obtienen relacionando puntos de referencia, entre los cuales se miden distancias, ángulos, perímetros, anchuras y profundidades. Las variables antropométricas estructurales son numerosas, pero para el diseño de un puesto de trabajo solo se deben tener en cuenta las necesarias. Demos tener presente que las dimensiones estructurales se toman sobre individuos desnudos, por lo que se preverá un incremento en algunas de ellas y así considerar la ropa de trabajo que se vaya a utilizar y los equipos de protección individual.

Entre las variables antropométricas relacionadas con la postura de pie-sentado, destacamos: distancia de alcance del brazo (al frente, lateral y en altura), distancia de alcance del antebrazo, anchura de los hombros. Todas las variables que se

relacionen con el trabajo deben de servir de punto de partida para todo estudio antropométrico de carácter específico. Cada trabajador nos va a presentar unas dimensiones antropométricas, lo que representa una gran diversidad de medidas o tallas y qué nos surja la pregunta ¿para quién diseñamos? La situación ideal sería poder diseñar el puesto de trabajo de manera individual, pero solo estaría justificado en casos muy específicos debido sobre todo a los costos y a la posterior limitación de acceso de otros trabajadores con distintas características antropométricas. Tampoco debemos diseñar para la media de las personas, teniendo en cuenta que esta situación también es engañosa, por cuanto estaríamos eliminando al grupo de personas que están cerca de los extremos. Este tipo de diseño solo se utiliza en contadas situaciones, como en el caso de que: la precisión de la dimensión tenga poca importancia, la frecuencia de uso sea muy baja y/o cuando otra solución sea muy costosa o técnicamente muy compleja. El diseño para los extremos nos obliga a tener en cuenta las dimensiones máximas, en los huecos y en los espacios, y las dimensiones mínimas, en los alcances. Se nos plantearían situaciones absurdas como tener que diseñar una puerta de 2'5 m de altura pensando en un trabajador de más de 2.25 mt. de estatura. En este sentido, consideramos razonable el tratamiento estadístico de las dimensiones estableciendo los percentiles en una curva de Gauss. Debemos hacer un diseño para los extremos no teniendo en cuenta las dimensiones que queden por debajo del percentil 5, para los alcances, y las que queden por encima del percentil 95, para los huecos (Fig. No. 3.8).

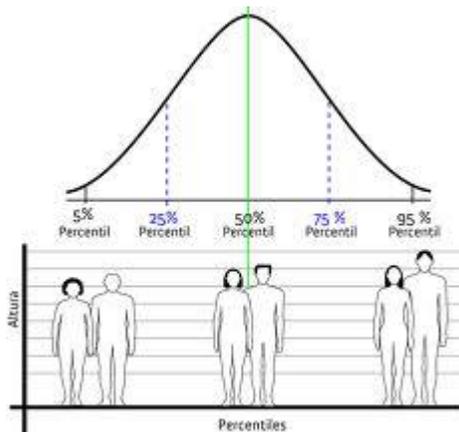


Fig. No. 3.8 Percentiles

### 3.3 EL ESTUDIO DE TIEMPOS EN LA REALIZACIÓN DEL TRABAJO

Es importante para una empresa productiva, calcular el tiempo que necesita un operario calificado para realizar una tarea determinada, siguiendo un método preestablecido, que permitan resolver problemas relacionados con los procesos de fabricación.

Según Hadson (2001), es el procedimiento utilizado para medir el tiempo requerido por un trabajador calificado quien trabajando a un nivel normal de desempeño realiza una tarea conforme un método especificado. En la práctica, el estudio de tiempos incluye, por lo general, el estudio de métodos. Además, sostiene que los expertos tienen que observar los métodos mientras realizan el estudio de tiempos buscando oportunidades de mejoramiento.

Las técnicas de estudio han evolucionado rápidamente debido al avance tecnológico que ha permitido incorporar herramientas de punta, aplicadas para este objetivo, facilitando la labor del analista, obteniendo mayor precisión, velocidad de aplicación y resultados más confiables, comprensivos y rápidos.

El tamaño de la muestra o cálculo de número de observaciones es un proceso vital en la etapa de cronometraje, dado que de este depende en gran medida el nivel confianza del estudio de tiempos. Este proceso tiene como objetivo determinar el valor del promedio representativo para cada elemento.

Los tiempos predeterminados, son una reunión de tiempos estándares válidos asignados a movimientos fundamentales y grupos de movimientos que no pueden ser evaluados de forma precisa con los procedimientos ordinarios para estudio de tiempos con cronometro. Estos son el resultado de estudiar una gran muestra de operaciones diversificadas con un dispositivo de medición de tiempo.

*"El Estudio de Tiempos es una técnica de medición del trabajo empleada para registrar los tiempos y ritmos de trabajo correspondientes a los elementos de una tarea definida, efectuada en condiciones determinadas y para analizar los datos a fin de averiguar el tiempo requerido para efectuar la tarea según una norma de ejecución preestablecida".*

### 3.4 APLICACION DEL ESTUDIO DE TIEMPOS POR COMPUTADORA.

De acuerdo a Schneider y Davanzo (1998), de unos años a la fecha, los Ingenieros industriales se han visto beneficiados en cuanto a la disponibilidad y el uso creciente de computadoras personales donde se desarrolla el software en varias versiones a la medida de las necesidades de cada empresa o aplicación.

En este sentido están disponibles diversos software que ayudan al análisis de los métodos y el cálculo de los tiempos estándares aplicando sistemas de tiempos predeterminados, tales como, el Method Time Measurement (MTM), y el Modular Arregment Predetermined Time System (MODAPTS).

Se han efectuado pruebas para automatizar la obtención de los tiempos manuales mediante los tiempos predeterminados existentes, pero, aprovechando el impacto de la nueva tecnología en cuanto a sistemas de computación se refiere, la medición de tiempos en las actividades, utilizando estas herramientas, se vuelven más precisas.

El informe del estudio de tiempos brinda la información en la duración de los acontecimientos. La estadística sumaria se adquiere en los informes de estudios y la frecuencia de observaciones.

Los métodos más utilizados para determinar el número de observaciones son:

- Método Estadístico
- Método Tradicional

Método estadístico: El método estadístico requiere que se efectúen cierto número de observaciones preliminares ( $n'$ ), para luego poder aplicar la siguiente fórmula:

**Nivel de confianza del 95,45% y un margen de error de  $\pm 5\%$**

$$n = \left( \frac{40 \sqrt{n' \sum x^2 - \sum (x)^2}}{\sum x} \right)^2$$

Dónde:

$n$  = Tamaño de la muestra que deseamos calcular (número de observaciones)

$n'$  = Número de observaciones del estudio preliminar

$\Sigma$  = Suma de los valores

$x$  = Valor de las observaciones.

$40$  = Constante para un nivel de confianza de 94,45%

Método tradicional: Este método consiste en realizar el siguiente procedimiento sistemático:

1. Realizar una muestra tomando 10 lecturas sí los ciclos son  $\leq 2$  minutos y realizar 5 lecturas sí los ciclos son  $> 2$  minutos, esto debido a que hay más confiabilidad en tiempos más grandes, que en tiempos muy pequeños donde la probabilidad de error puede aumentar.
2. Calcular el rango o intervalo de los tiempos de ciclo, es decir, restar del tiempo mayor el tiempo menor de la muestra:

$$R \text{ (Rango)} = X_{\max} - X_{\min}$$

3. Calcular la media aritmética o promedio:  $\bar{X} = \frac{\sum x}{n}$

Dónde:  $\Sigma x$  = Sumatoria de los tiempos de muestra,

$n$  = Número de ciclos tomados

4. Hallar el cociente entre rango y la media:

$$\frac{R}{\bar{X}}$$

5. Buscar ese cociente en la tabla No.1. En la columna (R/X), se ubica el valor correspondiente al número de muestras realizadas (5 o 10) y ahí se encuentra el número de observaciones a realizar para obtener un nivel de confianza del 95% y un nivel de precisión de  $\pm 5\%$ .

*Tabla No.1 Elementos para calcular el número de observaciones*

R/X	5	10	R/X	5	10	R/X	5	10	R/X	5	10
0	0	0	0.48	68	39	0.20	12	7	0.78	180	103
0.01	1	1	0.50	74	42	0.22	14	8	0.80	190	108
0.02	1	1	0.52	80	46	0.24	13	10	0.82	199	113
0.03	1	1	0.54	86	49	0.26	20	11	0.84	209	119
0.04	1	1	0.56	93	53	0.28	23	13	0.86	218	126
0.05	1	1	0.58	100	57	0.30	27	15	0.88	229	131
0.06	1	1	0.60	107	61	0.32	30	17	0.90	239	138
0.07	1	1	0.62	114	65	0.34	34	20	0.92	250	143
0.08	1	1	0.64	121	69	0.36	38	22	0.94	261	149
0.09	1	1	0.66	129	74	0.38	43	24	0.96	273	156
0.10	3	2	0.68	137	78	0.40	47	27	0.98	284	162
0.12	4	2	0.70	145	83	0.42	52	30	1.00	296	169
0.14	6	3	0.72	153	88	0.44	57	33	1.02	303	173
0.16	8	4	0.74	162	93	0.46	63	36	1.04	313	179
0.18	10	6	0.76	171	98						

Un Estudio de Tiempos demanda el registro de gran cantidad de datos (descripción de elementos, observaciones, duración de elementos, valoraciones, suplementos, notas explicativas). Es posible que tanto los tiempos como las observaciones puedan registrarse en hojas en blanco o de distinto formato cada vez, sin embargo, sería una gran contradicción que quién se encarga de la normalización de un proceso no tenga estandarizada una metodología de registro, y esto incluye los formularios. Por otro lado, los formularios normalizados prácticamente obligan a seguir cierto método, minimizando el riesgo de que se escapen datos esenciales.

Cada Ingeniero, cada especialista, que se encargue de un Estudio de Tiempos, puede crear o adaptar sus propios formularios, por ende deben existir tantos formularios como ingenieros, sin embargo, profesionales de gran trayectoria en este rubro presentan modelos que han dado buenos resultados en materia de practicidad en los estudios de orden general.

Los formularios pueden clasificarse en dos categorías:

- Formularios para consignar datos mientras se hacen las observaciones.
- Formularios para estudiar los datos reunidos.

### **3.4.1. Formularios para reunir datos**

Los formularios para reunir los datos deben de cumplir con una característica fundamental y esta es la "practicidad", pues es muy común diseñar un formato muy bien elaborado en cuanto a relevancia de los datos, pero que en la práctica dificulta el registro; uno de los errores más comunes es el tamaño de las celdas, pues en la práctica es un problema sumamente incómodo.

Los formularios para reunir los datos deben contener por lo menos:

- Primera hoja de estudio de tiempos: en la cual figuran los datos esenciales sobre el estudio, los elementos en que fue descompuesta la operación y los cortes que los separan entre ellos.
- Hojas siguientes: Estas hojas se utilizan en caso de ser necesario para los demás ciclos del estudio. No es necesario los epígrafes de encabezado, por ende solo contendrá columnas y los campos para el número del estudio y la hoja.
- Formulario para ciclo breve: Este tipo de formulario es empleado cuando los ciclos a estudiar son relativamente cortos, por ende una fila puede contener todas las observaciones de un elemento. Es muy parecido a un formulario resumen de datos.

### **3.4.2 Formularios para analizar los datos reunidos**

Los formularios para analizar los datos reunidos deben contener por lo menos:

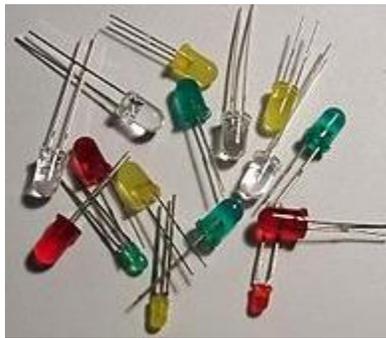
- Hoja de trabajo: Esta hoja se utiliza para analizar los datos consignados durante las observaciones y hallar tiempos representativos de cada elemento de la operación. Al existir tantas maneras de analizar los datos, algunos especialistas recomiendan usar hojas rayadas corrientes.
- Hoja de resumen del estudio: En esta hoja se transcriben los tiempos seleccionados o inferidos de todos los elementos, con indicación de respectiva frecuencia, valoración y suplementos.
- Hoja de análisis para estudio: Esta hoja sirve para computar los tiempos básicos de los elementos de la operación.

Suplementos: Estos deben registrarse en una hoja especial e independiente

## 3.5. ELEMENTOS ELECTRONICOS

### 3.5.1 LEDs

LED (de las siglas en inglés Light-Emitting Diode, diodo emisor de luz en español) se refiere a un componente opto electrónico pasivo, más concretamente un diodo que emite luz, Ver figura No. 3.9



*Figura No.3.9 LEDs de diferentes colores*

Los LEDs se usan como indicadores en muchos dispositivos y en iluminación. Los primeros LEDs emitían luz roja de baja intensidad, pero los dispositivos actuales emiten luz de alto brillo en el espectro infrarrojo, visible y ultravioleta.

Los LEDs infrarrojos también se usan en unidades de control remoto de muchos productos comerciales incluyendo televisores e infinidad de aplicaciones de hogar y consumo doméstico.

En la fig. No. 3.10 se muestra el símbolo electrónico del LED, y cuando el ánodo se conecta a una terminal positiva de fuente de CD y el cátodo a la terminal negativa se dice que el diodo se ha polarizado directamente y es cuando el LED enciende, si se conecta de forma invertida el LED no enciende.



*Figura No. 3.10 Símbolo electrónico del LED*

Es conveniente para evitar un daño al LED, que se le conecte una resistencia en serie, ver figura No. 3.11 y de esta manera limitar la corriente. Como existen LEDs de diferentes capacidades de voltajes que soportan, el valor de esta resistencia puede variar.

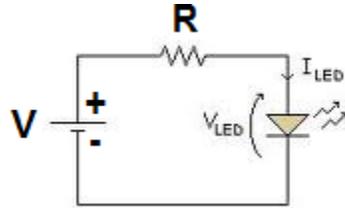


Figura No. 3.11 Polarización directa del LED

### 3.5.2 Baterías recargables.

Una pila o batería recargable (también llamada acumulador) es un grupo de una o más celdas electroquímicas secundarias. Existen en diferentes tamaños, estilos, capacidades de voltaje, duración, como se muestra en la figura No.3.12



Figura No. 3.12 Diferentes tipos de baterías recargables.

En castellano ha venido siendo costumbre llamarla batería, mientras que al dispositivo no recargable, se le ha venido llamando pila. Tanto pila como batería son términos provenientes de los primeros tiempos del estudio de la electricidad, cuando se juntaban varios elementos o celdas —en el primer caso uno encima de otro, "apilados", y en el segundo adosados lateralmente, "en batería"— como se sigue haciendo actualmente, para así aumentar la magnitud de los fenómenos eléctricos y poder estudiarlos sistemáticamente. De esta explicación se desprende que cualquiera de los dos nombres serviría para cualquier tipo, pero la costumbre ha fijado la distinción.

Las baterías están presentes en todos lados, su uso es bastante masivo. Las podemos encontrar al interior de juguetes, controles remoto, artefactos electrónicos, e incluso en automóviles; debido a este amplio uso es que las pilas recargables abren cada vez más un más amplio lugar en el mercado, dado que muchas personas está prefiriendo comprarlas dada su conveniencia, y gran economía al largo plazo.

Una pila convencional es descartada cuando su carga se acaba o se queda en un nivel insuficiente de energía (débil). Con una pila recargable, basta utilizar un dispositivo adecuado (cargador) para que la carga de energía sea restablecida. Con eso, la pila puede ser utilizada nuevamente, numerosas veces, aunque tampoco infinitas veces. La validez patrón de esas pilas (duración) depende de su tipo y de su uso adecuado.

### **3.5.3 Cargadores de baterías.**

Como el nombre lo indica, los cargadores son dispositivos encargados de recargar las baterías. El procedimiento es simple: basta colocar uno o dos pares de pilas recargables en el dispositivo y enchufarlo a la red eléctrica, ver figura No. 3.13



*Figura No. 3.13 Diferentes tipos de cargadores de baterías.*

Ese modo de trabajo nos hace pensar que la carga de la pila es hecha a través de la transferencia de energía a la pila, tal como se saca agua del grifo para llenar una botella. A decir verdad, no es tan simple como eso.

El proceso de recarga de pilas consiste en pasar una corriente eléctrica por ellas de forma que la energía sea "capturada" y almacenada. Cuanto mayor sea la corriente (cargadores más rápidos), menor será el tiempo requerido para la recarga. Sin embargo, la mayor "velocidad de trabajo" hace que la generación de calor aumente, motivo por el cual debe escogerse un cargador capaz de indicar cuando la pila está totalmente cargada. El calentamiento puede vaciar la pila y, en la peor de las hipótesis, causar una explosión.

En el mercado, son más comunes los cargadores que realizan una recarga más

lenta. Las ventajas de ese tipo están en el precio y en la disminución drástica del riesgo de súper calentamiento de las pilas. Además de eso, las pilas acaban teniendo una vida útil mayor.

### 3.5.4 Micro controlador

Un microcontrolador ( $\mu\text{C}$ ) es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica, ver figura No.3.14. Un microcontrolador incluye en su interior las tres principales unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada/salida.

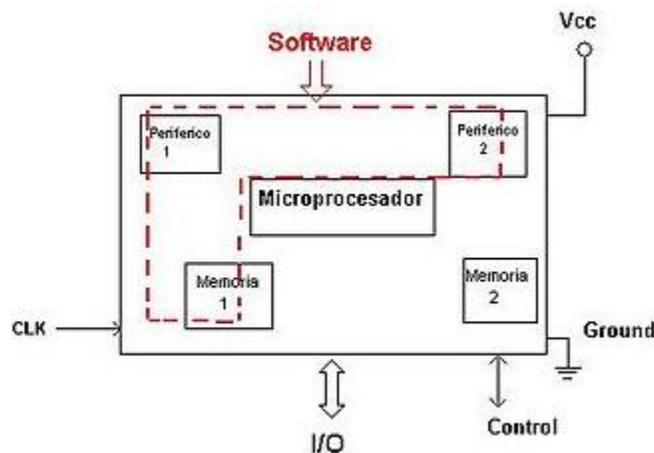


Figura No. 3.14 Esquema de un microcontrolador.

Algunos microcontroladores pueden utilizar palabras de cuatro bits y funcionan a velocidad de reloj con frecuencias tan bajas como 4 kHz, con un consumo de baja potencia (mW o microvatios). Por lo general, tendrá la capacidad para mantener la funcionalidad a la espera de un evento como pulsar un botón o de otra interrupción, el consumo de energía durante el sueño (reloj de la CPU y los periféricos de la mayoría) puede ser sólo nano vatios, lo que hace que muchos de ellos muy adecuados para aplicaciones con batería de larga duración. Otros microcontroladores pueden servir para roles de rendimiento crítico, donde sea necesario actuar más como un procesador digital de señal (DSP), con velocidades de reloj y consumo de energía más altos.

Al ser fabricados, la memoria ROM del microcontrolador no posee datos. Para que pueda controlar algún proceso es necesario generar o crear y luego grabar en la EEPROM o equivalente del microcontrolador algún programa, el cual puede ser

escrito en lenguaje ensamblador u otro lenguaje para microcontroladores; sin embargo, para que el programa pueda ser grabado en la memoria del microcontrolador, debe ser codificado en sistema numérico hexadecimal que es finalmente el sistema que hace trabajar al microcontrolador cuando éste es alimentado con el voltaje adecuado y asociado a dispositivos analógicos y discretos para su funcionamiento.

Solo el microcontrolador aun teniendo internamente las partes más importantes para el desarrollo de proyectos, se le deben anexar otros dispositivos que operan como sistemas periféricos que permitan comunicar al microcontrolador con el exterior.

Con el avance tecnológico hoy día, se han desarrollados sistemas embebidos, incorporando sobre una misma placa esos elementos, de tal forma que su programación y uso se ha facilitado aún más.

Por lo general los sistemas embebidos se pueden programar directamente en el lenguaje ensamblador del microcontrolador o microprocesador, o también, utilizando los compiladores específicos, pueden utilizarse lenguajes como C o C++; en algunos casos, cuando el tiempo de respuesta de la aplicación no es un factor crítico, también pueden usarse lenguajes interpretados como JAVA. Uno de los sistemas embebidos más comercialmente usados hoy día es el Arduino.

### **3.5.5 Arduino.**

Arduino es un sistema embebido con una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios, ver figura No. 3.15



*Figura 3.15: Sistema embebido Arduino*

El hardware consiste en una placa con un microcontrolador Atmel AVR y puertos de entrada/salida. Los microcontroladores Arduino más usados son el Atmega168,

Atmega328, Atmega1280, Atmega8 por su sencillez y bajo costo que permiten el desarrollo de múltiples diseños. Por otro lado el software consiste en un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje de programación Processing/Wiring y el cargador de arranque (boot loader) que corre en la placa.

Desde octubre de 2012, Arduino se usa también con microcontroladoras CortexM3 de ARM de 32 bits, que coexistirán con las más limitadas, pero también económicas AVR de 8 bits. ARM y AVR no son plataformas compatibles a nivel binario, pero se pueden programar con el mismo IDE de Arduino y hacer programas que compilen sin cambios en las dos plataformas. Eso sí, las microcontroladoras CortexM3 usan 3.3V, a diferencia de la mayoría de las placas con AVR que usan comúnmente 5V. Sin embargo, ya anteriormente se lanzaron placas Arduino con Atmel AVR a 3.3V como la Arduino Fio y existen clónicos de Arduino Nano y Pro como Meduino en que se puede conmutar el voltaje.

Arduino se puede utilizar para desarrollar objetos interactivos autónomos o puede ser conectado al software del ordenador (por ejemplo: Macromedia Flash, Processing, Max/MSP, Pure Data). Las placas se pueden montar a mano o adquirirse. El entorno de desarrollo integrado libre se puede descargar gratuitamente.

Al ser open-hardware, tanto su diseño como su distribución son libres. Es decir, puede utilizarse libremente para el desarrollo de cualquier tipo de proyecto sin haber adquirido ninguna licencia.

El proyecto Arduino recibió una mención honorífica en la categoría de Comunidad Digital en el Prix Ars Electrónica de 2006.

*Entradas y salidas del Arduino.* Poniendo de ejemplo al Diecimila, consta de 14 entradas digitales configurables entrada i/o salidas que operan a 5 voltios. Cada pin puede proporcionar o recibir como máximo 40 mA. Los pines 3, 5, 6, 8, 10 y 11 pueden proporcionar una salida PWM (Pulse Width Modulation). Si se conecta cualquier cosa a los pines 0 y 1, eso interferirá con la comunicación USB. Diecimila también tiene 6 entradas analógicas que proporcionan una resolución de 10 bits. Por defecto miden de 0 voltios (masa) hasta 5 voltios, aunque es posible cambiar el nivel más alto, utilizando el pin Aref y algún código de bajo nivel.

*Lenguaje de programación Arduino.* La plataforma Arduino se programa mediante el uso de un lenguaje propio basado en el popular lenguaje de programación de alto nivel Processing. Sin embargo, es posible utilizar otros lenguajes de programación y aplicaciones populares en Arduino. Algunos ejemplos son:

1. Java
2. Flash (mediante ActionScript)
3. Processing
4. Pure Data
5. MaxMSP (entorno gráfico de programación para aplicaciones musicales, de audio y multimedia)
6. VVVV (síntesis de vídeo en tiempo real)
7. Adobe Director
8. Python
9. Ruby
10. C
11. C++ (mediante libSerial o en Windows)
12. C#
13. Cocoa/Objective-C (para Mac OS X)
14. Linux TTY (terminales de Linux)
15. 3DVIA Virtools (aplicaciones interactivas y de tiempo real)
16. SuperCollider (síntesis de audio en tiempo real)
17. Instant Reality (X3D)
18. Liberlab (software de medición y experimentación)
19. BlitzMax (con acceso restringido)
20. Squeak (implementación libre de Smalltalk)
21. Mathematica
22. Matlab
23. Minibloq (Entorno gráfico de programación, corre también en OLPC)
24. Isadora (Interactividad audiovisual en tiempo real)
25. Perl
26. Physical Etoys (Entorno gráfico de programación usado para proyectos de robótica educativa)
27. Scratch for Arduino (S4A) (entorno gráfico de programación, modificación del entorno para niños Scratch, del MIT)
28. Visual Basic .NET
29. VBScript
30. Gambas

Esto es posible debido a que Arduino se comunica mediante la transmisión de datos en formato serie que es algo que la mayoría de los lenguajes anteriormente citados soportan. Para los que no soportan el formato serie de forma nativa, es posible utilizar software intermediario que traduzca los mensajes enviados por ambas partes para permitir una comunicación fluida. Es bastante interesante tener la posibilidad de interactuar Arduino mediante esta gran variedad de sistemas y

lenguajes puesto que dependiendo de cuales sean las necesidades del problema que vamos a resolver podremos aprovecharnos de la gran compatibilidad de comunicación que ofrece.

*Bibliotecas en Arduino.* Las bibliotecas estándar que ofrece Arduino son las siguientes:

1. Serial. Lectura y escritura por el puerto serie.
2. EEPROM. Lectura y escritura en el almacenamiento permanente.
3. Ethernet. Conexión a Internet mediante "Arduino Ethernet Shield". Puede funcionar como servidor que acepta peticiones remotas o como cliente. Se permiten hasta cuatro conexiones simultáneas. Servidor y Cliente.
4. Firmata. Comunicación con aplicaciones de ordenador utilizando el protocolo estándar del puerto serie.
5. LiquidCrystal. Control de LCDs con chipset Hitachi HD44780 o compatibles. La biblioteca soporta los modos de 4 y 8 bits.
6. Servo. Control de servos motores. A partir de la versión 0017 de Arduino la biblioteca soporta hasta 12 motores en la mayoría de placas Arduino y 48 en la Arduino Mega.
7. SoftwareSerial. Comunicación serie en pines digitales. Por defecto Arduino incluye comunicación sólo en los pines 0 y 1 pero gracias a esta biblioteca podemos realizar esta comunicación con el resto de pines.
8. Stepper. Control de motores paso a paso unipolares o bipolares.
9. Wire. Envío y recepción de datos sobre una red de dispositivos o sensores mediante Two Wire Interface (TWI/I2C).
10. Matrix y Sprite de Wiring. Sirven para manejo de matrices de leds.

### **3.5.6 Creación de bibliotecas**

Además de las bibliotecas base, las que son compatibles y las que han aportado otras personas tenemos la posibilidad de escribir nuestra propia biblioteca. Esto es muy interesante por varias razones: permite disponer de código que puede reutilizarse en otros proyectos de forma cómoda; nos permite mantener el código fuente principal separado de las bibliotecas de forma que sean mantenibles de forma separada; y la organización de los programas construidos es más clara y elegante.

## **3.6 COMUNICACIÓN INALÁMBRICA.**

La comunicación inalámbrica o sin cables es aquella en la que extremos de la comunicación (emisor/receptor) no se encuentran unidos por un medio de propagación físico, sino que se utiliza la modulación de ondas electromagnéticas a través del espacio. En este sentido, los dispositivos físicos sólo están presentes en los emisores y receptores de la señal, entre los cuales encontramos: antenas, computadoras portátiles, PDA, teléfonos móviles, etc.

Nuestra naturaleza humana nos hace desenvolvemos en situaciones donde se requiere comunicación. Para ello, es necesario establecer medios para que esto se pueda realizar. Uno de los medios más discutidos es la capacidad de comunicar computadores a través de redes inalámbricas.

La comunicación inalámbrica, que se realiza a través de ondas de radiofrecuencia, facilita la operación en lugares donde la computadora no se encuentra en una ubicación fija (almacenes, oficinas de varios pisos, etc.) actualmente se utiliza de una manera general y accesible para todo público. Cabe también mencionar actualmente que las redes cableadas presentan ventaja en cuanto a transmisión de datos sobre las inalámbricas. Mientras que las cableadas proporcionan velocidades de hasta 1 Gbps (Red Gigabit), las inalámbricas alcanzan sólo hasta 108 Mbps.

Se puede realizar una “mezcla” entre inalámbricas y alámbricas, de manera que pueden funcionar de la siguiente manera: que el sistema cableado sea la parte principal y la inalámbrica sea la que le proporcione movilidad al equipo y al operador para desplazarse con facilidad en distintos campo (almacén u oficina).

Actualmente, las transmisiones inalámbricas constituyen una eficaz herramienta que permite la transferencia de voz, datos y vídeo sin la necesidad de cableado. Esta transferencia de información es lograda a través de la emisión de ondas de radio teniendo dos ventajas: movilidad y flexibilidad del sistema en general.

En general, la tecnología inalámbrica utiliza ondas de radiofrecuencia de baja potencia y una banda específica, de uso libre o privada, para transmitir entre dispositivos.

Estas condiciones de libertad de utilización sin necesidad de licencia, ha propiciado que el número de equipos, especialmente computadoras, que utilizan las ondas para conectarse, a través de redes inalámbricas haya crecido notablemente.

Los medios inalámbricos transmiten y reciben señales electromagnéticas sin un conductor óptico o eléctrico, técnicamente, la atmósfera de la tierra provee el camino físico de datos para la mayoría de las transmisiones inalámbricas, sin embargo, varias formas de ondas electromagnéticas se usan para transportar señales, las ondas electromagnéticas son comúnmente referidas como medio.

En el mercado existen diferentes dispositivos disponibles para los diseñadores de proyectos en una amplia gama de protocolos, alcances y métodos de conexión inalámbrica.

Un sensor de proximidad es un transductor que detecta objetos o señales que se encuentran cerca del elemento sensor.

Existen varios tipos de sensores de proximidad según el principio físico que utilizan. Los más comunes son los interruptores de posición, los detectores capacitivos, los inductivos y los fotoeléctricos, como el de infrarrojos.

Interruptores de posición. El final de carrera o sensor de contacto (también conocido como "interruptor de límite") o limit switch, son dispositivos eléctricos, neumáticos o mecánicos situados al final del recorrido de un elemento móvil, como por ejemplo una cinta transportadora, con el objetivo de enviar señales que puedan modificar el estado de un circuito. Internamente pueden contener interruptores normalmente abiertos (NA), cerrados (NC) o conmutadores dependiendo de la operación que cumplan al ser accionados. Generalmente estos sensores están compuestos por dos partes: un cuerpo donde se encuentran los contactos y una cabeza que detecta el movimiento. Su uso es muy diverso, empleándose, en general, en todas las máquinas que tengan un movimiento rectilíneo de ida y vuelta o sigan una trayectoria fija, es decir, aquellas que realicen una carrera o recorrido fijo, como por ejemplo ascensores, montacargas, robots, etc.

Capacitivos. La función del detector capacitivo consiste en señalar un cambio de estado, basado en la variación del estímulo de un campo eléctrico. Los sensores capacitivos detectan objetos metálicos, o no metálicos, midiendo el cambio en la capacitancia, la cual depende de la constante dieléctrica del material a detectar, su masa, tamaño, y distancia hasta la superficie sensible del detector. Los detectores capacitivos están contruidos en base a un oscilador RC. Debido a la influencia del objeto a detectar, y del cambio de capacitancia, la amplificación se incrementa haciendo entrar en oscilación el oscilador. El punto exacto de ésta función puede regularse mediante un potenciómetro, el cual controla la realimentación del oscilador. La distancia de actuación en determinados materiales, pueden por ello, regularse mediante el potenciómetro. La señal de salida del oscilador alimenta otro

amplificador, el cual a su vez, pasa la señal a la etapa de salida. Cuando un objeto conductor se acerca a la cara activa del detector, el objeto actúa como un condensador. El cambio de la capacitancia es significativo durante una larga distancia. Si se aproxima un objeto no conductor, ( $>1$ ) solamente se produce un cambio pequeño en la constante dieléctrica, y el incremento en su capacitancia es muy pequeño comparado con los materiales conductores.

Este detector se utiliza comúnmente para detectar material no metálico: papel, plástico, madera, etc. ya que funciona como un condensador.

Inductivos. Los sensores inductivos de proximidad han sido diseñados para trabajar generando un campo magnético y detectando las pérdidas de corriente de dicho campo generadas al introducirse en él los objetos de detección férricos y no férricos.

El sensor consiste en una bobina con núcleo de ferrita, un oscilador, un sensor de nivel de disparo de la señal y un circuito de salida.

Al aproximarse un objeto "metálico" o no metálico, se inducen corrientes de histéresis en el objeto. Debido a ello hay una pérdida de energía y una menor amplitud de oscilación. El circuito sensor reconoce entonces un cambio específico de amplitud y genera una señal que conmuta la salida de estado sólido o la posición "ON" y "OFF".

El funcionamiento es similar al capacitivo; la bobina detecta el objeto cuando se produce un cambio en el campo electromagnético y envía la señal al oscilador, luego se activa el disparador y finalmente al circuito de salida hace la transición entre abierto o cerrado.

Fotoeléctricos. El receptor de rayos infrarrojos suele ser un fototransistor o un fotodiodo. El circuito de salida utiliza la señal del receptor para amplificarla y adaptarla a una salida que el sistema pueda entender. La señal enviada por el emisor puede ser codificada para distinguirla de otra y así identificar varios sensores a la vez esto es muy utilizado en la robótica en casos en que se necesita tener más de un emisor infrarrojo y solo se quiera tener un receptor.

Existen tres tipos de sensores fotoeléctricos, los sensores por barrera de luz, reflexión sobre espejo o reflexión sobre objetos.

Infrarrojos. El receptor de rayos infrarrojos suele ser un fototransistor o un fotodiodo. El circuito de salida utiliza la señal del receptor para amplificarla y adaptarla a una salida que el sistema pueda entender. La señal enviada por el emisor puede ser codificada para distinguirla de otra y así identificar varios

sensores a la vez. Esto es muy utilizado en la robótica en casos en que se necesita tener más de un emisor infrarrojo y solo se quiera tener un receptor.

Ultrasónico. Los sensores de ultrasonidos son detectores de proximidad que trabajan libres de roces mecánicos y que detectan objetos a distancias de hasta 8m. El sensor emite impulsos ultrasónicos. Estos reflejan en un objeto, el sensor recibe el eco producido y lo convierte en señales eléctricas, las cuales son elaboradas en el aparato de valoración. Estos sensores trabajan solamente en el aire, y pueden detectar objetos con diferentes formas, colores, superficies y de diferentes materiales. Los materiales pueden ser sólidos, líquidos o polvorientos, sin embargo han de ser deflectores de sonido. Los sensores trabajan según el tiempo de transcurso del eco, es decir, se valora la distancia temporal entre el impulso de emisión y el impulso del eco.

Este sensor al no necesitar el contacto físico con el objeto ofrece la posibilidad de detectar objetos frágiles, como pintura fresca, además detecta cualquier material, independientemente del color, al mismo alcance, sin ajuste ni factor de corrección. Los sensores ultrasónicos tienen una función de aprendizaje para definir el campo de detección, con un alcance mínimo y máximo de precisión de 6 mm. El problema que presentan estos dispositivos son las zonas ciegas y el problema de las falsas alarmas. La zona ciega es la zona comprendida entre el lado sensible del detector y el alcance mínimo en el que ningún objeto puede detectarse de forma fiable.

Magnético. Los sensores de proximidad magnéticos son caracterizados por la posibilidad de distancias grandes de la conmutación, disponible de los sensores con dimensiones pequeñas. Detectan los objetos magnéticos (imanes generalmente permanentes) que se utilizan para accionar el proceso de la conmutación. Los campos magnéticos pueden pasar a través de muchos materiales no magnéticos, el proceso de la conmutación se puede también accionar sin la necesidad de la exposición directa al objeto. Usando los conductores magnéticos (ej. hierro), el campo magnético se puede transmitir sobre mayores distancias para, por ejemplo, poder llevarse la señal de áreas de alta temperatura.

**CAPÍTULO IV.**  
**DESARROLLO DEL SISTEMA**  
**DIDACTICO**

## **4.1. DISEÑO DEL PROTOTIPO DIDÁCTICO.**

El prototipo que se propone consiste en una mesa ergonómica que tiene colocados 6 contenedores de plástico dentro de los cuales se almacenarán las partes del ensamble, las herramientas que se usarán para el ensamble y el ensamble final.

También tiene instalada un sistema electrónico que a través de sensores captará los movimientos que hace el operario durante el desarrollo del método de trabajo los cuáles emitirán una señal electrónica que permitirá realizar la medición del tiempo que requiere el operario para ejecutar los diferentes elementos del trabajo, estos tiempos se almacenarán en una base de datos que serán procesados a través de un software instalado en una computadora y a través de ésta se obtendrán los resultados que consistirá en el tiempo estándar del método de trabajo.

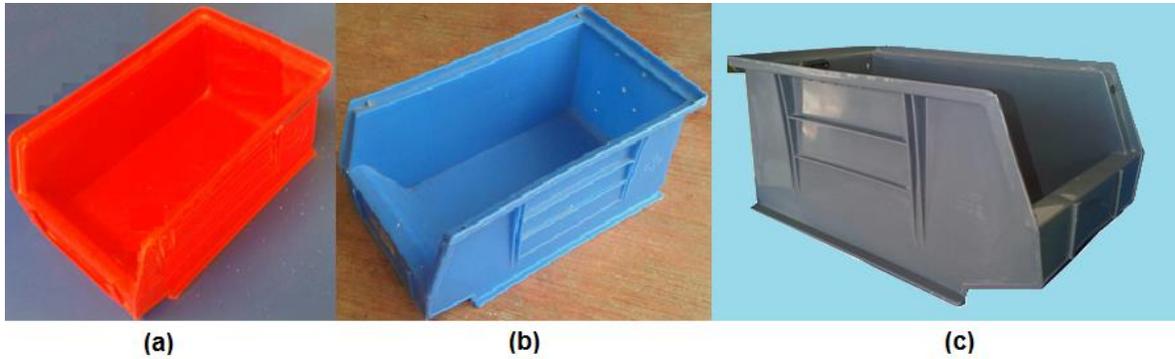
Como se ha descrito, con este prototipo se podrán analizar métodos de ensamble que simulen una actividad en fábrica, generándose de manera inmediata los tiempos estándares del método de trabajo analizado.

## **4.2. CONTENEDORES.**

La selección de los contenedores, fue la primera decisión que se tomó, que depende de las prácticas que se puedan desarrollar con el sistema. Se determinó por experiencia y necesidad de los docentes que imparten la materia de Estudio del trabajo, que la cantidad de piezas que se usarían en el ensamble sería de máximo cuatro piezas con dos recipientes adicionales, una para las herramientas utilizadas en el ensamble y otra para recibir a los productos ya ensamblados.

Se seleccionaron tres tipos de recipientes de plásticos industrial (resistentes), uno para las herramientas, cuatro para las piezas y otra para el producto terminado, de diferentes dimensiones y colores en cada caso.

- a) Un contenedor de herramientas, en color rojo de 8x19x12 cms., (ver figura No. 4.1 a)
- b) Contenedor de piezas. Consta de 4 piezas de color celeste de 12x29x17 cms. (ver figura No. 4.1 b)
- c) Un contenedor de producto terminado en color gris de 17x37x24 cms., (ver figura No. 4.1 c)



*Figura No. 4.1. Contenedores utilizados en el proyecto.*

Con los contenedores ya seleccionados se procedió al diseño de la mesa para su instalación sobre la misma.

### **4.3. MESA ERGONOMICA**

La mesa es un componente crítico del puesto de trabajo para un operador en el momento de ensamblar piezas de un producto, puesto que es donde se realizan la mayoría de las tareas y el lugar donde se encuentran los elementos más importantes para desarrollar la actividad. La altura y disposición de su área de trabajo juega un papel fundamental en la postura y ésta a la vez tiene efecto en la eficiencia con que se desarrolla el trabajo.

El diseño de la mesa permite que un operario pueda trabajar en postura de sentado o parado, y se consideraron en el diseño como se menciona en el capítulo 3, las medidas antropométricas de las partes del cuerpo que intervienen en el desarrollo del trabajo, estas medidas son:

- a) Longitud de brazos: La extensión y flexión de esta extremidad superior al realizar el alcance de las partes de ensamble y herramientas.
- b) Altura de codos en flexión horizontal: Tienen una posición natural hacia abajo y los codos estarán flexionados a 90°, de manera que el brazo este paralelo a la superficie de la mesa, porque si están demasiado alto, los antebrazos se produce fatiga en los brazos y hombros.

Así también se consideró el análisis postural tomando en cuenta que tanto en la posición de parado como de sentado el operario no trabaje inclinado, porque el cuello y la espalda se doblan y ocasionan fatiga.

Para la determinación de las medidas de la mesa se hizo el estudio antropométrico basándose el diseño para el extremo superior, las medidas se obtuvieron de una muestra de 40 estudiantes, obteniéndose los siguientes resultados para los percentiles 95 y 99

Los percentiles son los 99 valores que dividen la serie de datos en 100 partes iguales.

Los percentiles dan los valores correspondientes al 1%, al 2%... y al 99% de los datos.

**P<sub>50</sub>** coincide con la mediana.

### 4.3.1 Cálculo de los percentiles

En primer construimos la tabla de datos y especificamos las frecuencias de acuerdo a las clases establecidas, buscamos la clase donde se encuentra el percentil que se quiere estimar.

En seguida se calcula el percentil para el valor requerido aplicando la siguiente fórmula:

$$P_K = L_i + \frac{\frac{k*N}{100} - F_{i-1}}{f_i} * a_i \quad (1) \quad \text{Para } k = 1, 2, 3, \dots, 99$$

Donde;

**K** es el percentil que se quiere conocer

**L<sub>i</sub>** es el límite inferior de la clase donde se encuentra el percentil.

**N** es la suma de las frecuencias absolutas.

**F<sub>i-1</sub>** es la frecuencia acumulada anterior a la clase del percentil.

**f<sub>i</sub>** es la frecuencia acumulada en la clase del percentil

**a<sub>i</sub>** es la amplitud de la clase.

Con base en lo anterior se procedió a calcular los percentiles 95 y 99 para las dos medidas que tienen efecto de manera directa en el diseño de la mesa de trabajo para ensambles, la tabla de medidas de las muestra de 40 estudiantes es la que se muestra en la Tabla 4.1

No.	Longitud de brazo	Altura de codos (parado)
1	66	130
2	64	134
3	70	137
4	70	134
5	56	122
6	63	125
7	63	134
8	66	123
9	67	130
10	53	118
11	57	114
12	63	124
13	63	117
14	62	118
15	62	120
16	57	120
17	60	123
18	67	137
19	70	138
20	76	140
21	77	137

22	73	136
23	58	120
24	60	130
25	66	134
26	62	128
27	70	140
28	67	132
29	69	138
30	79	152
31	68	135
32	60	116
33	68	137
34	72	138
35	63	127
36	60	126
37	66	135
38	64	132
39	62	126
40	69	137

Tabla 4.1 de medidas antropométricas

Determinación de las frecuencias, agrupados los datos por clases

Longitud de brazo			Altura de codos (parado)		
Clase	Frecuencia	Frecuencia acumulada	Clase	Frecuencia	Frecuencia acumulada
50-52	0	0	114-116	2	2
53-55	1	1	117-119	3	5
56-58	4	5	120-122	4	9
59-61	4	9	123-125	4	13
62-64	11	20	126-128	4	17
65-67	7	27	129-131	3	20
68-70	8	35	132-134	6	26
71-73	2	37	135-137	8	34
74-76	2	38	138-140	5	39
77-79	1	40	=>141	1	40
	40			40	

Tabla 4.2 Clases y frecuencias

Aplicando la formula (1), tenemos:

Para el percentil 90 de la longitud de brazo

$$P_{90} = 68 + \frac{\frac{36 \cdot 40}{100} - 27}{8} * 3 = \mathbf{63.27} \quad (1)$$

Para el percentil 90 de altura de codos en posición de parado

$$P_{95} = 135 + \frac{\frac{36 \cdot 40}{100} - 26}{8} * 3 = \mathbf{130.65} \quad (1)$$

Con base en lo anterior, en el diseño de la mesa se consideraron aspectos ergonómicos, así como los factores siguientes:

- Ergonómica semicircular tipo industrial de altura 110 cms. por 200 cms. de largo y 60 cms. de ancho.
- Fabricado con cubierta de 28 mm de espesor de madera industrializada melaminizada por termo fusión.
- Cantos vinilizados.
- Estructura metálica de 8 patas de tubo de metal redondo de 1" cal. 18.
- Niveladores para ajuste de altura en todas las patas.
- Refuerzos inferiores de tubo redondo de 1" cal. 18 unidades por soldadura con micro alambre.
- Refuerzo superior de tubo ovalado de 1 1/8 "x 5/8" unidades por soldadura con micro alambre.
- Acabado en pintura al horno.
- Diseño moderno y atractivo con una mayor funcionalidad en cuanto a transporte y montaje.

La mesa tiene niveladores de ajuste de altura para adaptarla a diferentes estaturas de operario, que le permitan trabajar en condiciones óptimas de seguridad para su cuerpo y un acceso fácil a los distintos contenedores que pudiéramos usar. La mesa tiene una base completa cuya estructura está formada por secciones laterales y bastidores de gran estabilidad. Ver figura No. 4.2.



*Figura No. 4.2. Mesa de trabajo ergonómica.*

El diseño semicircular ofrece confort y facilidad de acceso a los contenedores en completa armonía con la estructura anatómica del operario Ver figura No. 4.3.



*Figura No. 4.3. Diseño semicircular de la Mesa de trabajo*

Por su forma, la mesa puede ser acomodada en cualquier sitio porque tiene una parte lateral plana que puede pegarse a cualquier pared sin que esta obstaculice el tránsito de los operarios cuando está no se utilice.

La mesa es tipo industrial por la resistencia de sus materiales de fabricación en cuanto a su estructura metálica, es decir, tiene refuerzos en la parte superior e inferior de su periferia para soportar peso y que está no se mueva durante el ensamble de piezas.

Así mismo, otro factor importante a tomar en cuenta es el color de la mesa por la iluminación del área, para un buen ambiente de trabajo. La cubierta de la mesa es de color azul y la estructura de color gris con acabado en pintura al horno por lo que tiene una resistencia para soportar rayones. Además, de la parte de su periferia está protegido con un plástico vinilizado ovalado de color plata que hace completamente visible a la misma que es de gran utilidad para protegerla de daños ocasionados por rasgaduras.

Construida la mesa ergonómica se procedió a la instalación de los seis contenedores, ver figura No. 4.4. Estas se fijan sobre la superficie de la mesa, para un mejor manejo de las piezas al momento de ensamblar. Cabe señalar que pueden ser reubicados si así se requiriese ya que están atornillados.



*Figura No.4.4 Colocación de los contenedores sobre la mesa*

En la figura No. 4.5, en una vista superior, se muestran los contenedores finalmente instalados sobre la mesa. El recipiente de color rojo es el más pequeño que se utilizará para colocar las herramientas pequeñas que se requieran en el trabajo de ensamble, los 4 recipientes en color celeste son para colocar las piezas que se ensamblarán seleccionando cada una de ellas y la más grande en color gris es donde se colocarán los productos terminados o ensamblados.



*Figura No. 4.5 Contenedores colocados sobre la mesa*

## 4.4 SILLA ERGONOMICA.

La propuesta que se hace de esta estación de ensamblado considera trabajar en posición de sentado o parado, ya que la mesa semicircular está diseñada para ambas posiciones.

En razón a lo anterior, en el diseño de la silla también se consideraron aspectos ergonómicos.

Los aspectos que se consideraron y dieron pie al diseño final son:

- Silla industrial ergonómica.
- Asiento y respaldo acojinados.
- Que el operario está sentado cómodamente con ambos pies sobre un soporte que evita que se presente *“la regla de la piel”* considerada en la economía de movimientos.
- Altura ajustable.
- Fija (sin rodajas) que evita se desplace involuntariamente.

La silla finalmente construida se muestra en la figura No.4.6, donde se aprecia un contorno suave, asiento acojinado y cubierto de una tela que deje pasar el aire para prevenir la humedad por sudor.



*Figura No. 4.6. Silla ergonómica.*

Las características que se determinaron para que la silla sea totalmente adecuada para la tarea son:

- Altura de 100 centímetros extensible hasta 125 centímetros.
- Soporte giratorio
- El asiento tiene una superficie de 45 x 45 cms.
- El respaldo es de 40 x 40 cms.
- Disco de plástico debajo del asiento que sirve de soporte para los pies evitando que cuelguen.
- Asiento ajustable a varias posiciones accionando una palanca hacia arriba.
- El color de la silla es azul eléctrico.

La altura de la silla se ajusta de manera que sea posible trabajar en forma eficiente. (Ver Fig. 4.7)



*Figura No. 4.7 Posiciones de ajuste de la silla.*

## **4.5 TAPETE.**

El operario podrá trabajar parado con la ayuda de un tapete anti fatigas, ver figura No.4.8 que le permitirá estar cómodamente sin dolor en pies y piernas, entre otras dolencias producidas por: Fascitis plantar, lumbalgia, restricción del flujo

sanguíneo, hinchazón de piernas y pies, varices, incremento de cambios óseos degenerativos y embarazos pre término y bajo peso al nacer.



*Figura No. 4.8. Tapete de trabajo*

Con eso estamos previniendo que el operario tenga que hacer descanso rápido que afecte el proceso de ensamble y como consecuencias el proceso de producción de un producto.

## 4.6 FUENTE DE VOLTAJE

Para que el sistema electrónico pueda operar requiere de una fuente de voltaje de 9 volts de corriente directa, en este sentido se adquirió un eliminador de baterías como se muestra en la figura No.4.9. Este se debe conectar a la toma de corriente eléctrica y al dispositivo para que pueda operar.



(a)

(b)

*Figura No. 4.9. Eliminador de baterías.*

En caso de no existir corriente eléctrica, se consideró necesario instalar una batería como fuente de respaldo y poder utilizar el sistema aunque por tiempo limitado.

El sistema tiene una batería recargable de 12 Volts, 4 amperes y una carga máxima de 1.6 amperes máximo en operación, como se muestra en la figura No. 4.10.



*Figura No.4.10. Batería recargable.*

Esta batería permite, sin fuente de energía externa, una hora de uso del sistema y en caso de desear más tiempo, se puede optar por adquirir una de mayor capacidad o bien otra igual conectada en paralelo.

## **4.7 SISTEMA ARDUINO.**

El sistema desarrollado, utiliza un sistema embebido denominado Arduino UNO, Ver figura No.4.11, es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo open-hardware, lo que significa que tanto su diseño como su distribución son libres. Es decir, puede utilizarse libremente para el desarrollo de cualquier tipo de proyecto sin haber adquirido ninguna licencia.



Figura 4.11: Sistema embebido Arduino

Este hardware consiste en una placa con un microcontrolador Atmel AVR y puertos de entrada/salida.

Se puede utilizar para desarrollar objetos interactivos autónomos o puede ser conectado a un software con una computadora a través del puerto USB, o bien, por cualquiera de los medios de comunicación existentes (adquiriendo los componentes adicionales en cada caso).

Se puede programar en lenguaje C, el cual es el lenguaje que se utilizó para la programación del registro de los tiempos y el cálculo de los tiempos estándares.

Existen diferentes modelos de Arduino disponibles en el mercado en función de la cantidad de entradas y salidas que desee el diseñador, estas además pueden ser entradas y salidas digitales y/o analógicas. Para el proyecto desarrollado se seleccionó el Arduino UNO que es el más básico y económico, pero que tiene la cantidad suficiente de entradas y salidas requeridas.

Como se mencionó anteriormente, Arduino tiene la capacidad de conectarse por diferentes medios con la computadora y otros dispositivos utilizando los estándares para ello, tal es el caso de WiFi, que es una comunicación inalámbrica. Para llevar a cabo esa comunicación Arduino requiere de otro componente para lograrlo, que es el XBee, mismo que se utilizó en el proyecto.

#### **4.7.1 XBee.**

Es el nombre comercial de Digi International para una familia de módulos de factor de forma de radio compatibles, ver figura No. 12., y permite la comunicación entre dispositivos vía WiFi a través de estos y de forma transparente para los desarrolladores de aplicaciones.



Figura 4.12 Transmisor/Receptor XBee

En el proyecto se instalaron 2, ya que funcionan por pares para la transmisión recepción entre dispositivos, ver figura No. 4.13., uno de ellos se conecta vía USB con la computadora y el otro va montado directamente sobre el Arduino.



Figura 4.13 Par de Transmisores/Receptores XBee

#### 4.7.2 Sensores.

Para detectar el momento justo en que un operario introduce la mano para tomar un objeto desde uno de los contenedores, se decidió por adquirir el sensor infrarrojo Sharp 2D120X, ver figura No. 4.14, que da buenos resultados a cortas distancias de 4cm a 30cm, un campo de detección de 8° y alimentado a 5V.

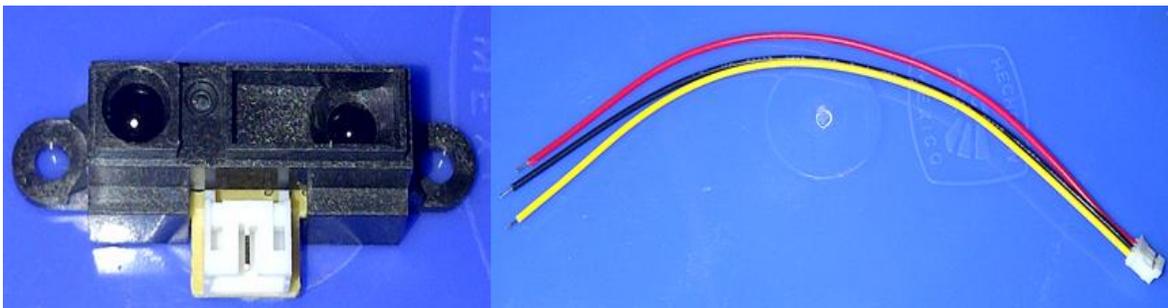


Figura No. 4.14. Sensor infrarrojo Sharp 2D120X

Estos sensores se instalaron en cada uno de los seis contenedores, como se muestra en la figura No. 4.15.



*Figura No. 4.15 Instalación de los sensores en los contenedores*

#### **4.7.3 Leds indicadores de presencia.**

Para indicar el momento en que un operario introduce la mano y asegurarse que efectivamente el sensor detecto esa presencia, se instalaron en cada uno de los contenedores leds en sus extremos frontal, como se muestra en la figura No. 4.16.



*Figura No. 4.16. Instalación de los leds en los contenedores*

Los leds y sensores montados sobre cada contenedor trabajan con 5 volts, por lo que se tuvo que diseñar, ver figura No. 4.17.a, y construir un regulador de voltaje con un circuito integrado 7805, como se muestra en la figura No. 4.17.b.

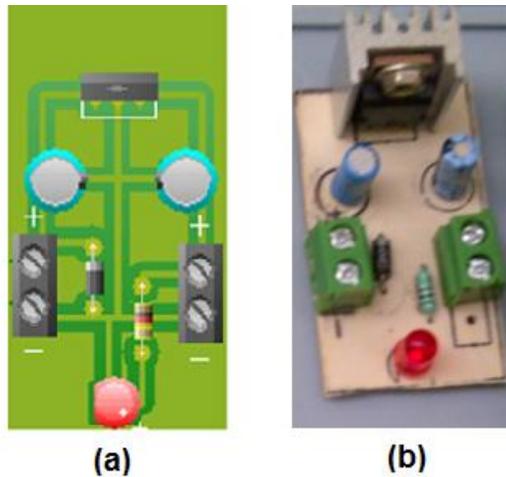


Figura No. 4.17. Regulador de voltaje a 5 V.

Durante las pruebas de detección de presencia cuando se introduce la mano en los contenedores los leds parpadeaban y no lo detectaban de manera muy precisa. Por esta razón se tuvo que diseñar un detector de umbral utilizando un circuito LM311 y un transistor NPN-2N3904. En la figura No. 4.18, se muestra el diseño electrónico del sistema estabilizador de la presencia de la mano en el contenedor con su amplificador de señal proporcionado por el transistor.

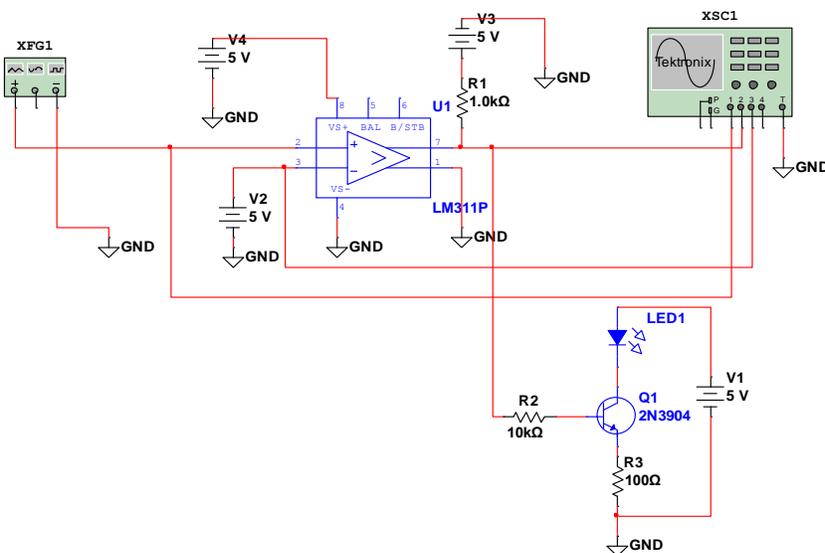
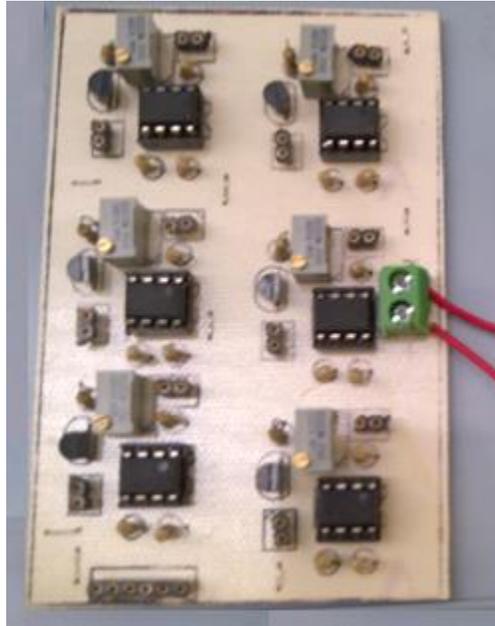


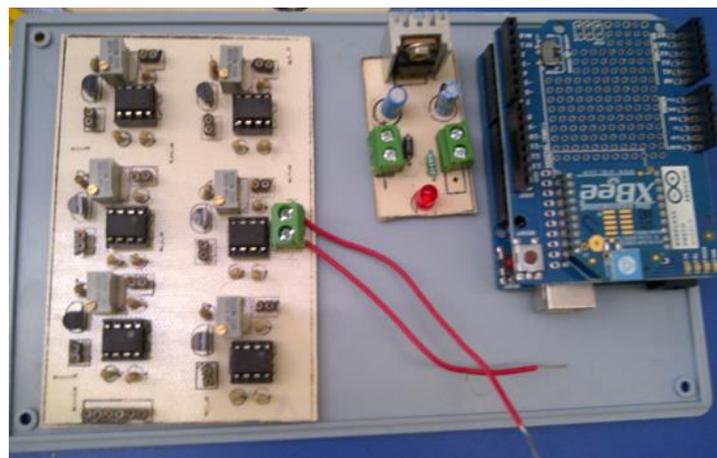
Figura No. 4.18. Diagrama de sistema estabilizador y amplificador de señal de presencia.

Como son seis contenedores, se fabricaron seis sistemas estabilizadores-amplificadores de la señal y se montaron sobre una placa como se muestra en la figura No. 4.19, los cables rojos indican la alimentación al circuito y debe ser de 5V, con la fuente desarrollada y que se muestra en la figura No. 4.16.



*Figura No. 4.19. Sistema estabilizador y amplificador de 6 señales.*

Para ofrecer protección a los componentes y una mejor apariencia de todos estos circuitos (Arduino-XBee, regulador de voltaje y sistema estabilizador), estos se montaron dentro de una caja de plástico como se muestra en la figura No. 4.20.



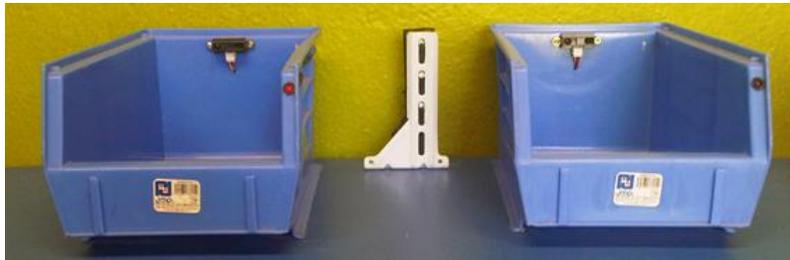
*Figura No. 4.20. Componentes montados sobre una caja de plástico.*

Se instalaron también tres leds, uno de color verde (arriba), otro de color amarillo (en medio) y otro de color rojo (abajo), como se indica en la figura No. 4.21. Estos leds servirán para indicar al operador el momento en que puede comenzar el proceso de ensamblado, cuando el led de color verde está encendido, el de color amarillo indicará cuando el sistema detecte que se encuentra en el penúltimo ensamble y el de color rojo cuando el sistema desde la computadora, deje de comunicarse con los sensores instalados en los contenedores, dando por terminado la cantidad de ensambles determinado previamente (antes de iniciar el proceso).



*Figura No. 4.21. Instalación de la torre de tres leds verde, rojo y amarillo.*

Estos leds se instalaron justo frente a la posición en que estará el operario, entre los dos contenedores situados en medio de la mesa como se muestra en la figura No. 4.22



*Figura No. 4.22. Instalación de la torre de leds indicadores al centro de la mesa*

En la figura No. 4.23., se muestran completamente instalados los contenedores con sus sensores de presencia, leds de cada contenedor y leds de colores al centro de la mesa.



*Figura No. 4.23. Mesa terminada con todos los componentes*

Con los componentes electrónicos necesarios requeridos por el sistema, se procedió a la conexión eléctrica para dejar a punto todos sus elementos completamente instalados, como se muestra en la figura No. 4.24.



*Figura No. 4.24. Instalación de componentes electrónicos*

#### **4.7.4 Programación**

Código del programa en lenguaje C para arduino:

```
Short int C1, C2, C3, C4, C5, C6; //Cajas
```

```
Short int LR=5, LA=6, LV=7; //LEDS
```

```
Char LED;
```

```
Voidsetup ()
```

```
{CONFIGURAR();}
```

```
void loop()
{
  LEER();
  LEDS();
  IMPRIMIR();
  delay(100);
}

void CONFIGURAR()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(8,INPUT);
  pinMode(9,INPUT);
  pinMode(10,INPUT);
  pinMode(11,INPUT);
  pinMode(12,INPUT);
  pinMode(13,INPUT);
  pinMode(LR,OUTPUT);
  pinMode(LV,OUTPUT);
  pinMode(LA,OUTPUT);
}

void LEER()
{
  C1=digitalRead(8);
```

```
C2=digitalRead(9);
C3=digitalRead(10);
C4=digitalRead(11);
C5=digitalRead(12);
C6=digitalRead(13);
}
void IMPRIMIR()
{
Serial.print(C1);
Serial.print(C2);
Serial.print(C3);
Serial.print(C4);
Serial.print(C5);
Serial.println(C6);
}
void LEDS()
{
if(Serial.available())
{
LED=Serial.read();
switch(LED)
{
case 'V':
```

```
        digitalWrite(LV,HIGH);
digitalWrite(LR,LOW);
        digitalWrite(LA,LOW);
break;
    case 'R':
        digitalWrite(LV,LOW);
        digitalWrite(LR,HIGH);
        digitalWrite(LA,LOW);
    break;
    case 'A':
        digitalWrite(LV,LOW);
        digitalWrite(LR,LOW);
        digitalWrite(LA,HIGH);
    break;
    case 'P':
        digitalWrite(LV,LOW);
        digitalWrite(LR,LOW);
digitalWrite(LA,LOW);
    break;
}
}
}
```

## 4.8 DISEÑO DE LA INTERFAZ GRÁFICA DEL USUARIO.

### 4.8.1 Sistema para estudio de tiempos asistido por computadora



Fig. No. 4.25 Ventana principal

Ventana principal del programa con el que se controla el estudio de tiempos, a través de esta ventana se introducen valores a los parámetros que acotarán el estudio

1. Cuadro en el cual se selecciona el inicio de la práctica así como pausarlo o detenerlo una vez habilitada la conexión con el microcontrolador.
2. Cuadro con el que se selecciona el número de ensambles para dicha practica
3. Indicador que visualiza el número de ciclo que está efectuando el operario.
4. Cuadro en el cual se introduce la secuencia a seguir dependiendo del tipo de ensamble a efectuar práctica.
5. Cuadro en el cual se introduce el factor de calificación (requisito necesario para hacer los cálculos correctos de tiempo estándar)
6. Cuadro en el cual se introduce el factor de tolerancia (requisito necesario para hacer los cálculos correctos de tiempo estándar)
7. Botón con el que se cierra la aplicación

8. Barra de estado que muestra si está o no habilitada la conexión entre el emisor y el receptor de datos.
9. Barra de menú que permite que el analista pueda modificar la configuración del puerto de conexión del microcontrolador (ver la tabla de resultados y desplegar información acerca del programa en la opción ayuda.)
10. Panel en el que se muestra una imagen de la mesa de trabajo así como indicadores de inicio, pausa o fin del estudio, además, de una animación que nos muestra cuando el operario es detectado al ingresar la mano en los recipientes de acuerdo a la secuencia ingresada por el analista.

#### 4.8.2 Pestaña Tabla de Registro

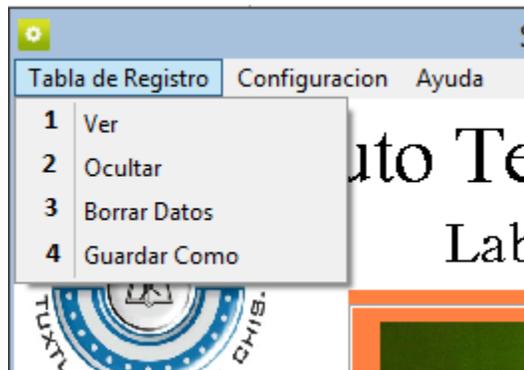


Fig. No. 4.26 Menú de la tabla de registros

1. Opción que permite ver la tabla de registro
2. Opción que permite ocultar la tabla de registro
3. Opción que permite borrar los datos en la tabla de registro, tanto de la tabla de lectura como la de resultados
4. Opción para guardar el archivo de datos

#### 4.8.3 Pestaña Configuración

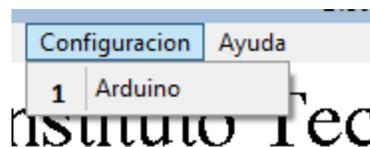


Fig. 4.27 Pantalla de configuración

A través de la pantalla de configuración se habilita la comunicación entre los dispositivos electrónicos es decir entre el puerto de la computadora al que está

asignado el microcontrolador y la tarjeta Arduino, además de poder habilitar y deshabilitar la conexión entre ellos.

#### 4.8.4 Ventana Configuración

La selección del puerto de comunicación se hace por medio de la pantalla de la fig. No. 4.28

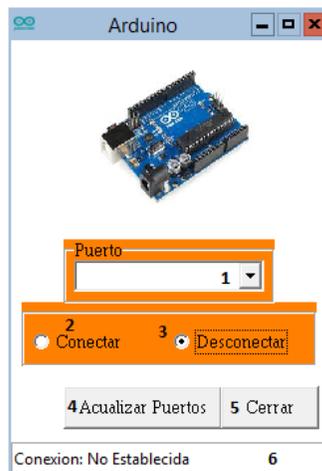


Fig. No. 4.28 Ventana de selección de puerto

1. Muestra los puertos disponibles y debe seleccionarse el que mejor comunicación permita y que fue asignado al microcontrolador.
2. Habilita y deshabilita la comunicación con el controlador
3. Actualiza la lista de puertos
4. Cierre de la ventana de configuración del microcontrolador
5. Barra de estado el cual muestra recomendaciones

#### 4.8.5 Tabla de Registros

A través de la tabla de la Fig. No. 4.29, se registran los tiempos de cada elemento en cada ciclo de trabajo realizado, estos datos permiten obtener los tiempos estándares.

Tabla de Registros



# Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez

## Laboratorio de Ingeniería Industrial

### Registro de Lecturas para el Estudio de Tiempos

Analista	Metodo	Hora Inicio	Hora Final	Num Observaciones	Descripcion
1	2	3	4	5	6

Ensamblaje/Ciclo	1	2	3	4	5	6	7			
Ciclos	Observacion	T	T	T	T	T	T	T		
1										
2										
						11				

7 Borrar Datos
8 Calcular

#### Tabla de Resultados

	1	2	3	4	5	6	7			
T Total										
Num.Observ						12				
T Medio Eler										
Factor Cal										
T Normal										

9 Guardar Como

Tiempo Estandard Total
10

Fig. No. 4.29 Pantalla de registro de datos

1. Recuadro en el que se inserta el nombre del analista que efectúa el estudio
2. Recuadro en el que se inserta el nombre del método que se analiza
3. Recuadro en el que se presenta la hora de inicio del estudio de tiempos
4. Recuadro en el que se presenta la hora en que termina el estudio de tiempos
5. Recuadro en el cual se inserta el número de ciclos de trabajo que serán analizados.
6. En este espacio se describe el nombre del método de trabajo
7. Botón que borra los datos tanto de la tabla de lectura(11) como la de resultados(12)
8. Botón que hace los cálculos los cuales son visualizándolos en la tabla de resultados(12)
9. Botón el cual da la facilidad de exportar los datos a un archivo Excel
10. En este cuadro se visualiza el tiempo estándar total una vez finalizado los cálculos.

11. Tabla de lectura en la cual se muestran los tiempos registrados, así como, brinda la opción de ingresar las observaciones consideradas por el analista
12. Tabla de resultados que muestra los tiempos estándares elementales y el tiempo estándar del ciclo.

Cuando se han ingresado todos los datos requeridos por el sistema como son los parámetros del estudio y el registro de los tiempos elementales, el proceso de cálculo de los tiempos estándares es realizado por el software de manera inmediata, esto reduce casi en un 100% el tiempo de trabajo en escritorio que normalmente lleva hacerlo de manera manual, esto representa otra gran ventaja que brinda este prototipo de “Estudio de tiempos asistido por computadora”.

# **CAPITULO V.**

## **PRUEBAS Y RESULTADOS**

## **5.1 TOMA DE TIEMPOS EN PRUEBAS DE ENSAMBLES.**

Para poner a prueba los componentes electrónicos y el software para la determinación de tiempos estándares con este prototipo de estación de ensamble, se efectuaron corridas de ensamble de una pieza seleccionada, para este caso, se utilizaron llaves de nariz para control de paso de agua, el despiece requirió el uso de los cuatro contenedores para partes, se utilizaron dos herramientas (1 desarmador plano y una llave perico 6") que se ubicaron en el contenedor de herramientas, las llaves ensambladas se colocaron en el contenedor de producto terminado.

Se determinó realizar 14 ensambles en 1 corrida para tener una muestra de 14 ciclos y observar la consistencia de los datos para determinar el nivel de confiabilidad en el estudio. De acuerdo a la metodología para el estudio se asignó a un estudiante familiarizado con la actividad para representar a un operario promedio. Sin embargo, se calificó el desempeño del operario durante el trabajo realizado a través del software basado en la técnica Westhingham, de acuerdo a la habilidad demostrada y que se observó durante el estudio obteniendo un factor del 134%, para considerar en el estudio todas las variables que influyen en el mismo también se determinó aplicar una tolerancia del 13% como un valor promedio que se asignó para la estimación de los elementos extraños inevitables.

## **5.2 RESULTADOS OBTENIDOS DEL MÉTODO DE TRABAJO ANALIZADO**

Los resultados obtenidos se presentan en la tabla de resultados que emite el sistema a través del software, para la prueba realizada los resultados se observan en la tabla No. 5.1, esta tabla se ajustó de acuerdo al método de trabajo que analizado, es decir, de acuerdo al número de ciclos que fueron medidos y al número de partes a ensamblar.

Como se puede observar en el elemento 3 del ciclo 11 se observa el registro de un elemento extraño evitable, esto también, es una potencialidad del sistema que permite registrar este tipo de eventos cuyos tiempos son restados en el cálculo para no afectar el tiempo estándar.

El tiempo estándar obtenido del método de trabajo analizado fue de 36.26 segundos.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
1	<b>Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez</b>											
2	Laboratorio de Ingeniería Industrial											
3	Registro de tiempos elementales											
4				Analista:	Christian			Hora de Inicio:		10:42:34 a. m.		
5				Método:	Actual			Hora final:		10:51:16 a. m.		
6				Descripción:	Ensamble de Llave			Num. De ciclos:		14		
7										T Estandar del ciclo		00:36:26
8	Elementos			Alcanzar cpo de llave de nariz	Colocar tuerca sup con vástago en cpo de llave de nariz	Obtener llave inglesa y apretar tuerca sup	Alcanzar manivela y ensamblar	Alcanzar tornillo y colocar en manivela	Obtener desarmador plano y apretar	Colocar llave de nariz		
9	Ciclos	E. Extraños	Observaciones	T	T	T	T	T	T	T		
10	1			1.16	1.2	5.77	3.51	1.64	6.92	4.38		
11	2			1.32	1.11	4.73	3.21	2.9	4.87	4.41		
12	3			1.33	1.35	2.75	3.55	1.91	5.75	5.9		
13	4			1.4	1.47	3.1	4.14	2.87	5.61	5.33		
14	5			1.33	1.71	3.27	4.72	2.87	6.45	4.2		
15	6			1.1	1.67	4.27	3.38	2.55	7.55	3.77		
16	7			1.27	1.21	3.33	3.89	2.25	4.73	4.53		
17	8			1.53	1.35	3.8	4.52	1.85	4.75	4.21		
18	9			1.59	1.22	2.87	3.57	2.63	4.55	4.47		
19	10			1.32	1.9	3.18	3.8	3.41	7.34	4.34		
20	11	(6,4.34),		0.89	1.79	3.83	7.37	3.51	5.58	4.78		
21	12			1.21	1.21	3.85	3.83	4.85	5.38	4.47		
22	13			0.77	1.15	4.9	3.83	4.99	5.8	4.21		
23	14			1.96	1.51	3.44	5.4	2.15	5.13	5.62		
24												
25				T Total	18.18	19.85	53.09	58.72	40.38	80.41	64.62	
26				Num. de Ciclos	14	14	14	14	14	14	14	
27				T Medio Elem	1.2985714	1.4178571	3.7921429	4.1942857	2.8842857	5.7435714	4.615714286	
28				Factor Cal	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	
29				T Normalizado	1.7400857	1.8999286	5.0814714	5.6203429	3.8649429	7.6963857	6.185057143	
30				Factor de Tolerancia	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	
31				T Estandar	1.9662969	2.1469193	5.7420627	6.3509874	4.3673854	8.6969159	6.989114571	

Tabla 5.1 Registro de tiempos y cálculo de tiempo estándar

Con base en estos resultados se tendrían que registrar los tiempos de una muestra representativa aplicando la fórmula (1) que plantean Niebel y Freivals. Considerando que los tiempos registrados son datos estadísticos que presentan una distribución que se estima como “t” porque en los estudios de tiempos las muestras son relativamente pequeñas, se tendría:

$$N' = \left( \frac{ts}{k\bar{x}} \right)^2 \quad (1)$$

Donde

N = Número de ciclos requeridos (muestra representativa)

t = Valor para una distribución “t”

s = Desviación estándar de la muestra previa

$\bar{x}$  = Media de la muestra previa

Ahora bien, considerando que el elemento con mayor desviación es el 4 “Alcanzar manivela y ensamblar” el cálculo se hace con base en los tiempos de este elemento, esto se observa en la tabla 5.2

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		Elemento 1	Elemento 2	Elemento 3	Elemento 4	Elemento 5	Elemento 6	Elemento 7	
2	Ciclo 1	1.16	1.2	5.77	3.51	1.64	6.92	4.38	
3	Ciclo 2	1.32	1.11	4.73	3.21	2.9	4.87	4.41	
4	Ciclo 3	1.33	1.35	2.75	3.55	1.91	5.75	5.9	
5	Ciclo 4	1.4	1.47	3.1	4.14	2.87	5.61	5.33	
6	Ciclo 5	1.33	1.71	3.27	4.72	2.87	6.45	4.2	
7	Ciclo 6	1.1	1.67	4.27	3.38	2.55	7.55	3.77	
8	Ciclo 7	1.27	1.21	3.33	3.89	2.25	4.73	4.53	
9	Ciclo 8	1.53	1.35	3.8	4.52	1.85	4.75	4.21	
10	Ciclo 9	1.59	1.22	2.87	3.57	2.63	4.55	4.47	
11	Ciclo 10	1.32	1.9	3.18	3.8	3.41	7.34	4.34	
12	Ciclo 11	0.89	1.79	3.83	7.37	3.51	5.58	4.78	
13	Ciclo 12	1.21	1.21	3.85	3.83	4.85	5.38	4.47	
14	Ciclo 13	0.77	1.15	4.9	3.83	4.99	5.8	4.21	
15	Ciclo 14	1.96	1.51	3.44	5.4	2.15	5.13	5.62	
16	Des. Estand.	0.2912534	0.2601532	0.8616815	1.0863752	1.0247605	0.9787559	0.597182	
17	Media				4.1942857				
18									
19									

Tabla 5.2 Desviación estándar de los tiempos registrados

Por lo tanto

$$N' = \left( \frac{(3.012)(1.086375)}{(0.01)(4.194285)} \right)^2$$

**N' = 78.01 ≈ 79**

De tal manera que si el interés del estudio fuese el análisis del método de trabajo los sería necesario obtener los tiempos de 79 ciclos de trabajo, pero, como lo que se busca es encontrar la consistencia del sistema a través del que se obtienen los tiempos, entonces, no es necesario analizar más ciclos, puesto que no se observaron desviaciones en el registro de los tiempos, la respuesta del sistema es instantánea al identificar los movimientos electrónicamente.

**CAPITULO VI.**  
**ANÁLISIS DE COSTOS Y**  
**CONCLUSIONES**

## 6.1. ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO DEL SISTEMA.

Se efectuó el análisis de costos y beneficios que proporciona este sistema de estudio de tiempos asistido por computadora

Artículo	Cantidad	Costo Unitario	Importe
Mesa mostrador semicircular H110 200x65cm	1	2,955.80	2,955.80
Silla alta Mod. a-125 azul eléctrico	1	1,570.00	1,570.00
Tapete	1	200.00	200.00
Contenedor rojo 8x19x12cms	1	20.00	20.00
Contenedor celeste 12x29x17cms	4	37.00	148.00
Contenedor gris 17x37x24cms	1	47.00	47.00
Batería recargable sellada, de ácido-plomo, de 12 Volts, 4 Ah	1	250.00	250.00
Arduino Uno-R3	1	318.97	318.97
Explorador - programador USB para XBee	1	297.41	297.41
XBee 2mW Serie 2 (ZB) con antena de chip	2	383.62	767.24
Arduino Wireless Proto Shield (XBee)	1	237.07	237.07
Sensor infrarrojo de proximidad de rango corto - Sharp GP2D120XJ00F	6	211.21	1267.26
Cable para sensor infrarrojo de proximidad - 3 - Pines JST	6	21.55	129.30
Leds	6	1.00	6.00
Comparador lineal de alto rendimiento LM311, en encapsulado N/626	6	13.00	78.00
Varios	1	100	100.00
<b>TOTAL</b>			<b>8,392.05</b>

Tabla No. 6.1 Análisis de costos

Recordemos que el costo por mano de obra no está incluido, solo se han considerado los costos de las partes y los materiales requeridos para la construcción del prototipo.

En este sentido y pensando que es un prototipo didáctico su costo es bajo para el uso que se le dará en el aula, más aún, que utiliza tecnología de punta y puede replicarse para otras instituciones educativas si se considera necesario.

## **6.2 BENEFICIOS**

Los principales beneficios que ofrece este sistema es la rapidez para determinar los tiempos estándares, no importando el número de elementos y ciclos a observar, así también, la eliminación de los errores comunes en los estudios de tiempos con cronómetro como son: el error de vuelta a cero y el error de pérdida de lecturas por monotonía en ciclos largos. La confiabilidad del sistema es alta y al incorporar tecnología de punta es posible que sea considerado como una alternativa importante para el estudio de tiempos en procesos industriales.

Se pueden agregar las siguientes ventajas:

1. Eliminación de cronometro.
2. Eliminación de trabajo de escritorio para cálculos y para la elaboración de la tabla de resultados y por lo tanto, los errores por factor humano.
3. Elaboración de reporte electrónico del reporte final usando la interfaz gráfica de usuario.
4. Envío de información de manera inalámbrica, lo cual permite que el operador desarrolle su trabajo sin que el analista interfiera durante el estudio.
5. La mesa por su estilo ergonómica proporciona comodidad al operario en cuanto a condiciones óptimas de trabajo y de seguridad.
6. La mesa está diseñada de forma semicircular que ofrece protección en la parte de los extremos a los operarios que transitan cerca.
7. La mesa se puede nivelar para corregir desniveles en el piso porque cuenta con niveladores de ajustes de altura.
8. Los recipientes industriales colocados sobre la mesa, pueden ser cambiados por otro tamaño de ser necesario.
9. El diseño ergonómico permite que el operario pueda trabajar parado o sentado.
10. Cuenta con una silla ergonómica que puede ajustarse a la altura que el operario requiera.

11. Es un equipo que se puede transportar a cualquier área con facilidad por ser de poco peso.
12. Se puede usar en lugares donde no haya acceso a energía eléctrica fuera de las instalaciones puesto que cuenta con batería recargable.
13. El equipo electrónico utilizado es fácil de mantener y reparar ya que son elementos de uso común que se consiguen en el mercado local.

### **6.3 CONCLUSIONES.**

El prototipo desarrollado para Estudio de tiempos asistido por computadora es una herramienta importante para determinar tiempos estándares con mucha precisión, en este sistema el error humano, así como, la subjetividad en el estudio se reducen casi totalmente, se considera que este sistema debe ser parte del equipamiento básico de un laboratorio de Ingeniería Industrial y puede constituirse como el parteaguas en el desarrollo de nueva tecnología aplicable a esta rama importante de la Ingeniería.

## **VII. BIBLIOGRAFIA**

1. Vern, Putz-anderson (1992). Cumulative trauma disorders: A manual for musculoskeletal diseases of the upper limbs. London: Taylor & Francis.
2. International Ergonomics Association, «Definition of Ergonomics» (en inglés). Consultado el 05 de agosto de 2011.
3. Marmaras, N., Poulakakis, G. and Papakostopoulos, V. (1999). Ergonomic design in ancient Greece. Applied Ergonomics, 30 (4), pp. 361-368.
4. Niebel, Benjamin W. Freivalds, Andris: 'Ingeniería Industrial; Métodos, estándares y diseño del trabajo' The McGraw-Hill companies, Inc, 2005, 11 Edición.
5. Montero Martínez, Ricardo (2000). Un paso hacia el futuro: el desarrollo de la Macroergonomía. España: Factores Humanos, 23.
6. Niebel, Benjamin W. Freivalds, Andris: 'Ingeniería Industrial; Métodos, estándares y diseño del trabajo', página 148-150. The McGraw-Hill companies, Inc, 2005. 7. ↑ a b Jürgen Freiwald, Elmar Trunz, Peter Konrad: 'En forma mediante el entrenamiento muscular', página 21. Editorial Paidotribo, 2002.
8. Conglenton, J.J (1983). The design and evaluation of the neutral posture chair, (tesis doctoral). Lubbock, TX: Texas Tech University.
9. Vallejo, GJL. «Revista Latinoamericana de Salud en el Trabajo, 2004; 4 (1)» (en español). Consultado el 08 de diciembre de 2011.