

**SISTEMA MULTIESTACIONES PARA EL  
ACONDICIONAMIENTO DE LOS GRUPOS  
MUSCULARES EJERCITABLES**

**DIEGO ARMANDO RODRÍGUEZ WOLFF  
JUAN CARLOS GÓMEZ CORREDOR**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO - MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2008**

**SISTEMA MULTIESTACIONES PARA EL  
ACONDICIONAMIENTO DE LOS GRUPOS  
MUSCULARES EJERCITABLES**

**DIEGO ARMANDO RODRÍGUEZ WOLFF  
JUAN CARLOS GÓMEZ CORREDOR**

**Trabajo de Grado para optar al título de  
Ingeniero Mecánico**

**Director  
JAVIER RUGELES PÉREZ  
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO - MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2008**

## **DEDICATORIA**

A Dios,  
A mis padres y hermanos,  
A mi novia,  
A mis familiares y amigos.

**Diego Armando Rodríguez Wolff.**

## **DEDICATORIA**

A Dios,  
A mis hijos,  
A mis padres.

**Juan Carlos Gómez Corredor.**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Javier Rugeles, ingeniero mecánico, director del proyecto, por su apoyo, orientación y colaboración.

A mis padres y familiares.

A todos mis amigos.

**Diego Armando Rodríguez Wolff.**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Javier Rugeles, ingeniero mecánico, director del proyecto, por su apoyo, orientación y colaboración.

A mis padres y familiares.

A todos mis amigos.

**Juan Carlos Gómez Corredor.**

## CONTENIDO

	pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>1. SISTEMA MUSCULAR</b>	3
1.1 MÚSCULOS DEL CUERPO HUMANO	3
1.1.1 Clasificación de los Músculos	3
1.1.2 Descripción y Forma de los Músculos	4
1.2 FUNCIONES DEL SISTEMA MUSCULAR	5
1.3 CLASIFICACIÓN DE LA ACCIÓN MUSCULAR	7
1.4 CLASIFICACIÓN DE LOS MÚSCULOS DE ACUERDO A SU FUNCIÓN	7
1.4.1 Músculo Motor o Agonista	8
1.4.2 Músculo Fijador, Estabilizador o de Sostén	8
1.4.3 Músculo Antagonista	8
1.4.4 Músculo Neutralizador	8
1.5 GRUPOS MUSCULARES EJERCITABLES (GME)	11
<b>2. DISEÑO Y SELECCIÓN</b>	13
2.1 EQUIPOS PARA EL ACONDICIONAMIENTO FÍSICO	14
2.1.1 Espalda	14
2.1.2 Pecho	15
2.1.3 Brazo	17
2.1.4 Abdomen	18
2.1.5 Cadera	18

2.1.6 Muslo	19
2.1.7 Hombro	21
2.1.8 Pantorrilla	21
2.2 SELECCIÓN EQUIPOS DE ACONDICIONAMIENTO FÍSICO	22
2.2.1 Valoración	22
2.3 DISPOSICIÓN FINAL	26
2.3.1 Estación Uno. Prensa de Hombro	30
2.3.2 Estación Dos. Contractor de Pecho con Prensa de Pecho Sentado	30
2.3.3 Estación Tres. Sentadilla con Guía Libre y con Banco Multiposición	31
2.3.4 Estación Cuatro. Polea Alta con Máquina Abdominales	32
2.3.5 Estación Cinco. Torre Auxiliar	33
2.3.6 Estación Seis. Trabajo Libre con Banco multiposición para Mancuernas	34
2.4 DISEÑO Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL ASISTIDOS POR COMPUTADOR	35
2.4.1 Preselecciones de Materiales y Dimensiones	35
2.4.2 Diseño	37
2.4.3 Análisis Estructural	38
<b>3. CONSTRUCCIÓN Y COSTOS</b>	<b>50</b>
3.1 MATERIALES	50
3.1.1 Selección y Disponibilidad	50
3.2 ORDEN OPERACIONAL	52
3.2.1 Compra de Insumos	52
3.2.1.1 Accesorios	53
3.2.1.2 Materia Prima	54
3.2.2 Corte	55

3.2.3 Perforado	56
3.2.4 Roscado	59
3.2.5 Soldadura de Piezas Primarias	59
3.2.6 Soldadura de Ensamble	61
3.2.7 Desarmado para Recubrimiento superficial	66
3.2.8 Ensamble Final y Puesta a Punto	67
3.3 COSTOS DE FABRICACIÓN SISTEMA MULTIESTACIONES	70
<b>CONCLUSIONES</b>	73
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	74
<b>ANEXOS</b>	75

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Tipos de Fibras Musculares	4
Figura 2. Inserción de los Músculos	4
Figura 3. Vista Frontal Sistema Muscular	9
Figura 4. Vista Posterior Sistema Muscular	10
Figura 5. Equipos de Ejercitación Utilizados en Antiguas Civilizaciones	13
Figura 6. Diseño de la Estructura Central del Sistema Multiestaciones	25
Figura 7. Disposición Final del Sistema Multiestaciones	27
Figura 8. Dispositivos Multipropósito de las Estaciones de Ejercitación	29
Figura 9. Vista General del Modelado Virtual Sistema Multiestaciones	37
Figura 10. Resultados Gráficos del Análisis Estructural CAE	39
Figura 11. Secuencia Operacional de Construcción Sistema Multiestaciones	52
Figura 12. Máquina Cortadora de Metal de Disco Abrasivo	55
Figura 13. Marcado de Piezas	56
Figura 14. Taladro de Árbol	57
Figura 15. Proceso de Trazado y Centrado de las Piezas	58
Figura 16. Maquinado de Piezas Gemelas	59
Figura 17. Soldadura Piezas Primarias	61
Figura 18. Ensamble de la Estructura Central	61
Figura 19. Soldadura de Ensamble Estación 1	62
Figura 20. Soldadura de Ensamble Estación 2	62
Figura 21. Soldadura de Ensamble Estación 3	63

Figura 22. Soldadura de Ensamble Estación 4	64
Figura 23. Soldadura de Ensamble Estación 5	65
Figura 24. Alineación Poleas	65
Figura 25. Montaje Planchuelas y Poleas	66
Figura 26. Desarmado del Sistema Multiestaciones	67
Figura 27. Sistema Multiestaciones Terminado	67
Figura 28. Estación 1 Prensa de Hombro	68
Figura 29. Estación 2 Contractor de Pecho y Pecho Sentado	68
Figura 30. Estación 3 Sentadilla con Guía	68
Figura 31. Estación 4 Polea Alta y Máquina Abdominales	69
Figura 32. Estación 5 Torre Auxiliar	69
Figura 33. Estación 6 Trabajo Libre	69

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Grupos Musculares Ejercitables y sus Músculos Integrantes	11
Tabla 2. Valoración de los Parámetros de Selección en los Equipos de Ejercitación más Comerciales Existentes en el Mercado	23
Tabla 3. Estación de Trabajo con sus Equipos de Ejercitación Integrantes	24
Tabla 4. Grupo Muscular y Estación de Trabajo Correspondiente	27
Tabla 5. Elementos, Materiales y Características	36
Tabla 6. División en Secciones para Análisis CAE	38
Tabla 7. Resultado Análisis Estructura Central- Estaciones 3 y 6	47
Tabla 8. Resultado Análisis Estación Uno	47
Tabla 9. Resultado Análisis Estación Dos	48
Tabla 10. Resultado Análisis Estación Cuatro	48
Tabla 11. Resultado Análisis Estación Cinco	48
Tabla 12. Resultado Análisis Estación Seis	49
Tabla 13. Resultado Análisis Barra Polea Alta	49
Tabla 14. Resultado Análisis Seguidor Planchuelas	49
Tabla 15. Materiales Seleccionados con sus Proveedores Locales	51
Tabla 16. Lista de Accesorios que Conforman el Sistema Multiestaciones	53
Tabla 17. Lista de Materia Prima del Sistema Multiestaciones	54
Tabla 18. Herramientas y Accesorios de Perforación Necesarias	57
Tabla 19. Piezas Primarias	59
Tabla 20. Costos de Fabricación del Sistema Multiestaciones	70

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Tablas y Gráficas de Resultados Análisis Estructural CAE	76
Anexo B. Planos de Diseño y Construcción	77
Anexo C. Manual de Ensamble, Operación y Mantenimiento	78

## RESUMEN

**TÍTULO:**  
**SISTEMA MULTIESTACIONES PARA EL ACONDICIONAMIENTO DE LOS GRUPOS MUSCULARES EJERCITABLES\***

**AUTORES:**  
Diego Armando Rodríguez Wolff.  
Juan Carlos Gómez Corredor.\*\*

**PALABRAS CLAVES:**  
Multifuerza, Ejercitación. Músculos, Acondicionamiento Físico.

**DESCRIPCIÓN:**  
El objetivo de este proyecto es disponer en Bucaramanga el diseño de un equipo de ejercitación muscular, que reúne en una sola estructura las máquinas, dispositivos y accesorios necesarios para el acondicionamiento de todos los músculos ejercitables del cuerpo humano.

El diseño se realizó teniendo como base las eficientes máquinas de ejercitación primaria ya desarrolladas, estas se sometieron a evaluación mediante parámetros de selección para escoger las que integran el sistema multiestaciones, posteriormente se realizó el diseño preliminar dimensionando los elementos, preseleccionando sus materiales e identificando sus proveedores. Este diseño fue sometido a evaluación mediante herramientas CAD (**Solid Edge y Solid Work**) y CAE (**Ansys**), permitieron comprobar las características espaciales requeridas y conocer anticipadamente el comportamiento de la estructura al estar sometida simultáneamente a las cargas máximas de trabajo. Los resultados obtenidos se analizaron para proceder a realizar las variaciones pertinentes en los elementos muy solicitados, buscando general alta confiabilidad de la estructura. Los cambios realizados fueron implantados en el diseño preliminar para el obtener el diseño definitivo, del cual se obtuvieron los planos de la construcción, que facilitaron el desarrollo de este proceso.

El resultado es un equipo versátil de entrenamiento muscular, diseñado y construido con criterio ingenieril, que dispone simultáneamente en un espacio de 14m<sup>2</sup> seis estaciones de ejercitación para trabajo pesado, construido (en su totalidad por los integrantes de este trabajo de grado) de forma modular para facilitar su transporte y ensamble, y cuyas características lo hacen viable en su construcción y comercialización.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ciencias Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Ing. Javier Rugeles P.

## SUMMARY

**TITLE:**  
**MULTIPURPOSE SYSTEM FOR TRAINING IN EXERCISED MUSCULAR GROUPS\***

**AUTHORS:**  
Diego Armando Rodríguez Wolff.  
Juan Carlos Gómez Corredor.

**KEY WORDS:**  
Multipurpose, Training, Muscles, Exercise.

**DESCRIPTION:**  
This Project pretends to provide in Bucaramanga a muscular training equipment that joins in a single machine, all devices and accessories required to train all exercised muscles in the human body.

The design was made taking into account efficient machines already used in elementary training which were tested, by using selective parameters, to choose those machines that best integrate the multipurpose system; After that, a preliminary design was built measuring elements, choosing materials and identifying suppliers. This design was tested by using CAD (**Solid Edge y Solid Work**) and CAE (**Ansys**), software tools that let to check special required characteristics and to know, in advance, the model performance in extreme conditions with the highest work level. Gotten results were analyzed to make required changes in elements and to seek for a high reliability structure. Changes were done in the preliminary design and from it, plans were obtained to build the final design.

The result is a versatile muscular training equipment, designed and built with engineering criteria, that provides in 14m<sup>2</sup> six hard work stages. The machine was completely built, by the authors, in a modular way to make easy moving and assembling, characteristics that make the machine viable to built and sell.

---

\* Degree Work.

\*\* Physical-Mechanical Sciences Faculty, Mechanical Engineering School, Eng. Javier Rugeles.

## INTRODUCCIÓN

Ya sea por razones de salud o por vanidad, el ciudadano promedio se está preocupando por ejercitar su cuerpo, buscando combatir el sedentarismo. A pesar de que existen numerosas alternativas para acceder a una rutina eficiente de ejercicios, asistir a un gimnasio puede ser la forma más segura y eficiente de alcanzar un resultado óptimo, y es al interior del gimnasio donde se enfoca el objetivo de este trabajo.

Los gimnasios comerciales y los privados se enfrentan a dos problemas principalmente:

1. Espacio.
2. Costos elevados de dotación de maquinaria.

Comprar los dispositivos, máquinas y accesorios adecuados para una buena rutina de ejercicios, resulta increíblemente costoso, además el espacio que se requiere para la implementación de un gimnasio deja muchos locales fuera del mercado.

Estas limitaciones pueden interpretarse como una excelente oportunidad de negocios, ya que no existe ninguna empresa o entidad certificada en el mercado local que se haya preocupado por cubrir estos inconvenientes.

El objetivo de este trabajo de grado es desarrollar una máquina que integre los dispositivos y accesorios necesarios para ejercitar la mayor cantidad de

músculos posibles, de forma eficiente, para darle servicio comercial, que ocupe el espacio de un cuarto promedio, a un costo reducido (comparado con el costo de las máquinas adquiridas de forma individual) y que se manufacture con insumos disponibles en el mercado local.

Sustentado en las herramientas informáticas como CAD y CAE, además de las investigaciones previas hechas por profesionales en entrenamiento físico, se emprendió la tarea de llenar un vacío en el mercado, trabajo que se expondrá a continuación:

## 1. SISTEMA MUSCULAR

### 1.1 MÚSCULOS DEL CUERPO HUMANO

Los músculos representan la parte activa del aparato locomotor. Es decir, son los que permiten que el esqueleto se mueva y que, al mismo tiempo, mantenga su estabilidad tanto en movimiento como en reposo. Junto a todo esto, los músculos contribuyen a dar la forma externa del cuerpo humano.

**1.1.1 Clasificación de los Músculos.** Los músculos del organismo se dividen en voluntarios e involuntarios. Los primeros son los que se contraen cuando el individuo quiere, y suelen corresponder a los músculos del esqueleto. Poseen la característica de tener una contracción potente, rápida y brusca, si así se precisa. Son músculos de acción rápida. El cuerpo humano se cubre de unos 650 músculos de acción voluntaria. Tal riqueza muscular permite disponer de miles de movimientos. Los segundos son regidos por el sistema nervioso vegetativo y el individuo no tiene ningún control voluntario sobre ellos. Suelen constituir las paredes de las vísceras, del aparato respiratorio y del aparato circulatorio. Estos músculos poseen una contracción y una relajación lenta.

Ambos tipos de músculos tienen, a su vez, características propias. Así, los músculos voluntarios, salvo el esfínter anal, están compuestos por células o fibras musculares provistas de estrías transversales, por lo que se les denomina músculos estriados.

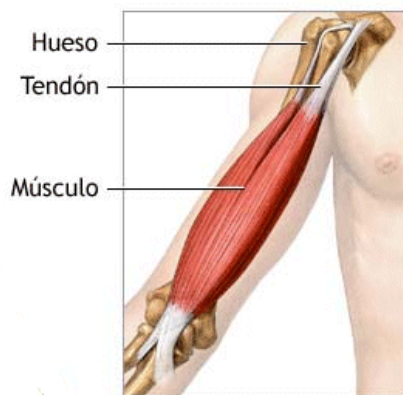
Los músculos involuntarios, salvo el corazón, que también está formado por músculo estriado a pesar de no tener control voluntario, están constituidos por células musculares sin estrías, por lo que se denominan músculos lisos.

**Figura 1. Tipos de Fibras Musculares**



**1.1.2. Descripción y Forma de los Músculos.** Cada músculo estriado se compone de dos partes: una parte roja, blanda y contráctil que constituye la parte muscular, y una parte blanquecina, fuerte y no contráctil que constituye el tendón.

**Figura 2. Inserción de los Músculos**



\*Imágenes del apartado 1 tomadas del libro Anatomía Humana, referencia bibliografía

Los tendones varían en su forma y disposición, dependiendo de su unión a las fibras musculares (que a su vez se dispondrán según la función del músculo). Los tendones son de color blanco nacarado y están constituidos por fibras elásticas que forman grupos, y a su vez recubiertos por tejido conjuntivo laxo que separa entre si estos grupos o fascículos.

Por su forma, los músculos se clasifican en: largos, anchos y cortos. Los músculos largos son aquellos en los que la dimensión según la dirección de sus fibras sobrepasa la de los otros diámetros. Estos, a su vez, pueden ser fusiformes o aplanados, según el diámetro transversal sea mayor en su parte media que en los extremos (así, el bíceps es un músculo largo y fusiforme, mientras que el recto del abdomen es largo y aplanado). Los músculos anchos son aquellos en los que todos los diámetros tienen aproximadamente la misma longitud (el dorsal ancho de la espalda). Los músculos cortos son aquellos que, independientemente de su forma, tienen muy poca longitud (los de la cabeza y cara).

## **1.2 FUNCIONES DEL SISTEMA MUSCULAR**

El sistema muscular es responsable de:

- La Locomoción: efectuar el desplazamiento del cuerpo y el movimiento de las extremidades.

- La actividad motora de los órganos internos: el sistema muscular es el encargado de hacer que todos nuestros órganos desempeñen sus funciones, ayudando a otros sistemas como por ejemplo al sistema cardiovascular.
- Información del estado fisiológico: por ejemplo un cólico renal provoca contracciones fuertes del músculo liso generando un fuerte dolor, signo del propio cólico.
- La Mímica: el conjunto de las acciones faciales, también conocidas como gestos, que sirven para expresar lo que sentimos y percibimos.
- La Estabilidad: los músculos conjuntamente con los huesos permiten al cuerpo mantenerse estable, mientras permanece en estado de actividad.
- La Postura: el control de las posiciones que realiza el cuerpo en estado de reposo.
- La Producción de calor: al producir contracciones musculares se origina energía calórica.
- La Forma: Los músculos y tendones dan el aspecto típico del cuerpo.
- Protección: el sistema muscular sirve como una defensa para los órganos vitales.

Los músculos, debido a su capacidad de contracción, hacen posible que el esqueleto se mueva. Así, las extremidades pueden realizar movimientos de

flexión o extensión, de rotación (pronación y supinación), de aproximación (aducción) o al contrario (abducción).

Como hemos visto, la mayor parte de los músculos están provistos de tendones, mediante los cuales suelen insertarse sobre los huesos. Según el tipo de inserción, es decir, si lo hacen mediante más de un extremo o cabeza, se dividen en bíceps (dos cabezas), tríceps (tres cabezas) y cuádriceps (cuatro cabezas).

### **1.3 CLASIFICACIÓN DE LA ACCIÓN MUSCULAR**

Se puede pensar en la contracción muscular como el desarrollo de tensión dentro de un músculo, y generalmente dicha contracción se puede clasificar en tres tipos diferentes: concéntrica, excéntrica y estática.

La contracción concéntrica se produce cuando un músculo ejerce suficiente tensión para vencer una resistencia y luego se acorta.

La contracción excéntrica se produce cuando no es vencida la resistencia y, por el contrario, el músculo es utilizado para oponerse al movimiento sin detenerlo.

La contracción estática ocurre cuando el músculo que se contrae es incapaz de mover la carga y conserva su longitud original

### **1.4 CLASIFICACIÓN DE LOS MÚSCULOS DE ACUERDO A SU FUNCIÓN**

Se sabe que los músculos rara vez actúan aisladamente, más bien lo hacen en colaboración con otro u otros músculos o como miembros de un equipo (a veces se hallan comprendidos en este la mayoría de los principales músculos del cuerpo) en gran variedad de combinaciones y modelos.

No siempre se produce la acción muscular con el fin de mover una palanca, puede haber contracciones para mantener firme o sostener una palanca, para estabilizar una parte del cuerpo, o aun para neutralizar la acción involuntaria de otros músculos. En principio entonces los músculos son motores, estabilizadores y neutralizadores.

**1.4.1 Músculo Motor o Agonista** es el principal o se encuentra entre los principales músculos que movilizan una palanca. Se denomina motor primario cuando tiene la responsabilidad primordial de una acción articular o la comparte con otros, Ahora si tan solo ayuda en su acción al motor primario se llama motor accesorio o secundario.

**1.4.2 Músculo Fijador, Estabilizador o de Sostén** es el que afirma, fija o inmoviliza un hueso o una parte del cuerpo contra los músculos en contracción. El músculo estabilizador rara vez se encuentra en contracción estática por que existe movimiento en la parte estabilizada.

**1.4.3 Músculo Antagonista** es el músculo que durante la contracción tiende a producir un movimiento contrario al del músculo motor. La contracción de los antagonistas contribuye a la desaceleración de la extremidad.

**1.4.4 Músculo Neutralizador** es el músculo que actúa evitando una acción indeseable de un músculo motor.

**Figura 3. Vista Frontal Sistema muscular**

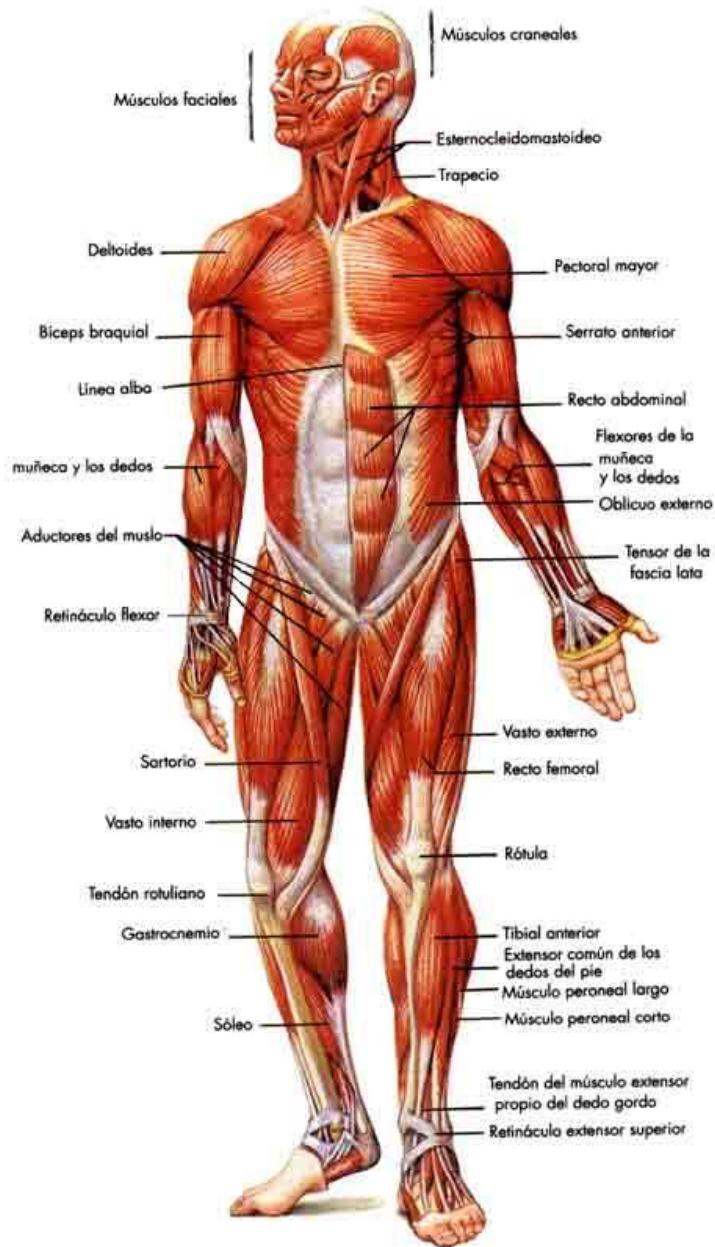
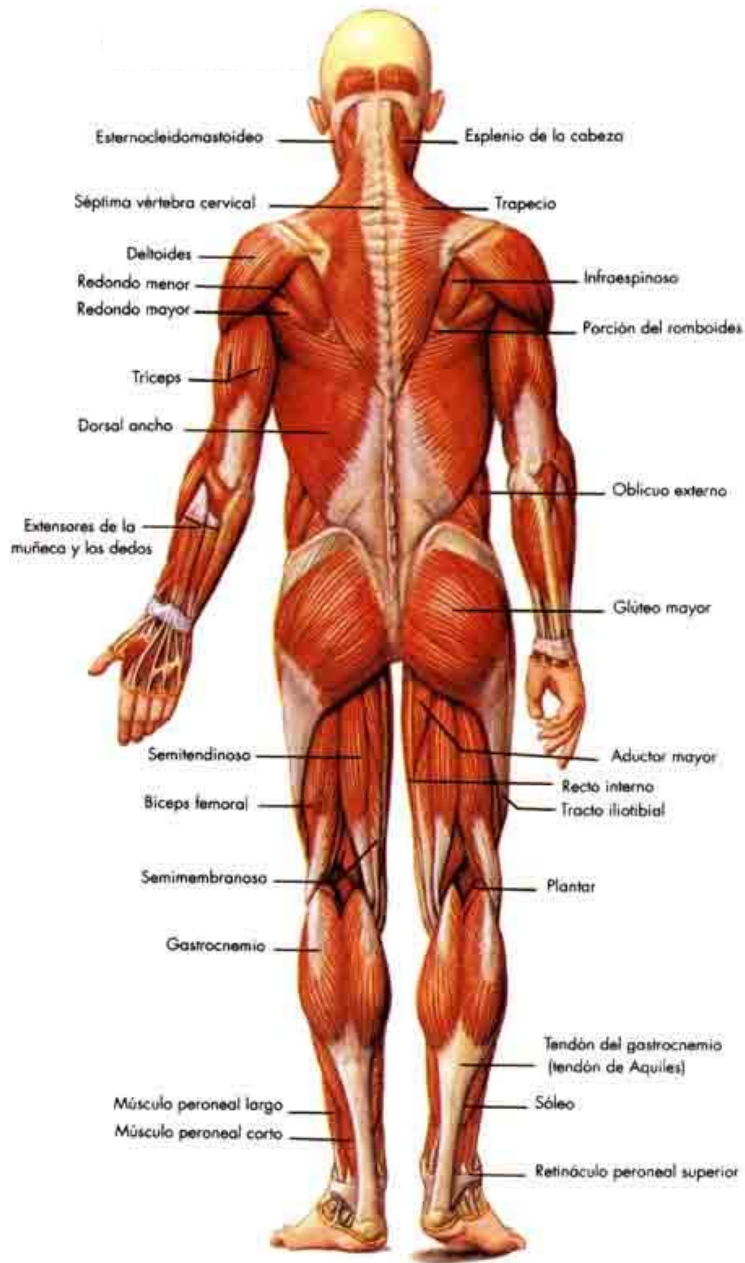


Figura 4. Vista Posterior Sistema Muscular



## 1.5 GRUPOS MUSCULARES EJERCITABLES (GME)

Existen en el cuerpo humano alrededor de 650 músculos cuya acción puede ser controlado a voluntad del individuo, dentro de estos músculos se encuentran los encargados de la locomoción (movimiento de las extremidades y desplazamiento) cuyo resultado debido al acondicionamiento físico, es mayor que los otros músculos voluntarios. Debido a ello tienen la capacidad de aumentar su tamaño o tornarse más resistentes ante el esfuerzo físico. Estos reciben el nombre de músculos ejercitables y forman grupos según la zona del cuerpo donde se encuentren.

Se presenta a continuación una tabla donde aparecen los Grupos Musculares Ejercitables con sus respectivos músculos integrantes.

**Tabla 1. Grupos Musculares Ejercitables y sus Músculos Integrantes**

GME	MUSCULOS INTEGRANTES		
ESPALDA	Deltoides	Anterior	
		Medio	
		Posterior	
	Trapezio		
	Coracobraquial		
	Dorsal Ancho		
	Redondo	Mayor	
		Menor	
	Infraespinoso		
	Subescapular		
	Isquisiosurales		
	Serratos motores		
Lumbares			
PECHO	Pectoral	Haz del pectoral mayor	
		Pectoral mayor	
BRAZO	Bíceps Braquial		
	Braquial Anterior		
	Tríceps	Vasto Externo	

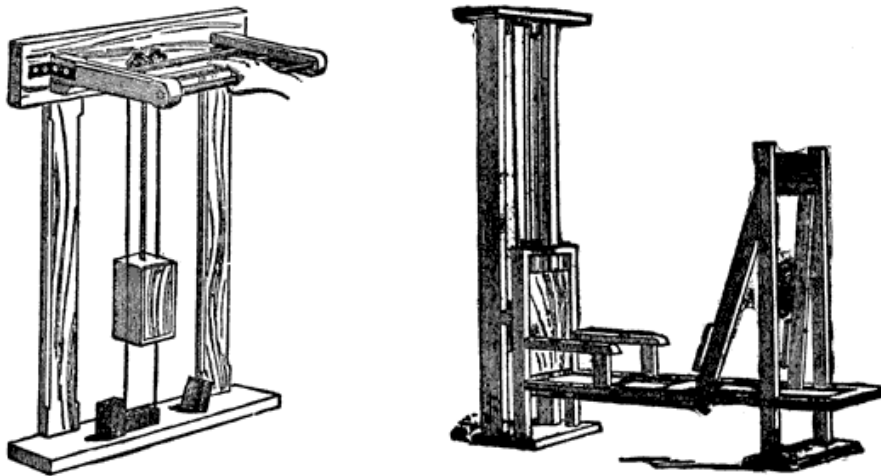
		Vasto Interno
		Porción larga
	Ancóneo	
<b>ANTEBRAZO</b>	Pronador redondo	Mayor
		Menor
	Supinador largo	
	Palmar	Mayor
		Menor
	Flexores de los dedos	
	Cubital	Anterior
		Posterior
	Extensor común de los dedos	
Radial Externo	Primero	
	Segundo	
<b>ABDOMEN</b>	Recto mayor	
	Piramidal	
	Transverso	
	Oblicuos	Interno
		Externo
	Cuadrado de los lomos	
<b>CADERA</b>	Glúteo	Mayor
		Medio
		Menor
	Tensor de la fascia lata	
	Aductor	Mayor
		Medio
Menor		
<b>MUSLO</b>	Cuadriceps femoral	
	Sartorio	
	Bíceps femoral	
	Poplíteo	
<b>PIERNA</b>	Tríceps Sural	
	Sóleo	

## 2. DISEÑO Y SELECCIÓN

A lo largo de la historia el hombre ha desarrollado diferentes estrategias para fortalecer o moldear el cuerpo a su antojo, algunos por necesidades generadas por el deseo de competir y otros con fines exclusivamente estéticos.

El deseo de tener un cuerpo en buena forma es tan antiguo como la civilización, existen evidencias de dispositivos utilizados en la antigua Grecia para optimizar el proceso de ejercitación de los GME.

**Figura 5. Equipos de Ejercitación Utilizados en Antiguas Civilizaciones.**



## 2.1 EQUIPOS PARA EL ACONDICIONAMIENTO FÍSICO

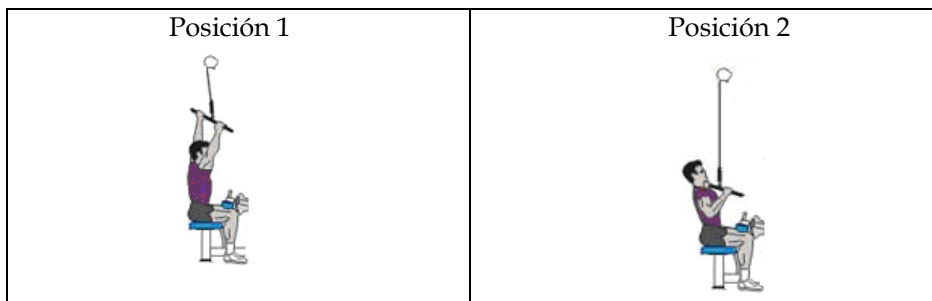
La efectividad de cualquier dispositivo para realizar ejercicio muscular depende directamente de innumerables variables como lo son: posición del usuario, accesorios disponibles, volumen de carga, variación de tamaño, arcos de movimiento, entre otras.

Basados en la inmensa cantidad de variables, prácticamente hay que recurrir a una máquina diferente para ejercitar cada grupo muscular, pues para los GME se conocen innumerables ejercicios, la mayoría son pequeñas variaciones de dos o tres movimientos primarios.

A continuación se muestran algunos de los equipos más utilizados para el acondicionamiento muscular con el ejercicio base, a los cuales posteriormente se les realizará una valoración cualitativa que permita la elección de los equipos integrantes del sistema multiestaciones.

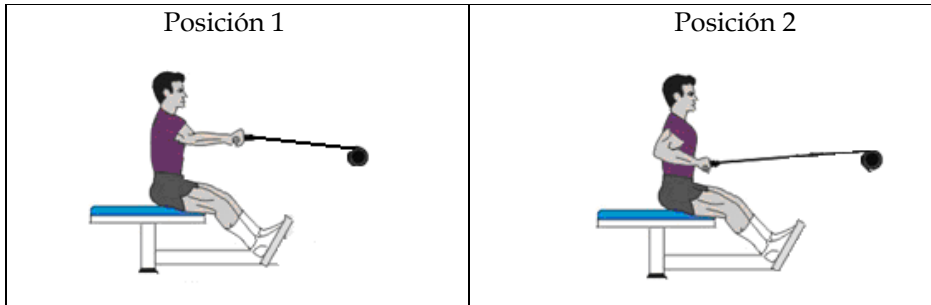
### 2.1.1 Espalda

- Polea alta\*.

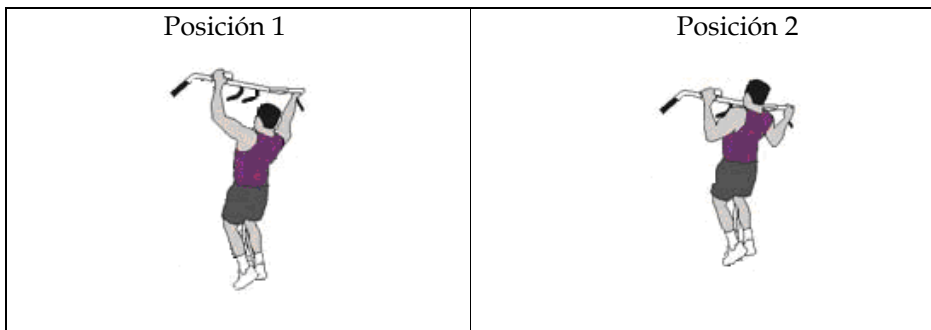


\*Todas las figuras del apartado 2.1 extraídas sin fines comerciales de Fomaequipos.com

- Remo con cable.

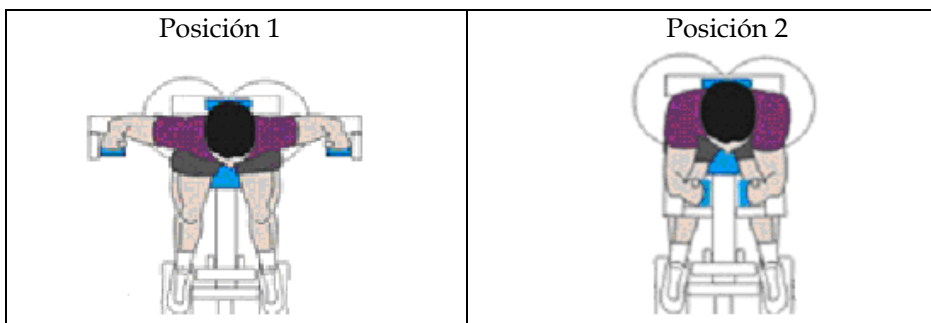


- Dominadas



### 2.1.2 Pecho

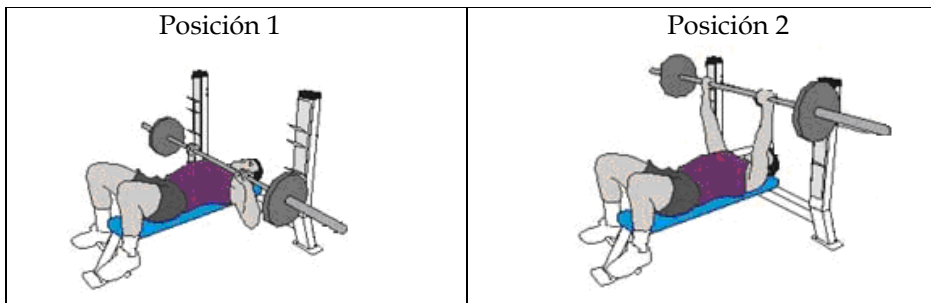
- Contractor de pecho



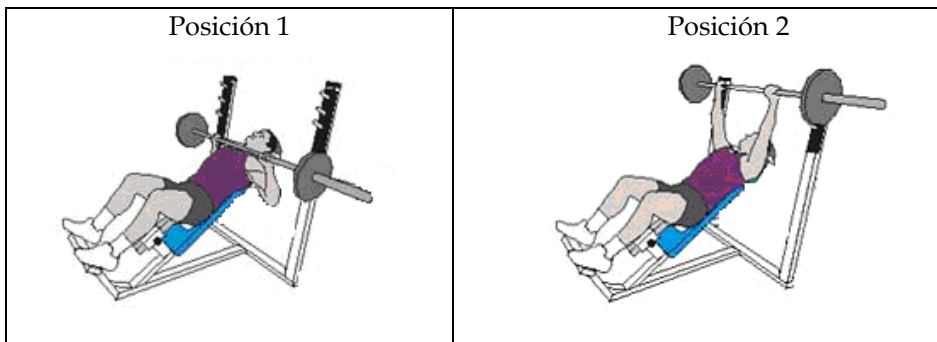
- Prensa de pecho sentado



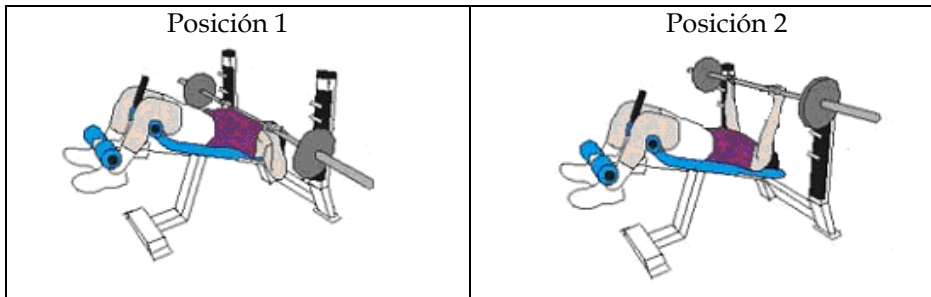
- Prensa de pecho acostado horizontal con barra.



- Prensa de pecho acostado inclinado con barra

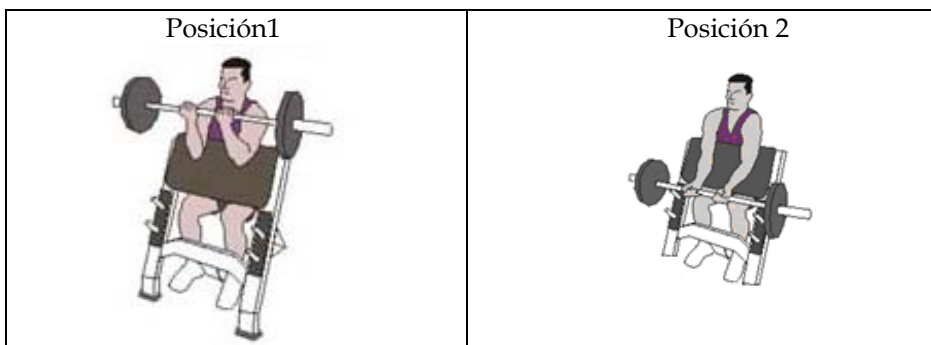


- Prensa de pecho acostado declinado con barra

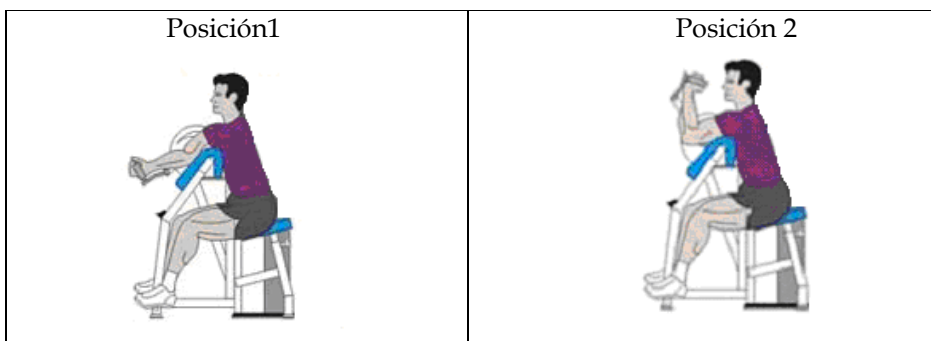


### 2.1.3 Brazo

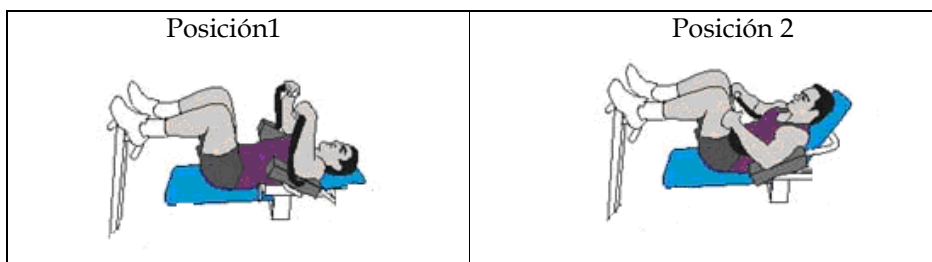
- Curl de bíceps con barra



- Curl de bíceps con cable

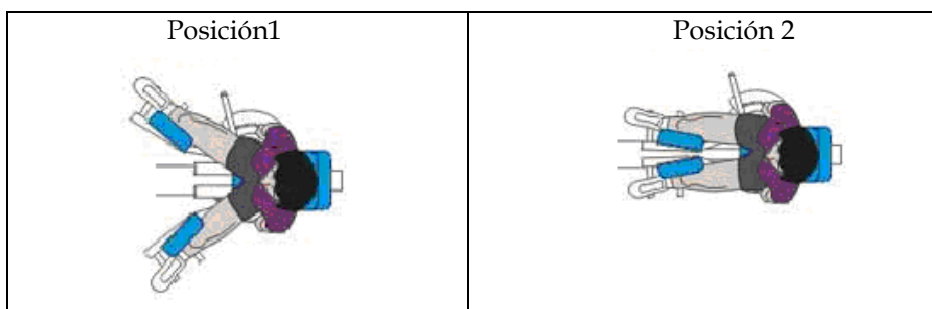


**2.1.4 Abdomen.** Los músculos abdominales se encuentran dentro de los más difíciles de tonificar, existe una inmensa proliferación de productos en el mercado que prometen remover la capa de tejido graso que en la mayoría de los casos cubre esta zona del cuerpo. Sin embargo hasta el momento ninguno de estos dispositivos ha probado ofrecer alguna ventaja sobre el ejercicio libre en piso, pero una máquina podría ofrecer la ventaja de evitar lesiones o comodidad al realizar el ejercicio.

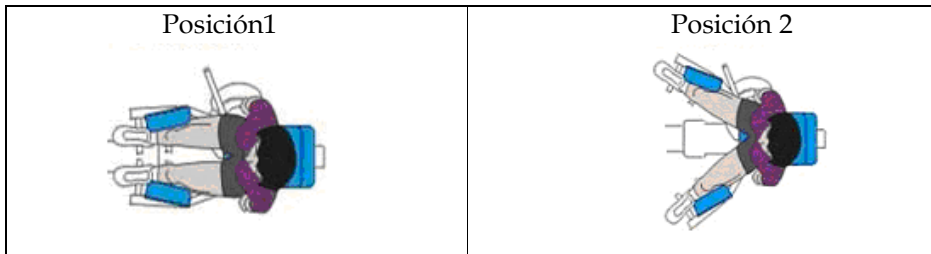


#### 2.1.5. Cadera

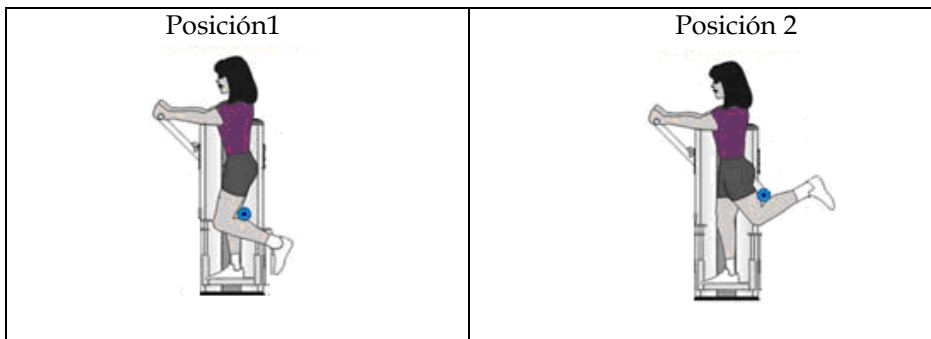
- Aducción con cable



- Abducción con cable.

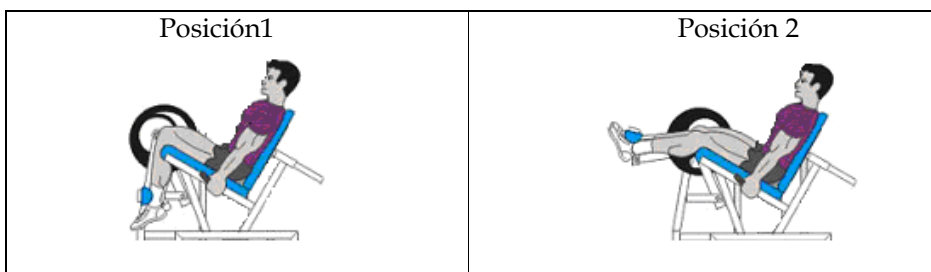


- Patada con cable

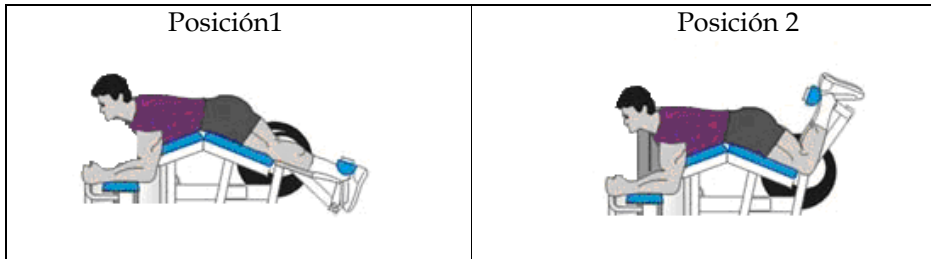


## 2.1.6 Muslo

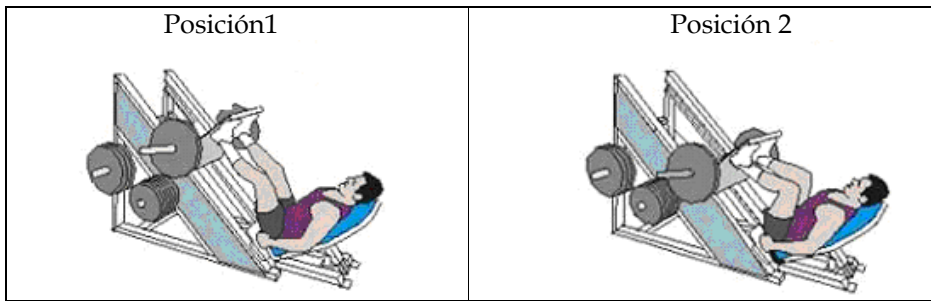
- Extensión con cable.



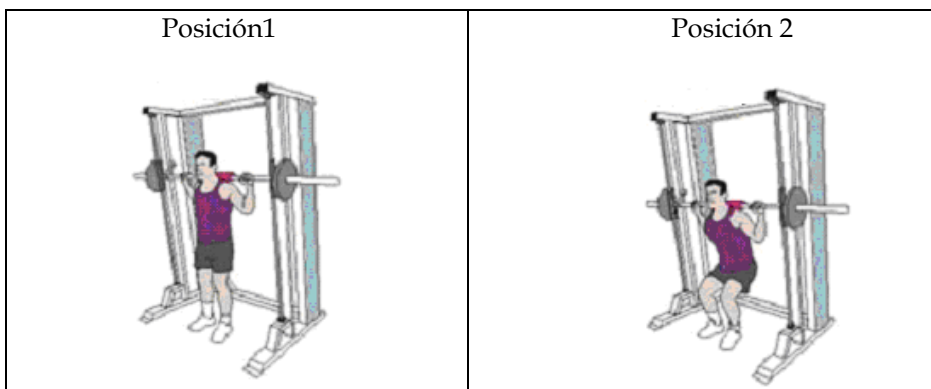
- Flexión con cable.



- Prensa inclinada.

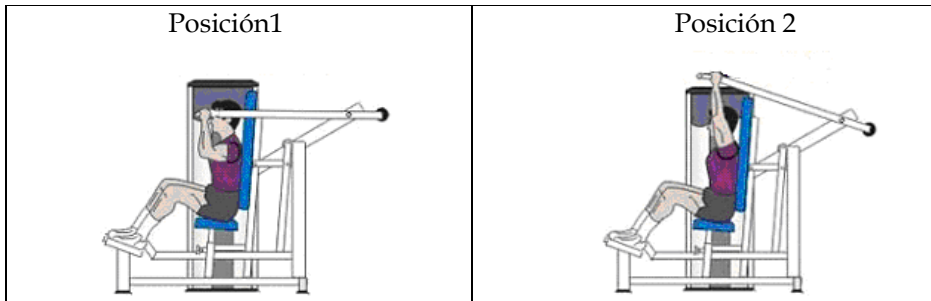


- Sentadilla con guía.

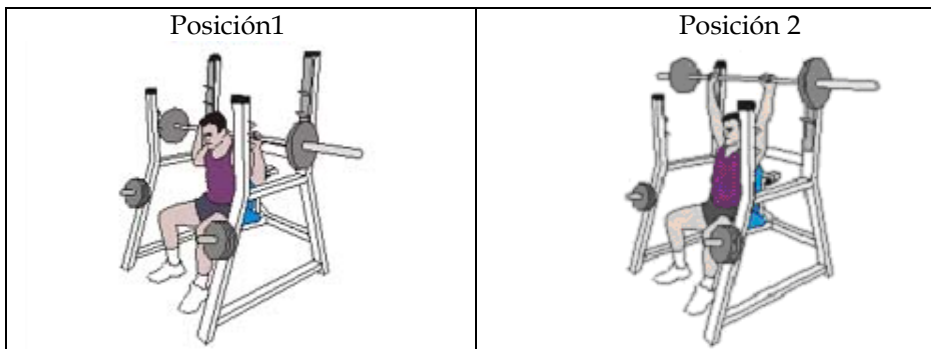


## 2.1.7 Hombro

- Prensa de hombro.

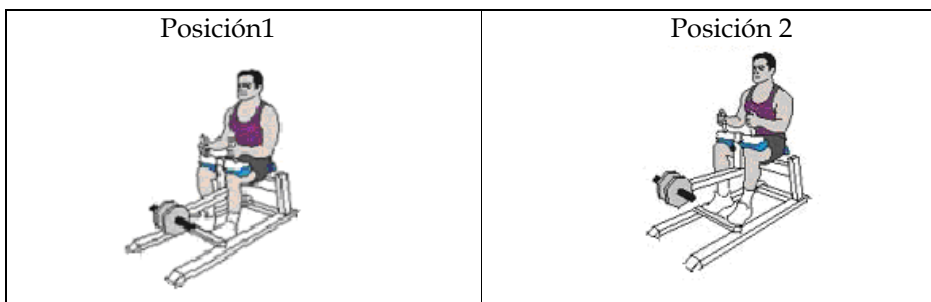


- Press Frontal y trasnuca con barra.



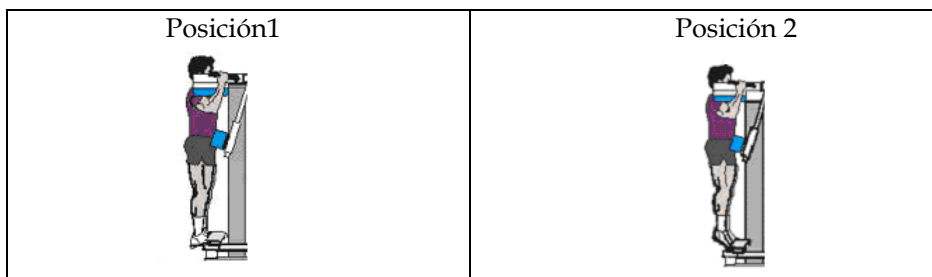
## 2.1.8 Pantorrilla

- Pantorrilla sentado.



Con formato: Numeración y viñetas

- Pantorrilla de pie.



## 2.2 SELECCIÓN EQUIPOS DE ACONDICIONAMIENTO FÍSICO

La selección de los equipos que componen cada una de las estaciones que conforman el multifuerza se hizo basándose en la evaluación de los siguientes cuatro parámetros:

- Espacio ocupado por el equipo.
- Mayor número de GME ejercitados.
- Costo de fabricación.
- Recomendación clientes potenciales.

**2.2.1 Valoración.** Para apoyar el proceso de selección se creó una escala de valores para las prestaciones de cada equipo, que se asignarán de la siguiente forma: cada uno de los parámetros será calificado con asteriscos, donde el parámetro de valoración podrá tener desde uno hasta siete de ellos; en el primer caso indica una calificación no favorable para el parámetro en cuestión y en el segundo indica una calificación favorable. La conjunción de la valoración de cada uno de los parámetros arrojará un resultado, que va desde malo hasta excelente pasando por regular, bueno y muy bueno; resultado del cuál depende la selección de los equipos, el mismo se consigna en la tabla 2.

**Tabla 2. Valoración de los Parámetros de Selección en los Equipos de Ejercitación más Comerciales Existentes en el Mercado**

Equipo de ejercitación	GME ejercitados	Costos de fabricación	Espacio requerido	Recomendación cliente potencial	Valoración implantación
Polea alta	****	****	*****	*****	Muy bueno
Remo con cable	*	***	*****	****	Bueno
Dominadas	***	*****	*****	****	Muy bueno
Contractor pecho	**	***	*****	*****	Muy bueno
Prensa pecho sentado	**	***	*****	***	Bueno
Prensa pecho horizontal	*	**	*	*	Malo
Prensa pecho inclinada	*	**	*	*	Malo
Prensa pecho declinada	*	**	*	*	Malo
Curl bíceps barra	***	****	****	****	Bueno
Curl bíceps cable	***	*	****	***	Bueno
Máq. Abdominales	*****	*****	*****	*****	Muy bueno
Abductor	*	**	***	*	Malo
Aductor	*	**	***	*	Malo
Patada cable	*	**	***	*	Malo
Extensión cable	*	*	**	***	Regular
Flexión cable	*	*	**	***	Regular
Prensa inclinada	*	*	*	*	Malo
Sentadilla con guía	*****	****	*****	*****	Excelente
Prensa de hombro	*****	****	*****	*****	Excelente
Prensa hombro con barra	**	***	**	*	Malo
Pantorrilla sentado	*	***	**	*	Malo
Pantorrilla de pie	*	*	**	*	Malo
Trabajo libre	*****	*****	*****	*****	Excelente
Torre auxiliar	*****	*****	*****	*****	Excelente

Debido al espacio limitado de 16 m<sup>2</sup>, se optó por una estructura central hexagonal, de cuyas caras se desprenderán las estaciones de trabajo y con acceso al centro de la estructura para utilizar este espacio.

Tomando en consideración la valoración para la implantación de la tabla 2, se definen cuatro estaciones (cuya calificación es excelente), con las dos estaciones restantes se cubrirá la mayoría posible de GME faltantes. En este caso se fusionarán dos o más máquinas (cuya calificación fue buena y muy buena) en una sola estación. La disposición final se muestra en la tabla 3.

**Tabla 3. Estación de Trabajo con sus Equipos de Ejercitación Integrantes**

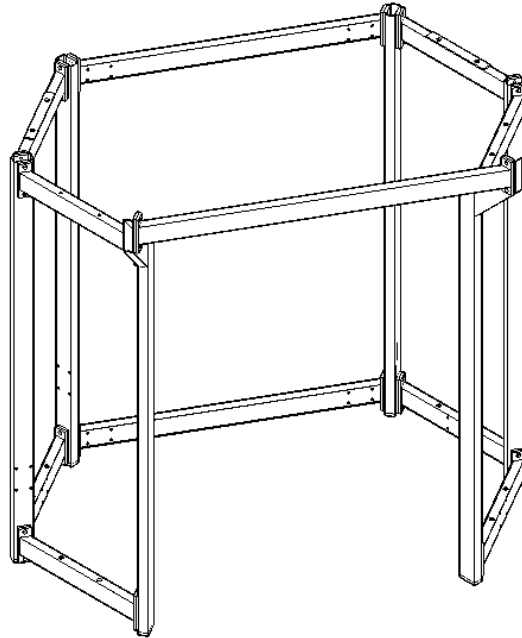
Estación de trabajo	Máquina(s) integrantes
1	Prensa de hombro
2	Contractor de pecho y pecho sentado
3	Sentadilla con guía
4	Polea alta y abdominales asistidos
5	Torre auxiliar
6	Trabajo libre

En cada una de las estaciones 2 y 4 se logró realizar la fusión de dos equipos sin interferir con el rendimiento individual de cada uno de ellos, buscando abarcar la mayor cantidad de músculos ejercitados sin aumentar considerablemente los costos de fabricación.

La estructura hexagonal central (chasis), sobre la cuál se soportará cada una de las estaciones de ejercitación presenta ciertas características indispensables en el desarrollo del diseño del sistema multiestaciones como lo son:

- Poco espacio ocupado
- No presenta interferencia entre los usuarios de las estaciones al trabajar simultáneamente
- Presenta un polígono de sustentación de área considerable.

**Figura 6. Diseño de la Estructura Central del Sistema Multiestaciones**



La estructura central estará compuesta por columnas y vigas que se unen entre sí por medio de tornillos; necesario en el diseño, puesto que debido a la función que esta cumple, se convierte en la estructura de mayor tamaño, haciéndose indispensable su modularidad para facilitar el transporte, el ingreso a través de puertas promedio (220cm x 90cm) y posteriormente el ensamble.

Las estaciones de ejercitación, que se dispondrán en cada uno de los lados de la estructura central, se unirán a ella mediante tornillos y por la misma razón que en la estructura central, algunas de las piezas componentes de estas deberán ser diseñadas de forma modular.

La disposición de la estructura central de forma hexagonal deja una cara abierta en la sexta estación (Trabajo libre), es decir se podrá disponer dentro de ella, quedando encerrado por las demás cinco caras, un banco multiposición con el fin de complementar la ejercitación mediante el trabajo con mancuernas y al mismo tiempo utilizando el espacio libre que se genera en el centro de esta.

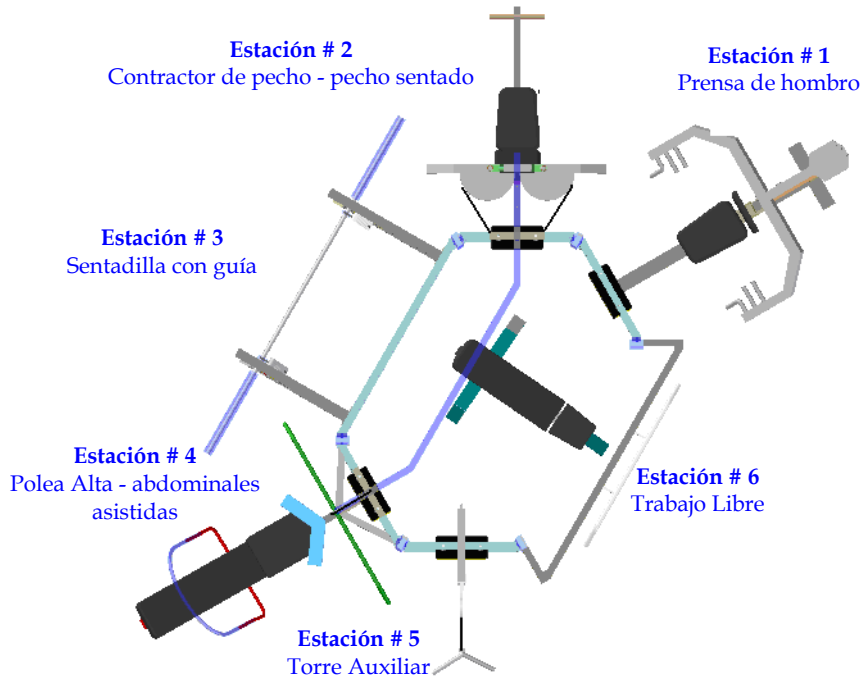
En este punto se puede evaluar las prestaciones del sistema ya definido y se puede entrar a la etapa final de diseño.

### **2.3 DISPOSICIÓN FINAL**

En la elección de la ubicación de cada una de las estaciones de trabajo se tuvo en cuenta el tipo de resistencia o carga con la que esta trabaja, ya sea torre de planchuelas, discos o la masa corporal, para balancear de forma estática las cargas de trabajo y así no exponer algún sector del sistema multiestaciones a sobrecarga; también se consideró el espacio necesario para efectuar el trabajo de ejercitación y de esta forma no incurrir en interferencias con los usuarios de las estaciones adyacentes.

Ha de saberse que una buena rutina de entrenamiento debe incluir tres o más variaciones de cada ejercicio para cada GME. Con la disposición de las estaciones del multifuerza se logra cubrir con este requerimiento, los detalles de las prestaciones del equipo se describen en la tabla 4.

**Figura 7. Disposición Final del Sistema Multiestaciones**



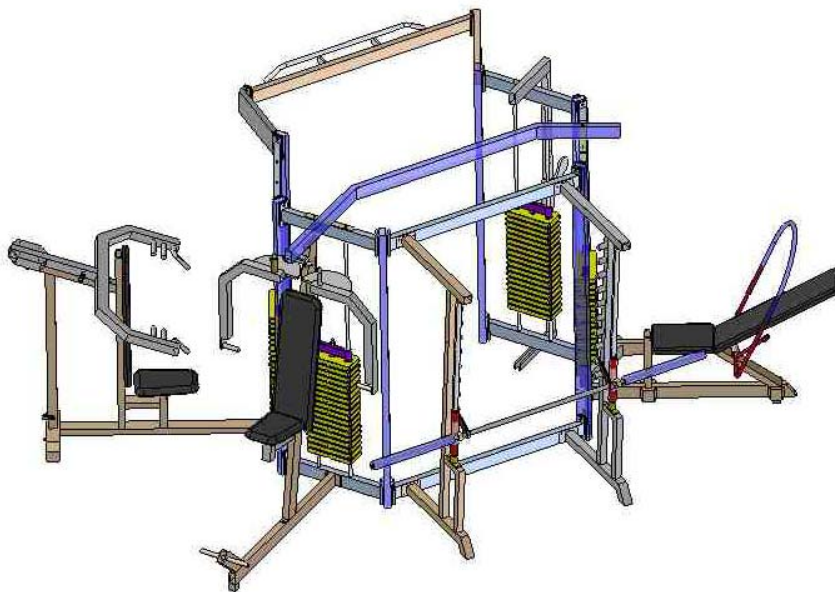
**Tabla 4. Grupo Muscular y Estación de Trabajo Correspondiente**

GME	MÚSCULOS INTEGRANTES	ESTACIÓN DE TRABAJO						
		1	2	3	4	5	6	
ESPALDA	Deltoides	Anterior	√	√	√	√	√	√
		Medio	√	√	√	√	√	√
		Posterior	√	√	√	√		√
	Trapezio		√	√				
	Coracobraquial			√		√	√	
	Dorsal Ancho			√	√		√	
	Redondo	Mayor				√		
		Menor			√	√		
	Infraespinoso			√	√			
	Subescapular						√	
	Isquiosurales			√				
	Serratos motores			√		√		
	Lumbares			√			√	

GME	MÚSCULOS INTEGRANTES	ESTACIÓN DE TRABAJO						
		1	2	3	4	5	6	
PECHO	Pectoral	Haz del pectoral mayor		√	√			√
		Pectoral mayor		√	√			√
BRAZO	Bíceps Braquial				√	√	√	√
	Braquial Anterior			√	√	√	√	√
	Tríceps	Vasto Externo			√	√	√	√
		Vasto Interno	√		√	√	√	√
		Porción larga	√	√	√	√	√	√
Ancóneo			√		√			
ANTEBRAZO	Pronador redondo	Mayor	√		√	√		
		Menor	√					
	Supinador largo		√	√	√	√	√	√
	Palmar	Mayor		√				√
		Menor		√				√
	Flexores de los dedos				√			
	Cubital	Anterior			√	√	√	√
		Posterior			√	√	√	√
	Extensor común de los dedos			√		√	√	√
	Radial Externo	Primero		√	√	√	√	√
Segundo			√	√	√	√		
ABDOMEN	Recto mayor					√		
	Piramidal					√		
	Transverso					√		
	Oblicuos	Interno				√		
		Externo				√		
Cuadrado de los lomos					√			
CADERA	Glúteo	Mayor			√		√	
		Medio			√		√	
		Menor			√		√	
	Tensor de la fascia lata				√			
	Aductor	Mayor					√	
		Medio					√	
Menor						√		
MUSLO	Cuadriceps femoral				√			
	Sartorio				√			
	Bíceps femoral				√		√	
	Poplíteo				√		√	
PIERNA	Tríceps Sural				√			
	Sóleo				√			

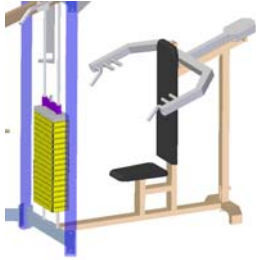


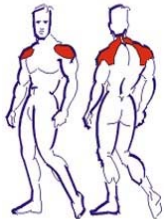




En cada estación se puede realizar una extensa gama de ejercicios únicamente variando la posición de sujeción en los accesorios o estos mismos y la forma de aplicar la fuerza al realizar el trabajo de ejercitación, por ello se optó por incluir dispositivos y accesorios multipropósito, los cuales se dispondrán como se ve en la figura 8.

**Figura 8. Dispositivos Multipropósito de las Estaciones de Ejercitación**

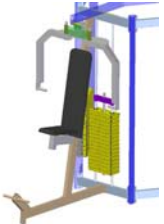


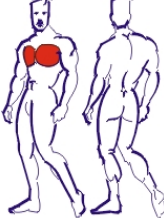






A continuación se referirá cada estación con los ejercicios principales que se pueden realizar en ella, indicando la zona del cuerpo que se está ejercitando.

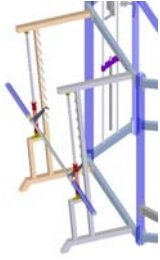


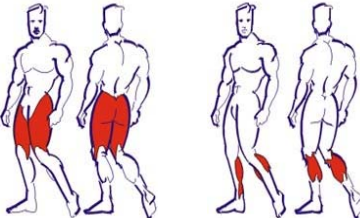




### 2.3.1 Estación uno. Prensa de hombro

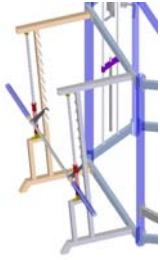


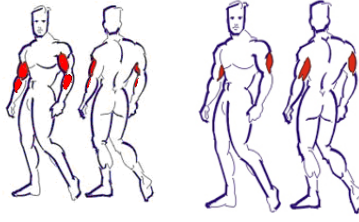




Estación de trabajo	Posición 1	Posición 2
		
<p data-bbox="300 760 620 793">Zona del cuerpo ejercitada</p> 		
		






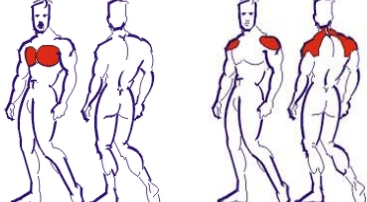


### 2.3.2 Estación dos. Contractor de Pecho con Prensa de Pecho Sentado

Estación de trabajo	Posición 1	Posición 2
		
<p data-bbox="300 1459 620 1493">Zona del cuerpo ejercitada</p> 		
		

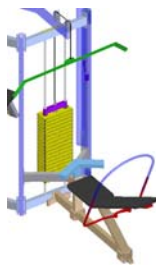




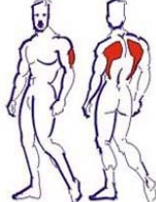


### 2.3.3 Estación tres. Sentadilla con Guía libre y con Banco Multiposición

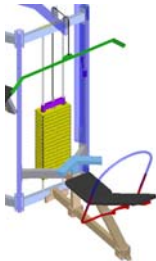
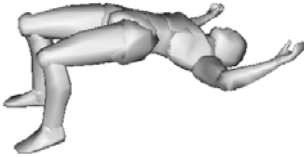
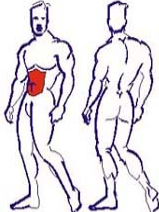

Estación de trabajo	Posición 1	Posición 2
		
<p data-bbox="300 756 617 787">Zona del cuerpo ejercitada</p> 		
		

Estación de trabajo	Posición 1	Posición 2
		
<p data-bbox="300 1428 617 1459">Zona del cuerpo ejercitada</p> 		
		

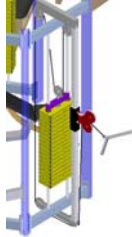


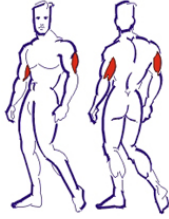




Estación de trabajo	Posición 1	Posición 2
		
<p>Zona del cuerpo ejercitada</p>		
		

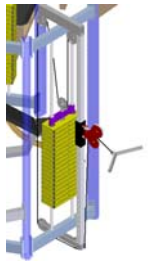




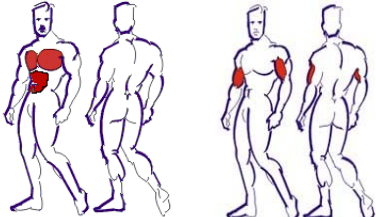


### 2.3.4 Estación cuatro. Polea Alta con Máquina Abdominales

Estación de trabajo	Posición 1	Posición 2
		
<p>Zona del cuerpo ejercitada</p>		
		

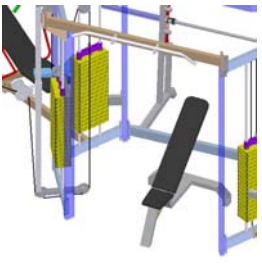




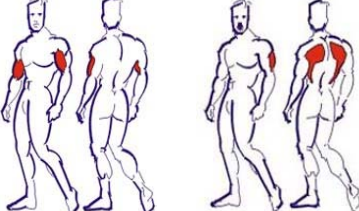


<p>Estación de trabajo</p> 	<p>Posición 1</p> 	
<p>Zona del cuerpo ejercitada</p> 	<p>Posición 2</p> 	

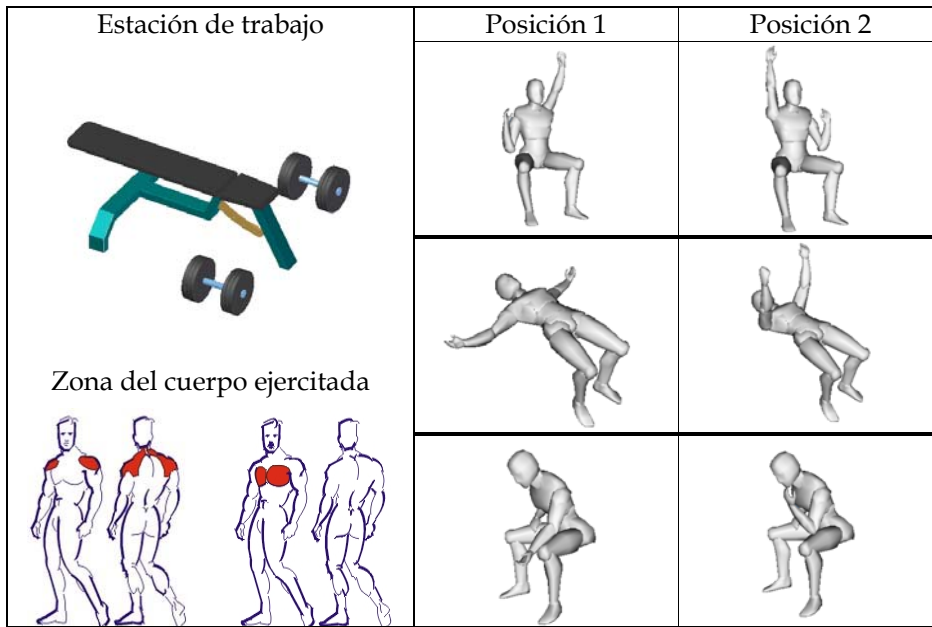
### 2.3.5 Estación cinco. Torre Auxiliar

<p>Estación de trabajo</p> 	<p>Posición 1</p> 	<p>Posición 2</p> 
<p>Zona del cuerpo ejercitada</p> 		
		

Estación de trabajo	Posición 1	Posición 2
		
<p>Zona del cuerpo ejercitada</p>		
		

**2.3.6 Estación seis. Trabajo Libre con banco multiposición para mancuernas**

Estación de trabajo	Posición 1	Posición 2
		
<p>Zona del cuerpo ejercitada</p>		
		



## 2.4 DISEÑO Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL ASISTIDOS POR COMPUTADOR

Una vez puntualizado cada detalle constructivo de la máquina, se procede a seleccionar y evaluar los materiales que la conformarán. La elección final de estos depende de un sinnúmero de factores relacionados con disponibilidad, costos, resistencia, presentación, entre otros.

**2.4.1 Preselecciones de Materiales y Dimensiones.** El proceso de selección y evaluación de los materiales y accesorios que conforman este Trabajo de Grado, se inició a partir de una configuración inicial, a la cuál se le realizó la evaluación de resistencia y costos. Este proceso de evaluación será descrito a continuación.

La tabla 5 muestra el material seleccionado para cada elemento y sus características, que incluyen el nombre, el tipo y las dimensiones relevantes.

**Tabla 5. Elementos, Materiales y Características**

Elemento	Material	Características
Vigas primarias	Acero SAE 1020	Tubería AN 3" x 1½" cal. 14
Columnas primarias	Acero SAE 1020	Tubería AN 3" x 1½" cal. 14
Vigas secundarias	Acero SAE 1020	Tubería AN 2" x 2" cal. 14
Columnas secundarias	Acero SAE 1020	Tubería AN 1½" x 1½" cal.14
Guías de deslizamiento	Acero SAE 1045	Varilla Ø ¾" y 1"
Barra sentadilla	Acero SAE 1045	Varilla Ø 1½"
Brazo estación 1	Acero SAE 1020	Tubería AN 2" x 2" cal. 14
Brazo estación 2	Acero SAE 1020	Tubería AN 2" x 2" cal. 14
Brazo base abdominal	Acero SAE 1020	Tubería AN ¾" tipo pesado
Ganchos estación 3	Acero SAE 1020	Platina ½"
Seguros estación 3	Acero SAE 1020	Varilla Ø 1½"
Platinas sujeción prim.	Acero SAE 1020	Platina 2" x ¾"
Platinas sujeción sec.	Acero SAE 1020	Platina 3" x ¼", 1½" x ¼", 2" x ¼"
Eje poleas	Acero SAE 1020	Varilla Ø 12 mm.
Barra dominadas	Acero SAE 1020	Tubo AN ¾"
Rodamientos hammer		Chumacera de pie 1"
Pasadores estación 2	Acero SAE 1045	Pasador F85 largo
Soporte Poleas	Acero SAE 1020	Platina 1½" x ¼".
Guayas	Acero SAE 1020	Guaya acero ¼".

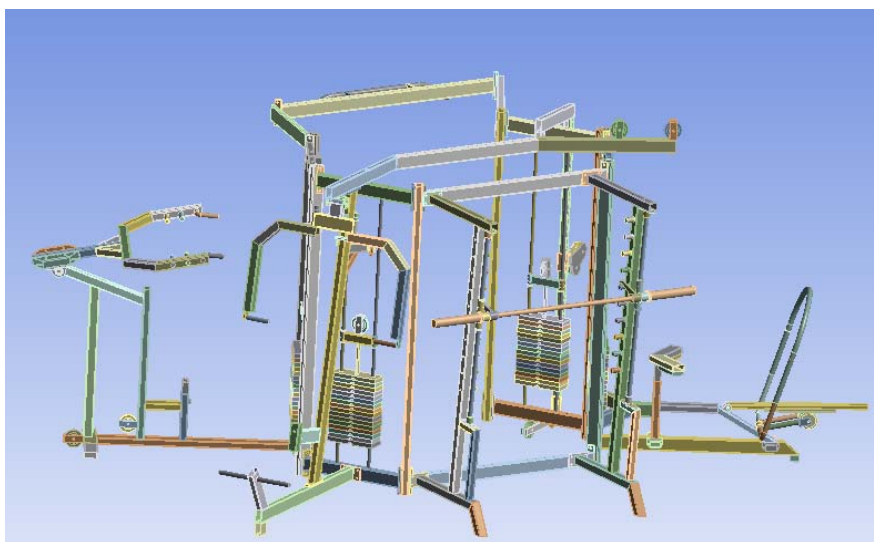
Con la disposición final escogida para la máquina y los datos de la tabla 5, se crea un modelo tridimensional usando software CAD (**SOLID EDGE** y **SOLID WORKS**) y posteriormente se hace un análisis estructural utilizando software CAE (**ANSYS**).

Con los resultados obtenidos a partir del CAE, se puede evaluar la preselección de materiales y se otorga un importante soporte para la selección final de materiales y accesorios.

**2.4.2 Diseño.** Para tener una perspectiva de las dimensiones reales del sistema multiestaciones y poder efectuar un análisis estructural, se realizó un modelado virtual, utilizando para ello herramientas CAD. Con el modelado virtual también se pueden evaluar sus características espaciales, como: área, espacios necesarios para desarrollar trabajos de ejercitación, interferencia entre usuarios, accesos de usuarios al multiestaciones, entre otras.

En la figura 9 se muestra una vista general del sistema multiestaciones modelado de forma virtual. Para conocer los detalles de los planos de diseño obtenidos a partir de esta herramienta, estos se encuentran con claridad en el Anexo B.

**Figura 9. Vista General del Modelado Virtual Sistema Multiestaciones**



**2.4.3 Análisis Estructural.** Debido al elevado número de piezas que presenta el sistema multiestaciones en su diseño, el proceso de análisis estructural mediante CAE no puede realizarse simultáneamente a la totalidad de la máquina, por esto se efectuó una división en secciones que se muestran en la tabla 6.

Además de las secciones, se analizaron independientemente algunas piezas que están sometidas a cargas elevadas y no están conectadas con la estructura

**Tabla 6. División en Secciones para Análisis CAE**

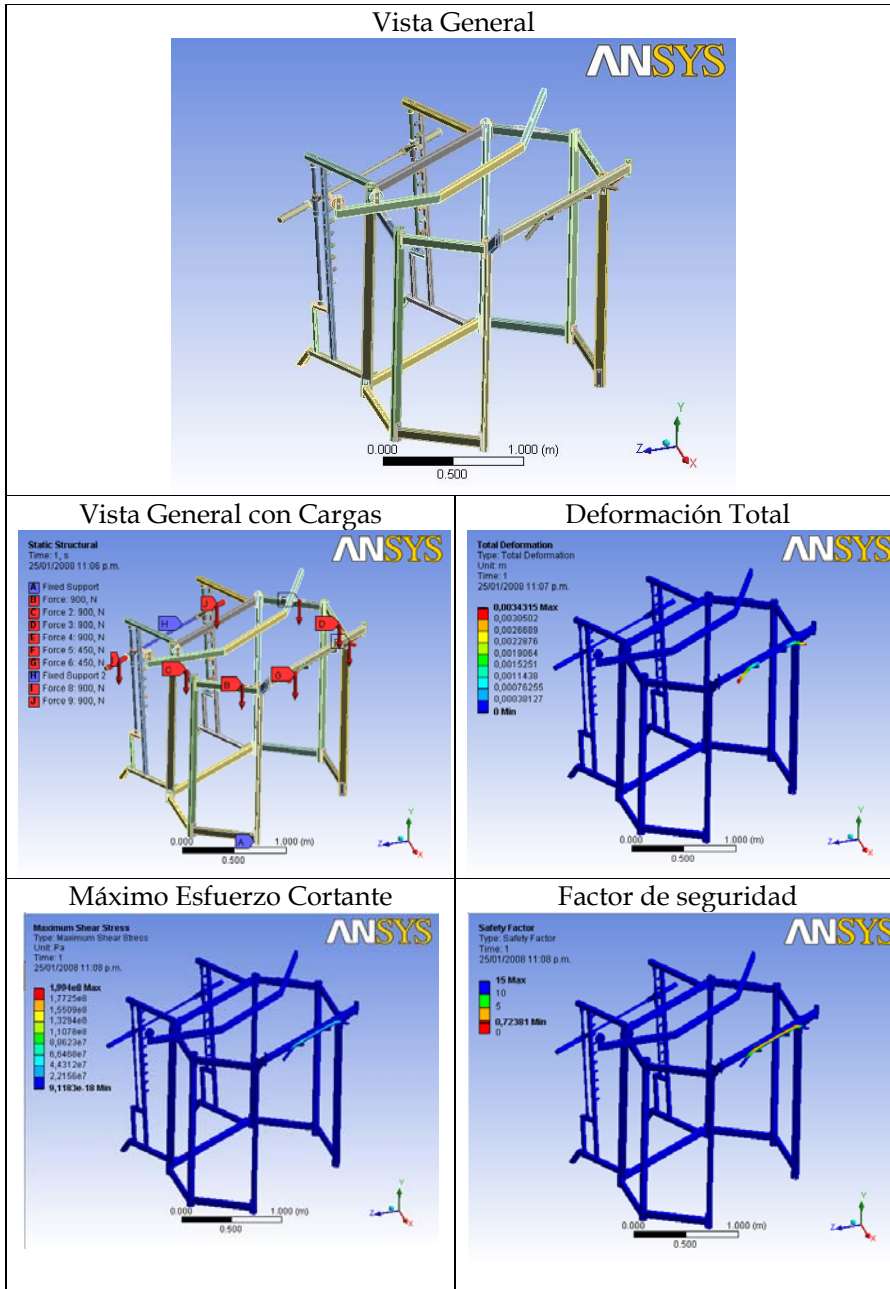
Sección	Descripción
1	Estructura central-estación 3-6
2	Estación 1
3	Estación 2
4	Estación 4
5	Estación 5

Cada sección se somete a un análisis independiente, simulando las cargas máximas a las que será sometido en condiciones normales de operación.

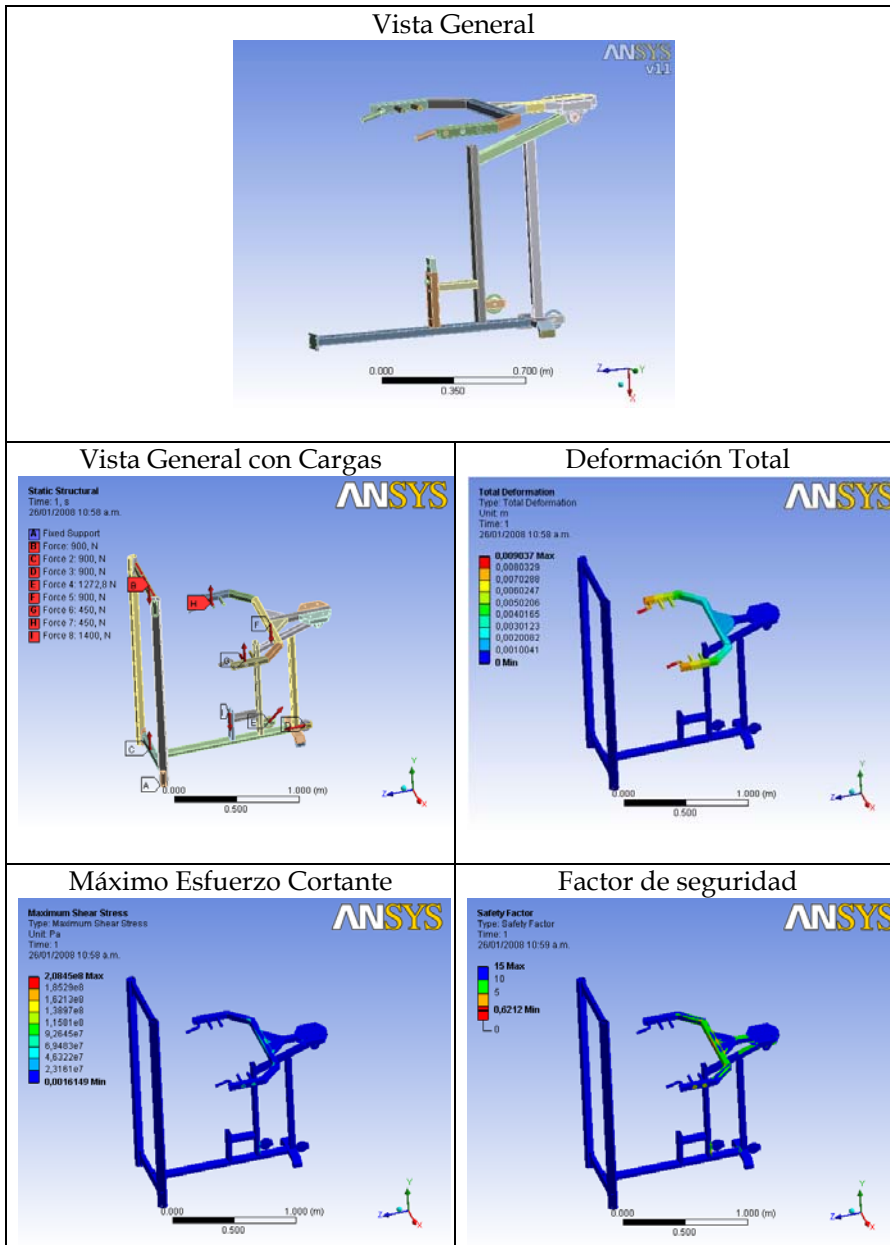
ANSYS entrega un detallado reporte consignado en grupos de tablas y gráficas de cada análisis particular. Estos resultados son muy extensos para citarlos textualmente, por consiguiente en esta sección se hará una reseña con la interpretación de los resultados gráficos, algunas conclusiones y medidas a tomar derivadas de los mismos. Para una revisión profunda y detallada de los resultados del análisis CAE, puede remitirse al Anexo A. Los resultados gráficos del análisis CAE están consignados a continuación, en la figura 10.

Figura 10. Resultados Gráficos del Análisis Estructural CAE

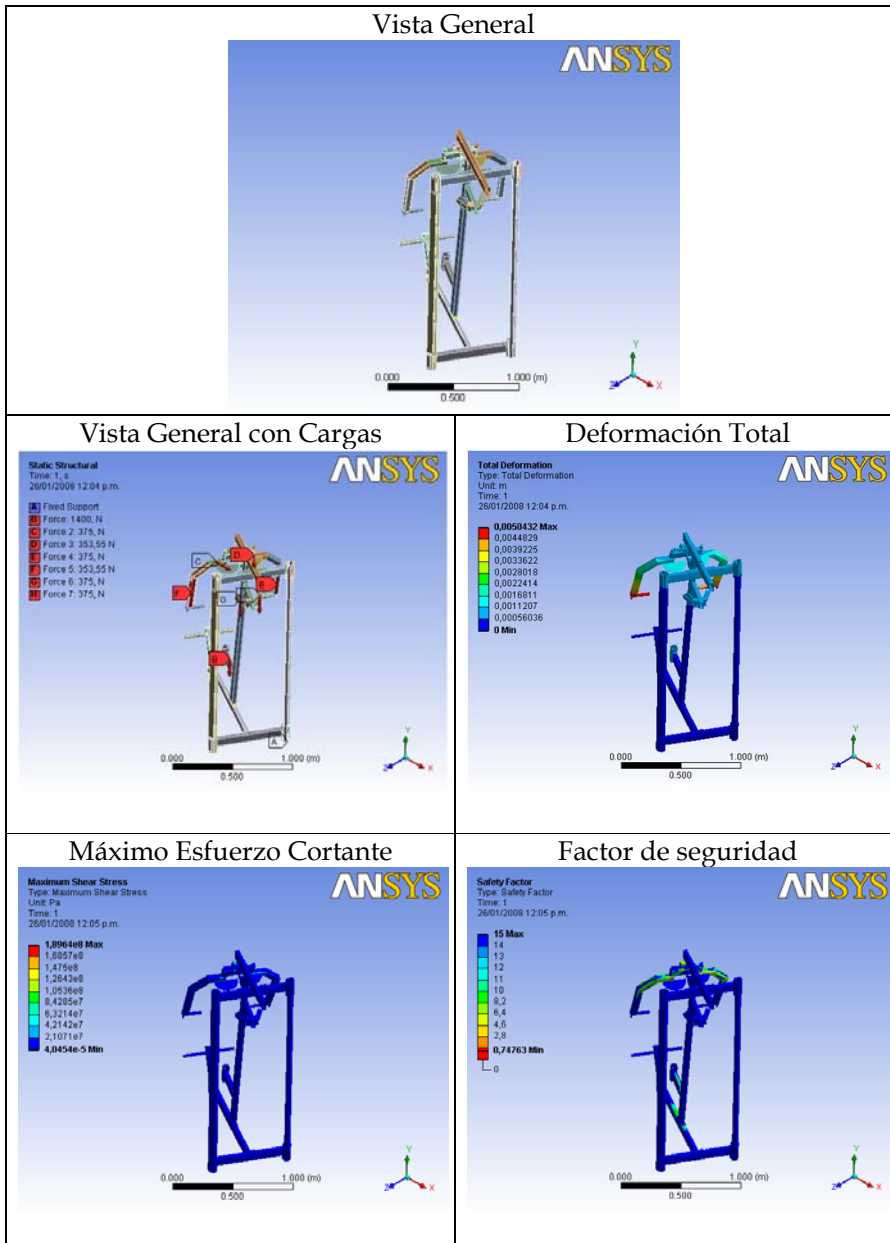
- Estructura Central- Estaciones 3 y 6



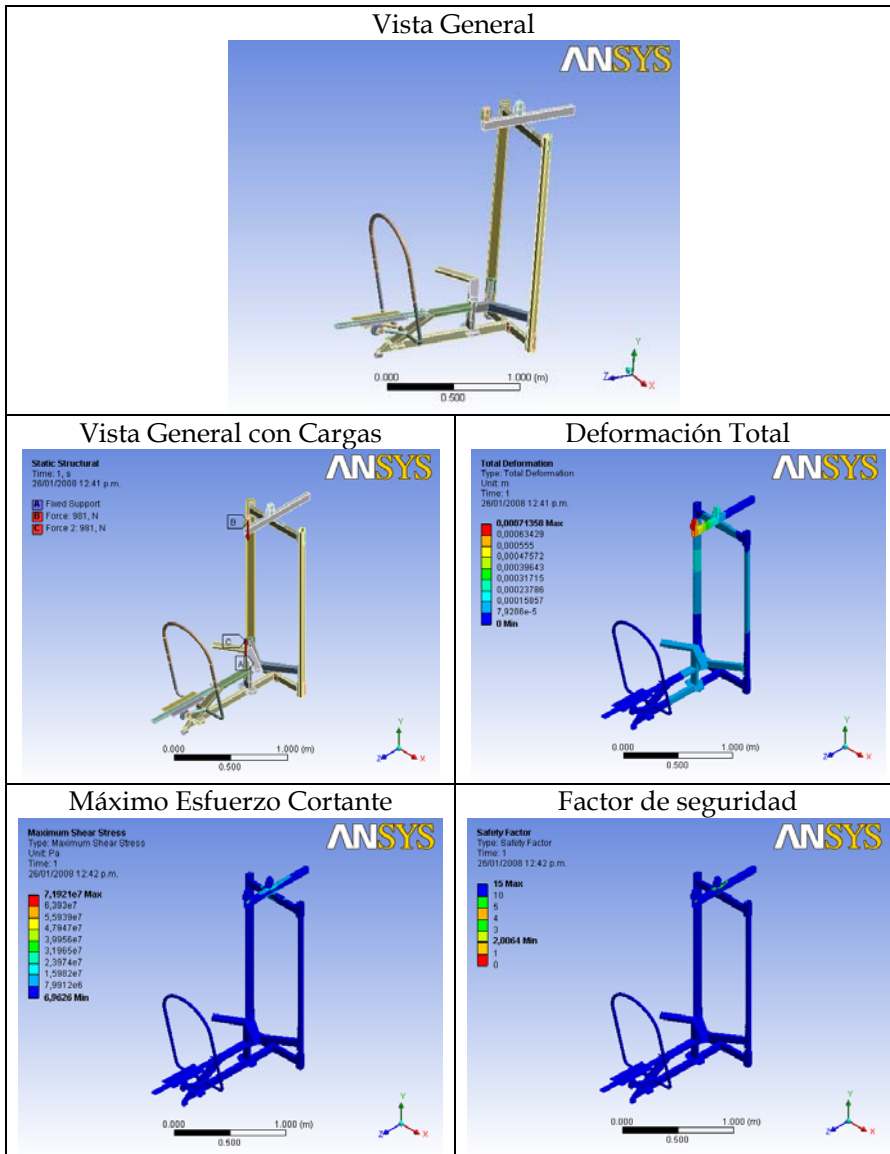
- Estación Uno.



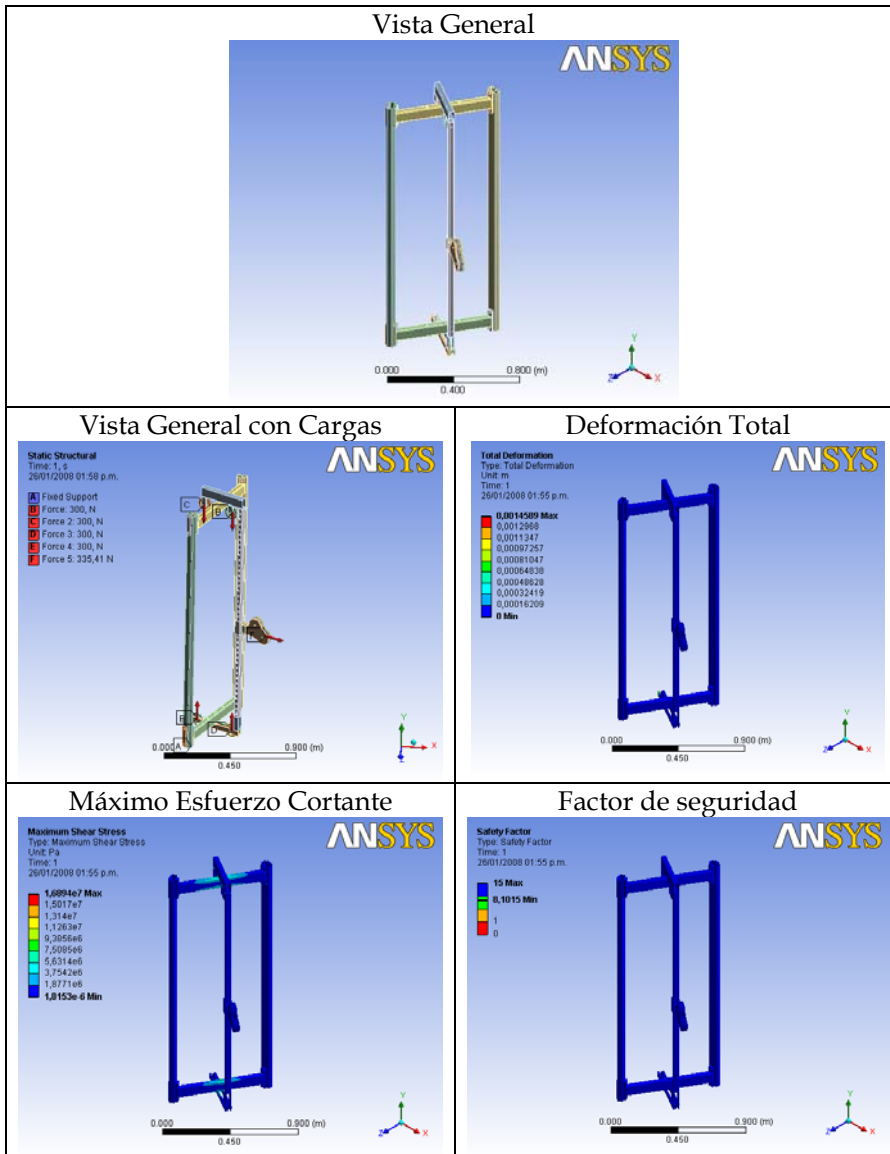
- Estación Dos.



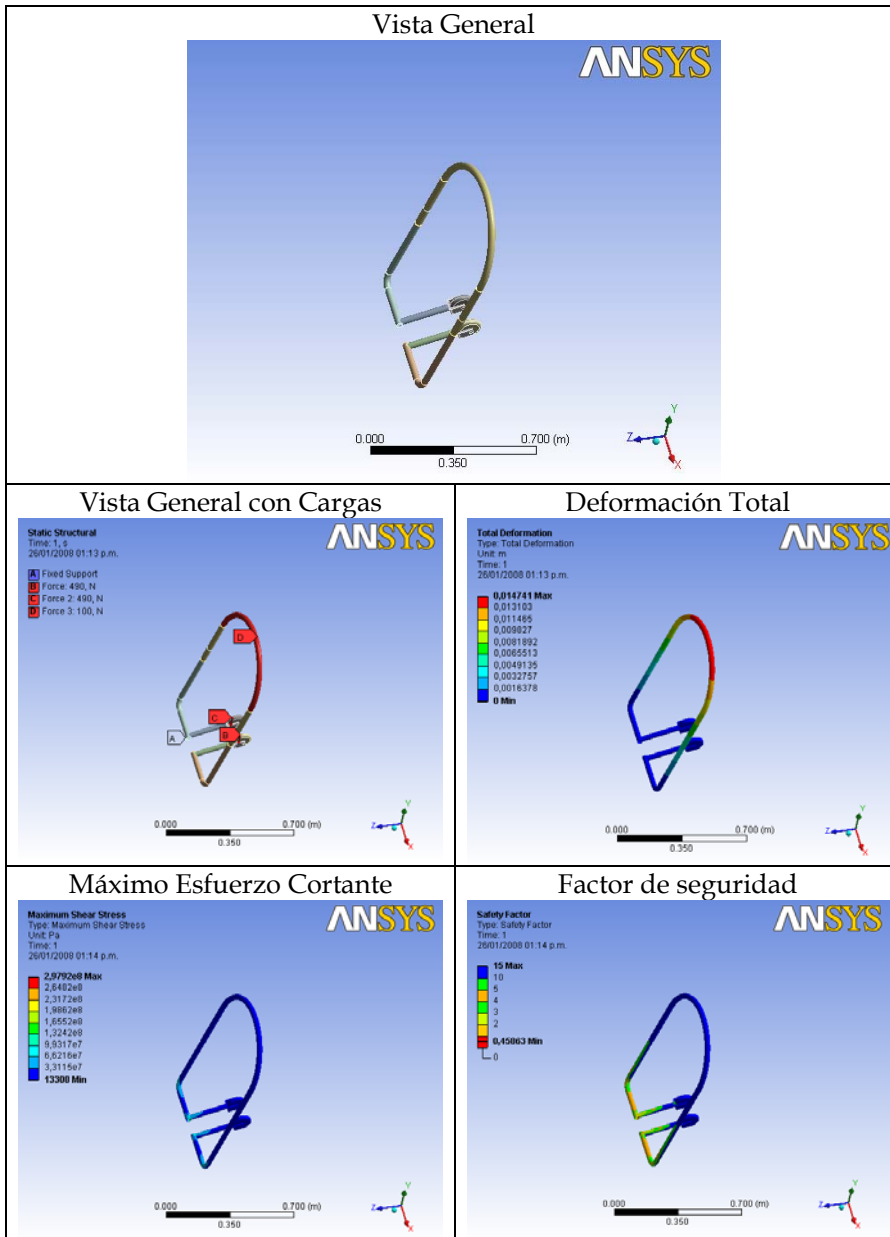
- Estación Cuatro.



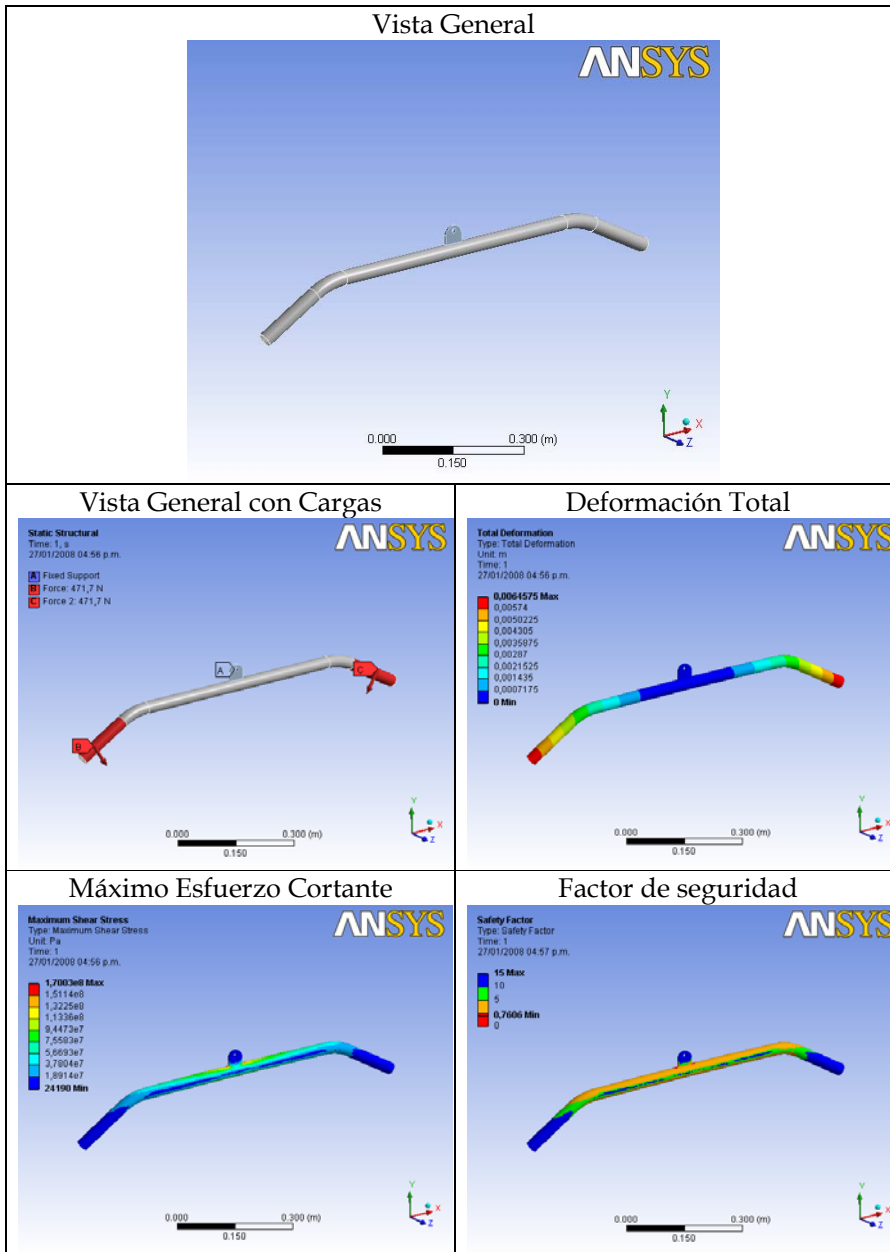
- Estación Cinco.



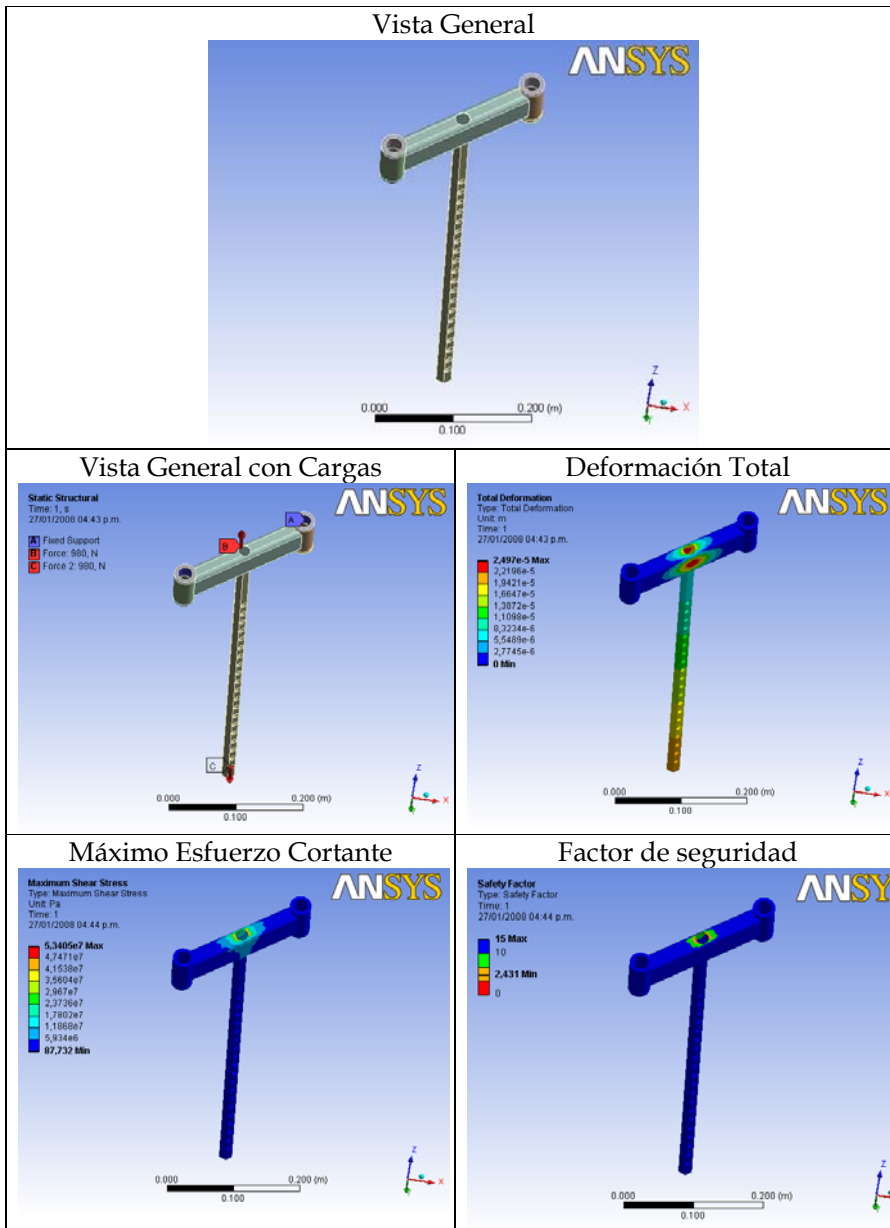
- Brazo Abdominales.



- Barra Polea Alta.



## Seguidor de Planchuelas.



La escala de colores en las gráficas es muy elocuente, relacionando las piezas sombreadas con color azul, como elementos resistentes a la carga impuesta. De esta forma se pueden interpretar los resultados de manera gráfica, rápida y sencilla.

**Tabla 7. Resultado Análisis Estructura Central- Estaciones 3 y 6**

Definición	Máximo /Mínimo	Máximo /Mínimo en:
Deformación total	0.0034315 m.	Barra de Dominadas
Máximo esfuerzo cortante	1.994e8 Pa	Barra de Dominadas
Factor de Seguridad	1-5 min.	Barra de Dominadas

Según estos datos, los materiales preseleccionados para la estructura están muy por encima de las necesidades estructurales, excepto la barra preseleccionada para las dominadas (estación 6).

La acción correctiva a implantar es:

- Cambiar el material de la barra de tubo a varilla maciza de acero SAE 1045

**Tabla 8. Resultado Análisis Estación Uno**

Definición	Máximo /Mínimo	Máximo /Mínimo en:
Deformación total	0.009 m.	Manillar frontal.
Máximo esfuerzo cortante	2.084e8 Pa	Unión travesaño-pescante
Factor de Seguridad	0.6212	Unión confinador-pescante

Los resultados sin ser malos, requieren medidas para corregir el mínimo factor de seguridad. La acción correctiva a implantar es

- Reforzar el punto de unión del confinador de guaya con el pescante soldando una platina entre los dos.

Como se ha podido notar en los dos resultados analizados, la ausencia de zonas rojas en las gráficas es alentadora, sin embargo es pertinente tomar cualquier medida que lleve a mejorar los resultados del diseño.

**Tabla 9. Resultado Análisis Estación Dos.**

Definición	Máximo /Mínimo	Máximo /Mínimo en:
Deformación total	0.005 m.	Manillares
Máximo esfuerzo cortante	4.21e8 Pa.	Unión de los brazos
Factor de Seguridad	2.8	Unión de los brazos

Según la interpretación de los resultados la preselección es apropiada.

**Tabla 10. Resultado Análisis Estación Cuatro**

Definición	Máximo /Mínimo	Máximo /Mínimo en:
Deformación total	0.0007 m.	Punta viga ppal.
Máximo esfuerzo cortante	7.19e7	Centro viga ppal.
Factor de Seguridad	2.0064	Unión poleas.

Según la interpretación de los resultados la preselección es apropiada.

**Tabla 11. Resultado Análisis Estación Cinco.**

Definición	Máximo /Mínimo	Máximo /Mínimo en:
Deformación total	0.0014 m.	Viga superior
Máximo esfuerzo cortante	1.68e7	Viga superior
Factor de Seguridad	8.1	Viga superior

Según la interpretación de los resultados la preselección es apropiada.

**Tabla 12. Resultado Análisis Estación Seis**

Definición	Máximo /Mínimo	Máximo /Mínimo en:
Deformación total	0.014 m.	U superior.
Máximo esfuerzo cortante	2.98e8	Codos tubos L
Factor de Seguridad	0.45	Unión extensión L.

La acción correctiva a implantar es:

- Aumentar el espesor de los tubos para los codos L.

**Tabla 13. Resultado Análisis Barra Polea Alta**

Definición	Máximo /Mínimo	Máximo /Mínimo en:
Deformación total	0.0064m	Extremos
Máximo esfuerzo cortante	5.34e7 Pa.	Frontera unión gancho
Factor de Seguridad	0.76	Frontera unión gancho

La acción correctiva a implantar es:

- Fabricar la pieza en varilla SAE 1045 conservando las dimensiones.

**Tabla 14. Resultado Análisis Seguidor Planchuelas**

Definición	Máximo /Mínimo	Máximo /Mínimo en:
Deformación total	2.497e-5 m	Cuerpo del separador
Máximo esfuerzo cortante	5.34e7 Pa.	Unión separador - confinador
Factor de Seguridad	2.431	Unión separador - confinador

Según la interpretación de los resultados la preselección es apropiada.

A esta altura del proceso de evaluación y análisis se puede empezar el proceso de construcción, paso que se iniciaría puntualizando una lista de compra de materiales.

### 3. CONSTRUCCIÓN Y COSTOS

La construcción y el análisis de costos es la parte final en el desarrollo del sistema multiestaciones, por ello en esta instancia se deben tener bien definidos los planos de diseño, el sitio de construcción y las herramientas necesarias. Los procesos de corte, perforación, roscado y soldadura de la materia prima para la construcción del sistema multiestaciones se realizará en su totalidad por los integrantes del presente trabajo de grado, los demás procesos de mecanizado, recubrimiento superficial, tapizado, entre otros serán contratados.

#### 3.1 MATERIALES

En la selección de materiales, el análisis estructural con medios informáticos CAE, es una herramienta muy útil, sin embargo los resultados obtenidos de este no bastan para puntualizar una lista de compra de materiales, además de ello hay que tener en cuenta muchos otros factores que también representan criterios de selección como lo son: la disponibilidad de materiales, los costos, la presentación, etc. La selección de materiales para la construcción del multiestaciones presenta en la tabla 15.

**3.1.1 Selección y Disponibilidad.** Una vez que se eligieron los materiales que se utilizarán en la construcción de la máquina, se debe tener claro el proveedor de los mismos, caso contrario, se corre el riesgo de detenerse a mitad de la construcción, por la ausencia de materia prima. Se considera prioritario puntualizar la lista de materiales acompañada del proveedor local que los suministra.

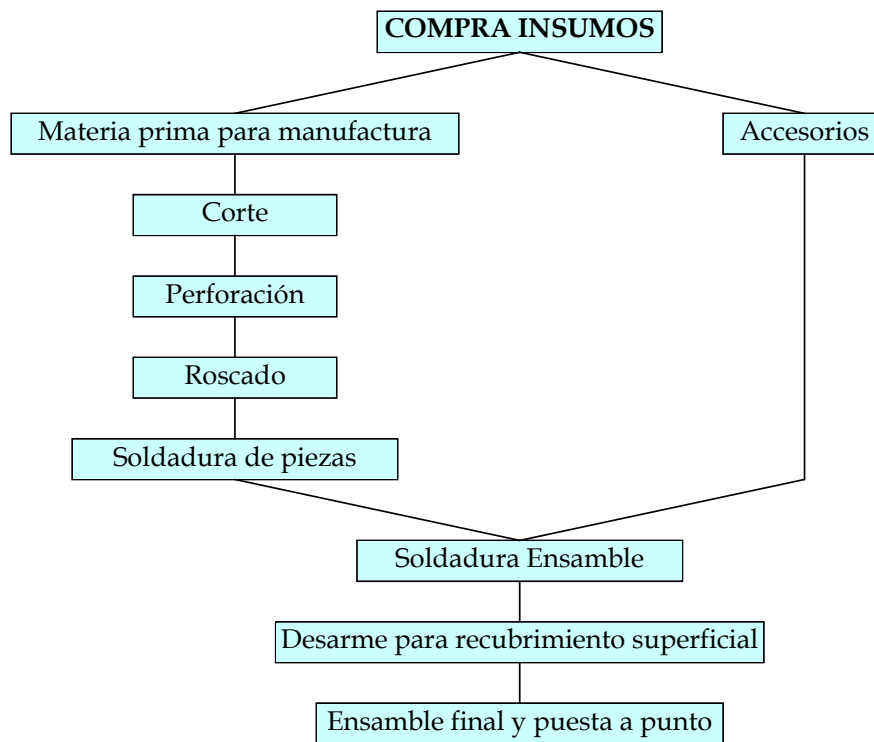
**Tabla 15. Materiales seleccionados con sus Proveedores Locales**

Descripción	Proveedor
Tubería AN 3" x 1½" cal.14	Macot S.A.
Tubería AN 2" x 2" cal.14	Macot S.A.
Tubería AN 1½" cal. 14	Macot S.A.
Tubería AN 4" x 1½" cal 14.	Hidelpa S.A.
Tubería AN 2" x 1" cal. 14	Macot S.A.
Tubería AN ¾" pesado.	Macot S.A.
Tubería AN 1" pesado	Macot S.A.
Tubería 25 sch. 40	Sanitubo
Platina 2" x ⅜" HR	Trefilados de Colombia.
Platina 3" x ¼" HR	Trefilados de Colombia.
Platina 1½" x ⅜" HR	Trefilados de Colombia
Platina 1½" x ¼" HR	Trefilados de Colombia
Platina 1½" x ⅛" HR	Trefilados de Colombia
Platina oxicortada	Deposito Orlando
Varilla redonda (varios)	Rodamientos y Aceros
Rodamientos (varios)	Rodamientos y Aceros
Bujes bronce (varios)	El Tornillero
Pasadores rectificadas	El Tornillero
Prolón 35	Rodamientos y aceros
Tornillos (varios)	Tornillos y Partes Plaza
Tapicería(varios)	Tapicería El Cóndor
Poleas	Fundiciones Guarín
Planchuelas	Fundiciones Guarín
Guaya forrada de ¼"	Guayas y Resortes
Resortes	Guayas y Resortes
Ruedas de goma	Ferretería Capital
Niveladores	Ferretería La Paz
Cromados	Niquelados El Rin
Pintura Electroestática	Electropintura

### 3.2 ORDEN OPERACIONAL

Para el desarrollo del proceso de construcción de sistema multiestaciones se propone seguir un orden operacional el cual se presenta a continuación en la figura 11.

Figura 11. Secuencia Operacional de Construcción Sistema Multiestaciones



**3.2.1 Compra de Insumos.** La compra de insumos se realiza en los lugares especificados anteriormente en la tabla 15 y se divide en dos partes:

1. Accesorios: piezas que no se transforman.
2. Materia prima: material que se somete a procesos de manufactura

**3.2.1.1 Accesorios.** Los accesorios necesarios para la conformación del sistema multiestaciones se relacionan a continuación en la tabla 16.

**Tabla 16. Lista de Accesorios que Conforman el Sistema Multiestaciones**

Descripción	Cantidad
Chumaceras NSK 1"	2
Buje bronce SAE 65- 1"	3
Buje bronce SAE 65- 5/8"	4
Pasador rectificado F100 corto	4
Pasador rectificado F 85 largo	3
Bujes teflón	4
Bujes plástico para seguidores	16
Bujes plástico para planchuelas	130
Planchuelas de 5 Kg.	65
Poleas de 4"	16
Rodamientos 6203	16
Guaya forrada ¼" (m)	17
Niveladores ⅜"	14
Ruedas de goma	2
Juego movimientos TY 30	1
Caja centros 35 mm.	1
Válvulas (para selectores de carga)	4
Perillas retráctiles	2
Muelles 1"x ¼" x 6"	8
Tornillos ½" x 3" NC	20
Tornillos ½" x ¾" NC Cabeza avellanada	44
Tornillos ⅜" x 3½"	4

Tornillos $\frac{3}{8}$ " x 2"	46
Tornillos $\frac{3}{8}$ " x 1 $\frac{1}{2}$ " Button head	20
Prisioneros $\frac{1}{4}$ " x $\frac{1}{2}$ "	24
Tuercas 16 mm. x 1.5	4
Tuercas $\frac{3}{8}$ " NC.	50
Tuercas $\frac{1}{2}$ " NC.	20

**3.2.1.2. Materia Prima.** La materia prima sometida a los procesos anteriormente mencionados se describe a continuación en la tabla 17.

**Tabla 17. Lista de Materia Prima del Sistema Multiestaciones.**

Descripción	Cantidad
Tubería 3" * 1 $\frac{1}{2}$ " AN. Cal. 14.	33.5 m.
Tubería 4" * 1 $\frac{1}{2}$ " AN. Cal. 14.	0.6 m.
Tubería 2" * 2" AN. Cal. 14.	9.3 m.
Tubería 2" * 1" AN. Cal. 14.	0.8 m.
Tubería 1 $\frac{1}{2}$ " * 1 $\frac{1}{2}$ " AN. Cal. 14.	6.5 m.
Tubería 1 $\frac{1}{2}$ " AN. Cal. 14.	0.64 m.
Tubería 25. sch 40 tipo pesado	0.70 m.
Tubería 1" AN. Cal. 14.	1.2 m.
Tubería $\frac{3}{4}$ " AN. Cal. 14.	1.5 m.
Platina 3" * $\frac{1}{4}$ " H.R.	1.7 m.
Platina 2" * $\frac{3}{8}$ " H.R.	7.1 m.
Platina 1 $\frac{1}{2}$ " * $\frac{3}{8}$ " H.R.	1.95 m.
Platina 1 $\frac{1}{2}$ " * $\frac{1}{4}$ " H.R.	3.7 m.
Discos 3" * $\frac{1}{2}$ " H.R.	2
Discos 1 $\frac{1}{2}$ " * $\frac{1}{8}$ " H.R.	2

Ganchos Smith. Platina 1/2"	2
Platina 1/4" - 15*20 cm.	2
Platina 1/4" - Oxicorte soporte poleas Gemelas.	2
Disco 1/2"* Ø 0.3 m.	1
Varilla 2" SAE1045	0.15 m.
Varilla 1 1/8" SAE1045	4 m.
Varilla 1" SAE1045	4.05 m.
Varilla 3/4"SAE1020	13.2 m.
Varilla Hexagonal 3/4"	2.6 m.
Varilla 12 mm. SAE1020	0.8 m.
Varilla cuadrada 1 1/2" * 1 1/2" SAE1020	0.1 m.
Disco de corte 14"	5
Disco de pulir	2

**3.2.2 Corte.** Para el proceso de corte del multifuerza se necesita una cortadora para metales de disco abrasivo de 14" de diámetro.

**Figura 12. Máquina Cortadora de Metal de Disco Abrasivo**



Con este dispositivo es posible hacer cortes rectos y en ángulo de forma rápida y precisa. Por consiguiente y siguiendo los planos detallados adjuntos, es sencillo cortar las más de 300 piezas individuales.

Debido a la cantidad de piezas que conforman el sistema es posible que se confundan unas piezas con otras en la siguiente etapa, para evitar este inconveniente las piezas pueden marcarse al terminar el corte con un grafo para metales.

**Figura 13. Marcado de Piezas**



**3.2.3 Perforación.** Para la perforación es necesario un taladro de árbol de 1H.P. con mandril de  $\frac{5}{8}$ ".

A continuación en la tabla 18 se indican las brocas y accesorios necesarios para el proceso de perforado. Todos los accesorios se pueden obtener en el mercado local.

**Figura 14. Taladro de Árbol**



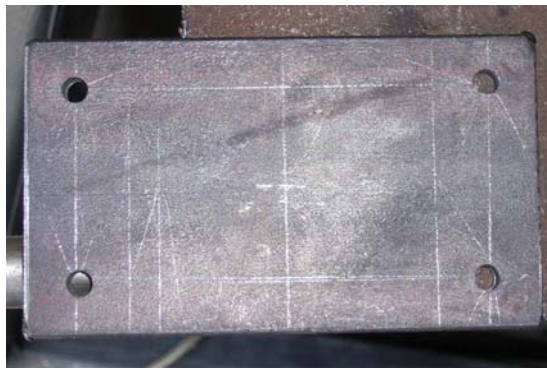
**Tabla 18. Herramientas y Accesorios de Perforación Necesarias.**

Descripción	Denominación
Centro punto	1/4"
Broca	1/4"
Broca	3/8"
Broca	7/16"
Broca	10 mm.
Broca	12 mm.
Broca	3/4"
Broca	7/8"
Broca	1/2"
Broca	7/8"
Broca	3/16"
Broca	7/16"
Árbol de sierra copa	Grande
Árbol de sierra copa	Pequeño
Sierra copa	5/8"
Sierra copa	3/4"

Sierra copa	7/8"
Sierra copa	1 3/8"
Sierra copa	1 5/8"
Sierra copa	1"
Sierra copa	1 1/8"
Escuadra aluminio	8"
Buril para trazar	5/16"
Calibrador de carátula	0.001"

Previo al proceso de perforación, se elabora el trazado y centrado de las piezas, este proceso requiere la precisión de un calibrador de carátula graduado en milésimas de pulgada y una escuadra de gama alta.

**Figura 15. Proceso de Trazado y Centrado de las Piezas**



Algunas piezas como las platinas de sujeción, deben perforarse en pareja con su pieza gemela o pieza destino, para facilitar el ensamble y garantizar la precisión del montaje.

**Figura 16. Maquinado de Piezas Gemelas**



**3.2.4 Roscado.** Antes de iniciar la soldadura de las piezas primarias, es necesario roscar las siguientes piezas:

- Platinas de sujeción principales
- Confinadores de las guayas
- Barras guía de las planchuelas

**3.2.5 Soldadura de piezas primarias.** El sistema multiestaciones debe ser ensamblado por partes, de una forma progresiva y organizada que se muestra en la sección **soldadura de ensamble**. Previamente deben soldarse unas piezas llamadas piezas primarias, la tabla 19 las muestra en el orden que deben ser soldadas.

**Tabla 19. Piezas Primarias**

Descripción	Estación de trabajo
Vertical 11-12	1-6
Viga 11-14	1
Viga 12-13	1
Base hammer	1
Brazo hammer	1
Vertical 21-22	1-2

Vertical 23-24	2-3
Viga 21-24	2
Viga 22-23	2
Base peck-deck	2
Espaldar peck-deck	2
T pivotante	2
Brazo derecho peck	2
Brazo izquierdo peck	2
Viga 31-34	3
Viga 32-33	3
Vertical 33-34	3-4
Brazo izquierdo smith	3
Brazo derecho smith	3
Acople 32	3
Acople 31	3
Acople 33	3
Acople 34	3
Vertical 43-44	4
Viga 41-44	4
Viga 42-43	4
Base polea alta	4
Viga principal	4-2
Brazo izquierdo máq. abdominales	4
Brazo derecho máq. abdominales.	4
Espaldar máq. abdominales	4
Viga 51-54	5
Viga 52-53	5
Vertical 43-44	5
Seguidor torre auxiliar	5
Base poleas gemelas	5
Viga 62-63	6
Seguidor de planchuelas	1-2-4-5

A continuación se ven algunas piezas primarias antes de pasar al siguiente proceso: Soldadura de Ensamble.

**Figura 17. Soldadura Piezas Primarias**



**3.2.6 Soldadura de Ensamble.** Listas las piezas primarias, se puede proceder a poner en pie la estructura. Lo primero que se ensambla es la estructura central, la platina menor de sujeción previamente soldada a cada viga, se une con su respectivo vertical, mediante puntos de soldadura como se ve a continuación en la figura 18.

**Figura 18. Ensamble de la Estructura Central**



Una vez unidas mediante puntos las piezas de la estructura central se empieza a unir las piezas primarias de cada estación, en orden ascendente del número correspondiente a cada una de ellas. En este paso se utilizan algunos accesorios como rodamientos, tornillos, bujes entre otros. Como se aprecia en la figura 19.

**Figura 19. Soldadura de Ensamble Estación 1**



**Figura 20. Soldadura de Ensamble Estación 2**

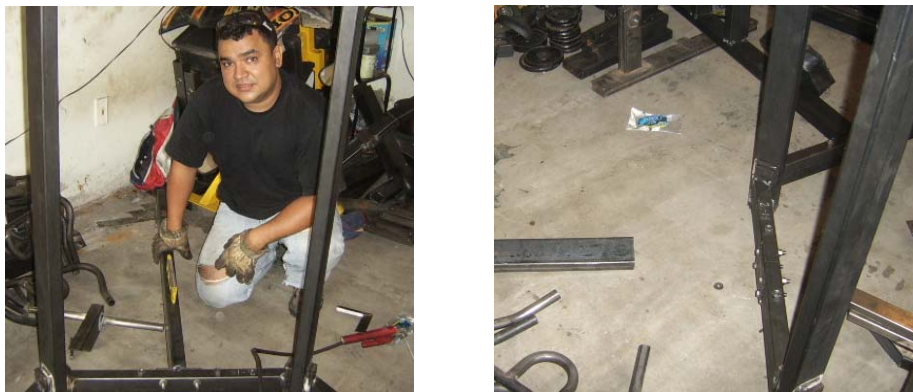




Figura 21. Soldadura de Ensamble Estación 3





Figura 22. Soldadura de Ensamble Estación 4



**Figura 23. Soldadura de Ensamble Estación 5**



Finalizada la soldadura de ensamble se procede a instalar los accesorios faltantes como: poleas (que deben ser cuidadosamente alineadas. Figura 24), planchuelas, guayas etc.

**Figura 24. Alineación Poleas.**



**Figura 25. Montaje Planchuelas y Poleas**



**3.2.7. Desarmado para Recubrimiento Superficial.** Instalados todos los accesorios y hechas las pruebas de alineación y de funcionamiento sin mucha carga, la máquina se desmantela completamente para aplicar la pintura electrostática o el cromado según corresponda a cada pieza.

**Figura 26. Desarmado del Sistema Multiestaciones**



**3.2.8. Ensamble Final y Puesta a Punto.** Luego de que las piezas salen de pintura o cromado, empieza el proceso final de ensamble y puesta a punto. En el manual adjunto “Manual de Operación, Ensamble y Mantenimiento del Sistema Multiestaciones” se describe paso a paso el proceso de ensamble de este. Una vez terminada la máquina debe verse como en las siguientes imágenes.

**Figura 27. Sistema Multiestaciones Terminado**



**Figura 28. Estación 1 Prensa de Hombro**



**Figura 29. Estación 2 Contractor de Pecho y Pecho Sentado**



**Figura 30. Estación 3 Sentadilla con Guía.**



**Figura 31. Estación 4 Polea Alta y Máquina Abdominales**



**Figura 32. Estación 5 Torre Auxiliar**



**Figura 33. Estación 6 Trabajo Libre**



### 3.3 COSTOS DE FABRICACION DEL SISTEMA MULTIESTACIONES

Teniendo el sistema multiestaciones terminado, ensamblado y disponible para realizar trabajos de ejercitación, se pueden obtener los costos de fabricación de este. En ellos se incluyen los costos de cada uno de los materiales, piezas y accesorios que fueron necesarios para su construcción y puesta en funcionamiento; costos de mecanizado, tapizado y recubrimiento superficial. Además se añaden costos de transporte de materiales y personal, también los costos fijos como lo son mano de obra (Integrantes del presente trabajo de grado), arrendamiento y servicios públicos (Energía eléctrica, Agua y Teléfono).

**Tabla 20. Costos de Fabricación del Sistema Multiestaciones**

MATERIAL	ESTACIONES DE TRABAJO						CHASIS	TOTAL	COSTO
	1	2	3	4	5	6			
<b>TUBO CUADRADO</b>									
4" X 1 1/2" Cal 14 (m)	-	-	-	-	-	-	0.6	0.6	10,000
3" X 1 1/2" Cal 14 (m)	3.7	3.6	-	3.8	0.4	-	22.0	33.5	447,000
2" x 2" Cal 14 (m)	4.4	1.9	2.8	-	0.2	-	-	9.3	124,000
2" x 1" Cal 14 (m)	-	-	-	0.8	-	-	-	0.8	5,000
1 1/2" x 1 1/2" Cal 14 (m)	-	0.5	4.4	-	1.6	-	-	6.5	56,400
<b>TUBO REDONDO</b>									
1 1/2" Aguas negras (m)	-	-	0.6	-	-	-	-	0.6	5,500
25 sch 40	0.2	0.2	-	0.2	0.2	-	-	0.6	7,800
1 1/2" Tipo pesado (m)	-	0.3	0.4	-	-	-	-	0.7	13,000
Brazo Abdominales (m)	-	-	-	-	-	-	-	-	20,000
3/4" Aguas negras (m)	-	0.1	-	0.4	0.1	-	-	0.6	2,000
<b>PLATINA</b>									
3" X 3/16" (m)	0.2	0.5	0.6	0.5	-	-	-	1.7	18,000
2" x 3/8" (m)	-	0.3	-	-	-	0.2	6.6	7.1	59,200
1 1/2" x 3/8" (m)	0.2	0.4	-	0.1	0.7	0.2	0.5	2.0	17,600
1 1/2" x 1/4" (m)	0,70	0,60	0,50	0,40	0,60	-	0,50	3,70	18,000
1 1/2" x 1/8" (m)	-	0.1	-	1.6	0.2	-	0.7	2.6	8,700
1/2" x Ø 3" (u)	-	-	2.0	-	-	-	-	2.0	10,000
1/8" x Ø 4 cm (u)	-	-	2.0	-	-	-	-	2.0	2,000

Ganchos Smith (u)	-	-	2.0	-	-	-	-	2.0	10,000
15 x 20 x 0,6 cm (u)	1.0	1.0	-	-	-	-	-	2.0	20,000
En "C" (Asientos) (m)	0.2	-	-	0.2	-	-	-	0.4	20,000
Base poleas gemelas(u)	-	-	-	-	-	2.0	-	2.0	14,000
<b>VARILLA</b>									
2" (m)	-	-	0.2	-	-	-	-	0.2	28,000
1 1/8" (m)	-	-	1.8	-	-	1.0	-	2.8	61,600
1 1/2" x 1 1/2" (m)	-	-	-	-	0.1	-	-	0.1	7,000
1" (m)	1.3	0.4	2.3	-	-	-	-	4.1	75,000
3/4" Hexagonal (m)	0.7	0.6	-	0.8	0.5	-	-	2.6	31,200
3/4" (m)	3.3	3.3	-	3.3	3.3	-	-	13.2	132,000
12 mm (m)	0.2	0.2	-	0.2	0.3	-	-	0.8	7,000
Seguros Smith 6 cm c/u	-	-	20.0	-	-	-	-	20.0	27,000
<b>SISTEMAS ANTIFRICCION</b>									
Chumaceras 1" (u)	2.0	-	-	-	-	-	-	2.0	26,000
Buje + Pasador 1" (u)	-	3.0	-	-	-	-	-	3.0	60,000
Buje + Pasador 5/8" (u)	-	2.0	-	1.0	1.0	-	-	4.0	34,800
Bujes Guía Smith (u)	-	-	4.0	-	-	-	-	4.0	16,000
Bujes Seguidor	4.0	4.0	-	4.0	4.0	-	-	16.0	3,000
<b>TORNILLOS</b>									
Perillas Selección (u)	1.0	1.0	-	1.0	1.0	-	-	4.0	27,000
1/2" x 3" (u)	8.0	4.0	-	4.0	4.0	-	-	20.0	10,000
1/2" x 3/4" Avellanado (u)	-	-	-	-	-	-	44.0	44.0	37,400
3/8" x 3 1/2" (u)	-	4.0	-	-	-	-	-	4.0	2,000
3/8" x 2" (u)	4.0	4.0	24.0	12.0	2.0	-	-	46.0	17,000
3/8" x 1 1/2" Botón (u)	-	-	20.0	-	-	-	-	20.0	10,000
Prisioneros 1/4" (u)	6.0	6.0	-	6.0	6.0	-	-	24.0	3,000
Tapicería	12.0	28.0	-	24.0	-	-	-	64.0	6,400
<b>TUERCAS</b>									
16mm (u)	1.0	1.0	-	1.0	1.0	-	-	4.0	1,200
1/2" (U)	8.0	4.0	-	4.0	4.0	-	-	20.0	5,000
3/8" (u)	4.0	8.0	24.0	12.0	2.0	-	-	50.0	2,750
<b>OTROS</b>									
Leva Ø 30cm (u)	-	1.0	-	-	-	-	-	1.0	57,000
Poleas + rodamientos (u)	4.0	3.0	-	2.0	7.0	-	-	16.0	176,000
Guaya Forrada 1/4" (m)	5.0	3.0	-	2.0	7.0	-	-	17.0	68,000
Niveladores (u)	2.0	1.0	2.0	3.0	-	-	6.0	14.0	8,400
Ruedas Goma (u)	-	-	-	2.0	-	-	-	2.0	10,000
Juego mov. Brazo abd. (u)	-	-	-	1.0	-	-	-	1.0	11,000
Planchuelas 5Kg (u)	18.0	15.0	-	20.0	12.0	-	-	65.0	1,053,000
Selectores de Carga (u)	1.0	1.0	-	1.0	1.0	-	-	4.0	8,000
Accesorios sujeción (u)	-	-	-	1.0	1.0	-	-	2.0	10,000
Resortes 1" x 1/4" x 6" (u)	2.0	2.0	-	2.0	2.0	-	-	8.0	32,000
Soldadura (Kg)								10.0	50,000

Disco Corte (u)		5.0	55,000
Disco Pulir (u)		2.0	8,000
Torno			170,000
Transporte			150,000
TERMINADO			
Pintura			500,000
Níquel			300,000
Tapicería			190,000
			4,374,950

COSTOS FIJOS			
Mano de obra			600,000
Arriendo			150,000
Servicios públicos			50,000
			5,174,950

## CONCLUSIONES

- Se logró disponer para el mercado local un equipo de ejercitación muscular, el cual integra en una sola estructura, los dispositivos y accesorios necesarios para realizar el acondicionamiento de los Grupos Musculares Ejercitables del cuerpo humano.
- El **Sistema Multiestaciones** se puede instalar en un espacio menor de 14m<sup>2</sup> incluyendo el espacio requerido para los usuarios.
- El sistema de construcción modular permite el ingreso de los componentes del **Sistema Multiestaciones** a través de puertas de tamaño promedio (0.9 x 2.2 m).
- Todos los materiales, piezas y dispositivos que se incluyeron en el diseño y la construcción del **Sistema Multiestaciones**, disponibles en el mercado local.
- El costo de fabricación del Sistema Multiestaciones es menor de un millón de pesos (\$1.000.000) por estación.
- Las herramientas CAD y CAE extienden los alcances del trabajo del ingeniero, proporcionando un sustento al proceso de diseño que no se podría alcanzar con el método tradicional.

## **BIBLIOGRAFÍA**

**BLANCO NESPEREIRA, Alfonso.** Ejercicios de musculación: (1000 ejercicios y juegos). Barcelona: Editorial Pardo Tribo. 1992.

**FAIRES MORING, Virgal.** Diseño de Elementos de Maquinas. México: Limusa S.A. 1996.

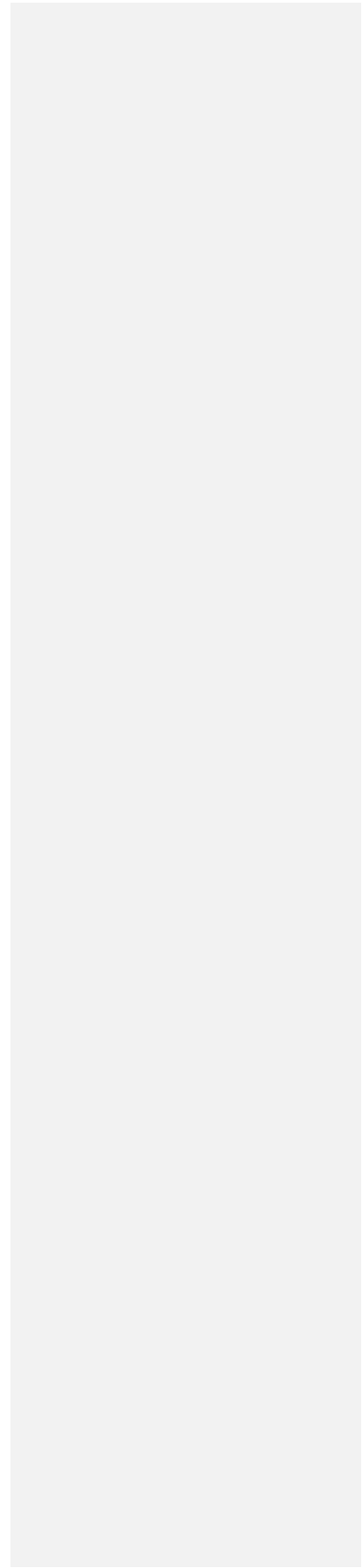
**HIBBELER, R. C.** Mecánica de Materiales. 3ed. México: Pentince may. 1997.

**LOPEZ CHICHARRO, José y FERNANDEZ VAQUERO, Almidena.** Fisiología del ejercicio. Madrid: Médica Panamericana. 1998.

**ORTS LLORCA, Francisco.** Anatomía Humana. Barcelona: Científico - Médica. 1963.

**ROJAS GARCÍA, Hernán.** Rodamientos. Bucaramanga: UIS. 1984.

## **ANEXOS**



## **ANEXO A. Tablas y Graficas de Resultados Análisis Estructural CAE**

Detalles en el CD anexo a las memorias.

## **ANEXO B. Planos de Diseño y Construcción**

Incluido en el CD anexo a las memorias.

## **ANEXO C. Manual de Ensamble, Operación y Mantenimiento**

Incluidos en el CD anexo a las memorias.

Bucaramanga, Enero 28 de 2008.

Señores

**COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO**

Escuela de Ingeniería Mecánica

Universidad Industrial de Santander

Apreciados señores

En vista de que se han cumplido todos los objetivos planteados, hago entrega del trabajo de grado titulado "**SISTEMA MULTIESTACIONES PARA EL ACONDICIONAMIENTO DE LOS GRUPOS MUSCULARES EJERCITABLES**", elaborado por los estudiantes **Diego Armando Rodríguez Wolff** Código 1982448 y **Juan Carlos Gómez Corredor** Código 1952814, para su respectiva sustentación y calificación.

Atentamente,

**JAVIER RUGELES PÉREZ**

Director del Trabajo de Grado