



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la**

**Producción**

"Reingeniería de proceso de pruebas de torres eléctricas

en banco de prueba"

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

Examen Complexivo

Previo la obtención del Título de:

**INGENIERO INDUSTRIAL**

Presentado por:

Tommy Douglas Leyton Luna

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2016

## AGRADECIMIENTO

A Dios por ser mi guía y mi ayuda para seguir adelante.

A mis Padres que hicieron posible mi educación y me guiaron en cada momento de mi vida.

A mi Jefe que colaboró y me dio la apertura para la realización de este TFG.

A mi novia y amigos que de una u otra manera colaboraron con la realización de este TFG.

# DEDICATORIA

A DIOS

A MIS PADRES

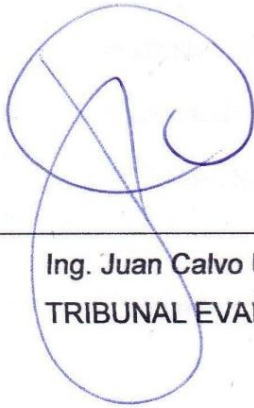
A MI JEFE

A MI NOVIA

A MIS AMIGOS

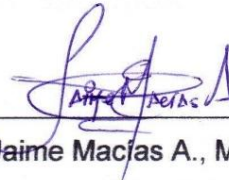
DECLARACION EXPERTA

TRIBUNAL EVALUADOR



---

Ing. Juan Calvo U., M.Sc.  
TRIBUNAL EVALUADOR



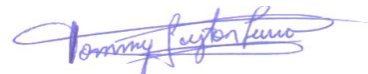
---

Ing. Jaime Macjas A., M.Sc.  
TRIBUNAL EVALUADOR

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de Examen Complexivo me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



---

Tommy Douglas Leyton Luna

## RESUMEN

Una empresa metalmecánica ecuatoriana vio la necesidad de mantener su competitividad frente a la empresa local y extranjera, para ello necesita reducir su tiempo de ciclo en el proceso al 50% de pruebas de torres eléctricas en banco de prueba y tecnificar la instrumentación del banco para poder competir.

Para ello se hizo una reingeniería del proceso mencionado que: comenzó con la fase de ingeniería y diseño de la torre prototipo a probar en el banco para lo cual se estandarizó los elementos de acero de la torre para tener menor número de ítems a producir, fabricación de torres prototipo en una máquina CNC de control numérico, adecuaciones en el banco de prueba en el cual se cambió de un sistema análogo a uno digital, instalación torre prototipo y accesorios en banco, pruebas de carga, desinstalación e inspección de torre prototipo.

Luego de la implementación de este proyecto se determinó que se redujo el tiempo de ciclo de 6 meses a 84 días y se tecnificó el banco de prueba con instrumentación de primera línea.

Como conclusión la ejecución de este proyecto es favorable y le da un valor agregado y competitividad a esta empresa metalmecánica ecuatoriana de nivel mundial.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	V
SIMBOLOGÍA	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE PLANOS	X
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	
1. ANTECEDENTES	2
1.1. Objetivos	4
1.2. Alcance	4
1.3. Metodología	5
CAPÍTULO 2	
2. ANÁLISIS DEL PROCESO ACTUAL	6
2.1. Descripción del proceso actual	6
2.2. Diagrama y análisis de valor del proceso actual	15
2.3. Análisis de operaciones del proceso actual	16

### CAPÍTULO 3

3.	DISEÑO DEL NUEVO PROCESO PRODUCTIVO	22
3.1.	Determinación de requerimientos técnicos	22
3.2.	Análisis financiero	35
3.3.	Medición de resultados	37

### CAPÍTULO 4

4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	38
4.1.	Conclusiones	38
4.2.	Recomendaciones	39

### APÉNDICES

### BIBLIOGRAFÍA



## **ABREVIATURAS**

ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral

ASTM American Society for Testing and Materials

VPN Valor Presente Neto

CNC Máquina Control Numérico

TFG Trabajo Final de Graduación

SAP2000 Programa de Cálculo Estructural

ASCE 10-97 American Society of Civil Engineers

AUTOCAD Programa de dibujo asistido por computadora

ASME American Society of Mechanical Engineers

PLC Programmable Logic Controller

EPP Equipo Protección Personal

## SIMBOLOGÍA

mm	Milímetro
m	Metro
Ton	Tonelada
Kg	Kilogramo
L	Ángulo
PL	Platina
$FE_t$	Flujo de efectivo en el año $t$ (0 al 5)
$r$	Tasa de corte real o ajustada
$r'$	Tasa de corte ajustada

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Cadena de valor empresa HM	7
Figura 2.2. Máquina CNC	8
Figura 2.3. Banco de prueba	11
Figura 2.4. Estación de control	12
Figura 2.5. Torre instalada banco	12
Figura 2.6. Dinamómetro	13
Figura 2.7. Data Logger	13
Figura 2.8. Elementos del análisis de operaciones	17
Figura 3.1. Diseño torre prototipo	23
Figura 3.2. Fabricación torre en máquina CNC	24
Figura 3.3. Estación de control	24
Figura 3.4. Base de hormigón para anclaje tecles	25
Figura 3.5. Tecele eléctrico 1Ton.	25
Figura 3.6. Celdas de carga	26
Figura 3.7. Convertidor señal	26
Figura 3.8. PLC	27
Figura 3.9. Polipastos	27
Figura 3.10. Sistema monitoreo	28
Figura 3.11. Estación total	28
Figura 3.12. Programa para control prueba	29
Figura 3.13. Esquema de ubicación de anclaje	30

Figura 3.14. Esquema ubicación de accesorios 1	31
Figura 3.15. Esquema ubicación de accesorios 2	32
Figura 3.16. Torre y banco listo	34

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Símbolos estándares para diagramas de proceso	15
Tabla 2 Análisis de valor del proceso de prueba	16
Tabla 3 Lista de comprobación del análisis de operaciones	18
Tabla 4 Resumen presupuesto de inversión	35
Tabla 5 Flujo efectivo proyectado	35
Tabla 6 Tabla de resultados	37

## **ÍNDICE DE PLANOS**

PLANO 1 PLANO EXTENSIÓN 6M BANCO PRUEBA

PLANO 2 PLANO VIGAS MÓVILES BANCO PRUEBA

## **INTRODUCCIÓN**

El desarrollo del siguiente TFG abarca principalmente lo siguiente:

En el capítulo 1 se describe los antecedentes de la empresa así como los objetivos, alcance y metodología empleada para la ejecución del presente proyecto.

En el capítulo 2 se realizará un análisis actual del proceso, para determinar su cadena de valor y que procesos deben mejorarse y tecnificarse para dar cumplimiento a los objetivos del proyecto mediante un análisis de operaciones.

Con estos antecedentes, en el capítulo 3 se realizará un nuevo diseño productivo para determinar todos los requisitos técnicos a implementarse y poder reducir sus tiempos y mejorar su productividad. Se hará también un análisis financiero para determinar su factibilidad y por último se hará una medición de los resultados luego de la implementación del proyecto.

Finalmente en el capítulo 4 se dará las respectivas conclusiones y recomendaciones del nuevo diseño propuesto.

# CAPÍTULO 1

## 1. ANTECEDENTES

La organización en la que se realizó este trabajo es una empresa que se dedica principalmente a la construcción metalmecánica, especializada en la línea de diseño, cálculo, fabricación, pruebas y montaje de estructuras metálicas en diversos campos para empresas públicas y privadas. Para efectos de este informe y con el fin de preservar la confidencialidad de la información que se manejó, de ahora en adelante se denominará simplemente “EMPRESA HM”.

La empresa fue fundada en el año de 1993 con el objetivo principal de contribuir al desarrollo industrial del Ecuador, y cubrir con las exigencias del mercado, incorporando maquinarias de alta tecnología como es la máquina de control numérico computarizado CNC y además cuenta con un personal altamente responsable y profesional lo que ha llevado a mantener esta empresa adelante hasta la actualidad.

De acuerdo a los reportes de venta de la empresa desde el inicio de sus operaciones, se estima que se ha realizado más de 900 torres eléctricas, 45 subestaciones eléctricas, 230 torres telefónicas de diversos tipos, entre otros trabajos metalmecánicos.



En el año 2002 el departamento técnico desarrollo un banco de prueba para torres, condición necesaria para ganar proyectos eléctricos ya que el cliente requería que se haga prueba de carga real a una torre prototipo del lote de producción, en ese entonces no existía banco de prueba y fue la primera empresa en hacerlo, en la actualidad todavía no hay empresas ecuatorianas que tengan banco para probar torres, solo en América latina lo tiene Brasil y Venezuela.

En la actualidad dado a la globalización del mercado, se están trayendo torres de la China ya que ellos tienen banco de prueba con la última tecnología, pero a un plazo como mínimo de 6 meses.

La empresa HM tuvo la necesidad de mantener su competitividad frente a la empresa local y extranjera, para ello se necesita reducir su tiempo de ciclo en el proceso al 50% de pruebas de torres eléctricas en banco de prueba y tecnificar la instrumentación del banco para poder competir. En Ecuador existe la preferencia por agregado nacional y producto hecho en Ecuador, lo que le da a la empresa HM una ventaja de ser nacional.

## **1.1. OBJETIVOS**

El objetivo general de la presente TFG es realizar un proyecto de reingeniería de proceso de pruebas de torres eléctricas en banco de prueba para la empresa HM, con el fin de mejorar su competitividad; para lograrlo, se debe alcanzar los siguientes objetivos específicos:

- Analizar el proceso productivo actual para determinar los procesos a mejorarse.
- Realizar el diseño del nuevo proceso productivo.
- Medir la productividad del proyecto implementado.

## **1.2. ALCANCE**

El alcance del presente TFG solo se enfocará en el proceso de pruebas de torres eléctricas, en banco de pruebas, que comienza con la fase de ingeniería y diseño de la torre prototipo a probar en el banco, fabricación de torres prototipo en una máquina CNC de control numérico, instalación torre prototipo y accesorios en banco, pruebas de carga y termina con la desinstalación e inspección de torre prototipo.

### 1.3. METODOLOGÍA

Para la elaboración del TFG se ha seguido el esquema básico del método científico tradicional a partir del análisis detallado del problema y de la aplicación de varias herramientas de ingeniería industrial hasta la determinación y evaluación de la solución al problema, para lo cual fue necesario realizar lo siguiente:

- a) Recopilación de información, para lo cual se realizó:
  - Entrevistas al personal administrativo y operativo de la compañía.
  - El estudio del proceso de producción mediante visitas a la planta de producción de estructura.
  - Literatura de libros, revistas e información electrónica relacionada al proyecto.
- b) Desarrollo de la tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información recopilada.

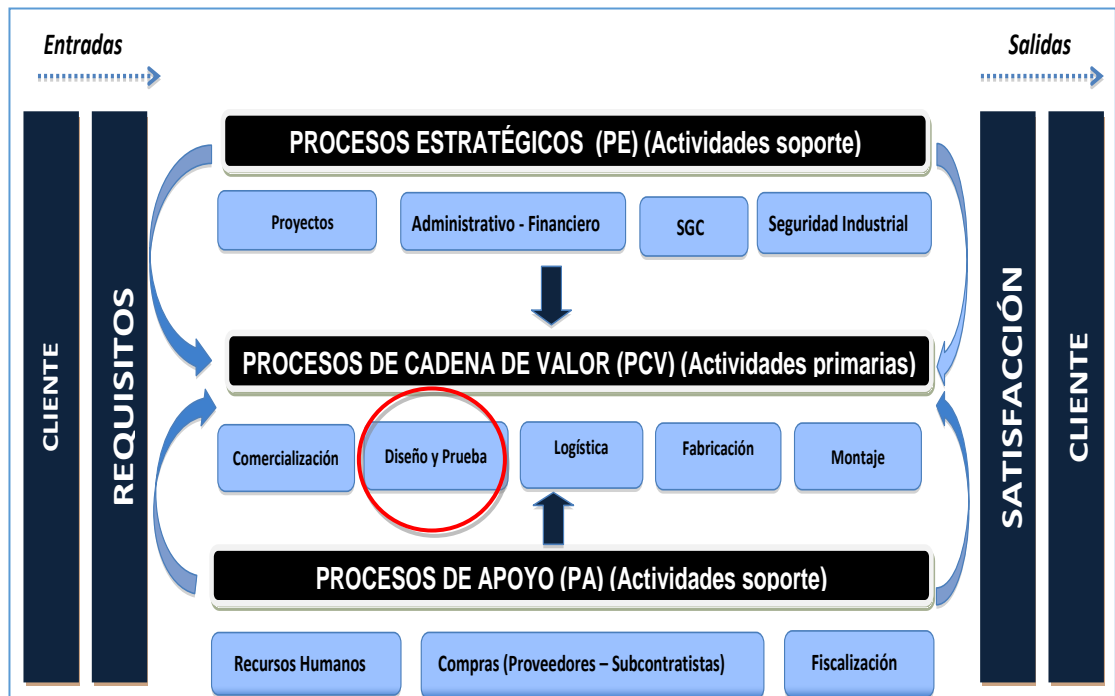
# CAPÍTULO 2

## 2. ANÁLISIS DEL PROCESO ACTUAL

En el presente capítulo se analizará el proceso actual para determinar en qué etapas se puede realizar cambios para mejorar la competitividad de la compañía. Por lo tanto, se describirá el proceso actual. Consecuentemente se diagramará y hará un análisis de valor de las actividades del proceso para finalizar con la realización de un análisis de operaciones.

### 2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO ACTUAL

El proceso de pruebas de torres eléctricas en banco de prueba de la empresa HM forma parte de la Cadena de Valor mostrada en la Figura 2.1, la misma que fue desarrollada clasificando las actividades que se realiza en la empresa en actividades primarias y de soporte. Las actividades primarias son aquellas que están relacionadas con la creación física del producto, su comercialización, Diseño y pruebas, logística, Fabricación y montaje de estructuras metálicas. Estas actividades son apoyadas por la dirección administrativa e infraestructura de la organización.



**Figura 2.1. Cadena de valor empresa HM**

A continuación se describe los subprocessos del proceso mencionado:

### 1) Ingeniería y Diseño de torre prototipo:

Según los requerimientos del cliente y sus especificaciones técnicas de la torre eléctrica a diseñar, el departamento de ingeniería y diseño procede al cálculo estructural de la torre prototipo, los cuales se hace una silueta de la torre y se asigna materiales en un modelo matemático del programa SAP2000, una vez realizada el diseño en SAP2000 se procede a hacer los planos estructurales en el programa AUTOCAD en donde se dimensiona todos los elementos tomando en consideración las normas de diseño ASCE 10-97, a cada elemento se lo designa con una codificación para realizar en Excel el inventario respectivo de todos los

elementos son sus pesos, pernos y accesorios, en promedio hay 200 ítems. Toda esta información se hace una memoria técnica junto con los planos a aprobación de cliente para posterior fabricar torre prototipo. El tiempo promedio es de 10 semanas.

## 2) Fabricación de torre prototipo:

Una vez aprobado los diseños, el departamento de compra y logística coordina la compra y entrega de todo el acero para la fabricación de la torre prototipo.

La fabricación se lo realiza mediante una máquina de control numérico CNC que se describe a continuación, figura 2.2:



**Figura 2.2. Máquina CNC**

- El operador de la máquina CNC recibe la orden de producción firmada por el Jefe de Producción de las diversas piezas de las estructuras junto con los archivos de las piezas programadas en el software de máquina CNC.

- El operador de la máquina CNC procede a ejecutar su orden de producción siguiendo el orden de los materiales, según su prioridad e importancia para reducir desperdicios especificados en la orden, la cual cuenta con combinaciones bien definidas de piezas de las estructuras según tipo de perfiles utilizados.
- Ingresar archivos de las piezas en el computador de la máquina organizados por el nombre de la estructura y códigos de las mismas.
- Realiza combinaciones de piezas que se especifican en las órdenes.
- El ayudante ingresa el material en los rieles de la máquina teniendo como restricciones la longitud y ancho de las caras de los perfiles tipo L y PL que no pueden ser menor a 1500mm y superior a 160mm respectivamente y cambia tipo de punzones, dados y marquillas según la orden de producción.
- La máquina CNC comienza con el proceso automatizado de fabricación el cual es el siguiente:
  - Medición longitudinal de material (también se lo puede hacer manual para agilizar proceso).
  - Proceso de marcado a bajo relieve para identificar el elemento producido.
  - Proceso de Punzonado en el eje y del perfil mediante prensa hidráulica.

- Proceso de Punzonado en el eje z del perfil mediante prensa hidráulica.
- Proceso de corte del perfil mediante prensa hidráulica
- El ayudante procede a ordenar las piezas producidas según el código en el área de almacenamiento temporal.
- El supervisor de producción junto con el operador de la máquina efectúa control dimensional del elemento producido este conforme a los planos de fabricación para ello se llena un formato de control de calidad de producción, una vez aprobado el elemento se efectúa la fabricación del resto de elementos de la orden.

El tiempo promedio es de 4 semanas.

### 3) Banco de pruebas:

Está constituido por lo siguiente:

**BANCO.-** está constituido por una estructura metálica galvanizada de 30m de altura, en forma de pórtico cuadrado como se visualiza en figura 2.3, con vigas fijas en donde se alojarán tecles mecánicos para transferir cada punto de aplicación de carga. La torre prototipo se alojará en el centro de la estructura, que está construida por una cimentación de hormigón armado en forma simétrica entre sí, en donde se alojan vigas laminadas en calientes para el anclaje de la torre mediante zapatos.





**Figura 2.3. Banco de prueba**

***ESTACION DE CONTROL.-*** escritorio con vista al banco de pruebas en donde se visualiza y se registra cada punto de aplicación y lectura de las cargas aplicadas a la torre prototipo mediante dinamómetros y se visualiza el comportamiento de la torre cuando está sometida a las cargas de diseño, como se aprecia en figura 2.4.



**Figura 2.4. Estación de control**

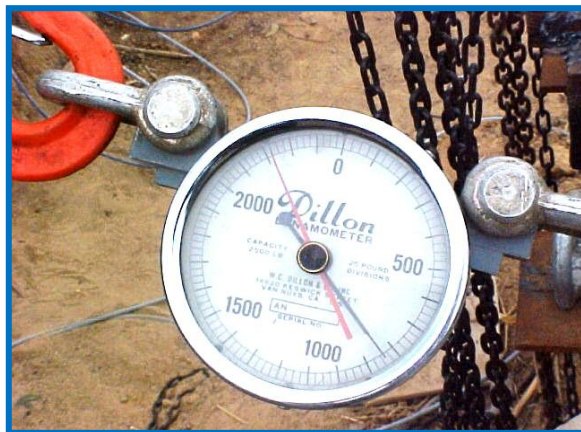
**4) Instalación de torre prototipo y accesorios en banco de prueba:**

- Se instala la torre prototipo en el banco de prueba, desde su base hasta la cúpula como se muestra en la figura 2.5.

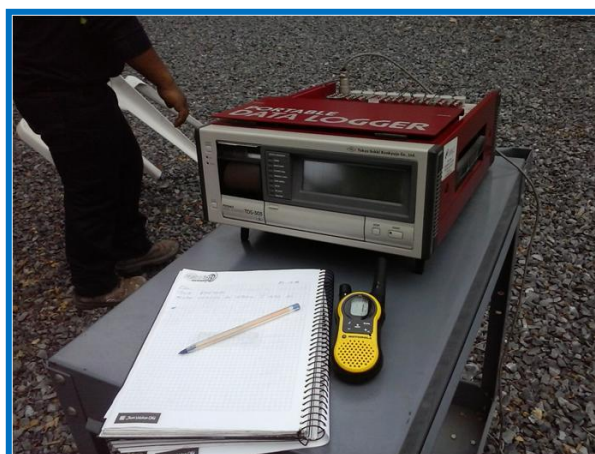


**Figura 2.5. Torre instalada banco**

- Se procede a hacer torque de pernos y se elabora reporte de inspección del ensamble de las torres prototipo en el taller.
- Se procede a instalar en cada punto de la torre grilletes en donde se atarán cables que se sujetarán los dinamómetros y tecles mecánicos alojados en las vigas fijas del banco de prueba, adicional una celda de carga tipo cilindro con strain gauge conectada a un Data Logger que se localiza en la estación de control como se muestra en la figura 2.6 y 2.7.



**Figura 2.6. Dinamómetro**



**Figura 2.7. Data Logger**

- Se coloca una regleta al final de la torre para visualizar la deflexión mediante dos teodolitos.
- Se prueba cada soporte y ensayo al 30% para comprobar el sistema  
El tiempo promedio es de 4 semanas.

#### **5) Prueba de carga en torre prototipo:**

El cliente selecciona mediante un Protocolo de prueba el estado de carga a probar en el banco es de potestad del cliente probar uno o todos los casos de carga en la torre, por lo general se selecciona el más crítico y se ejecutara de la siguiente manera:

Las cargas serán aplicadas en forma secuencial hasta llegar a la carga deseada, y será reportado en el formulario de tabla de cargas.

La prueba de carga de ensayo será probado al 50%, 75%, 90%, 95% y 100% y una vez se ha alcanzado cada porcentaje se mantiene y comienza a contar el reloj del programa durante cinco (5) minutos sin variación, luego de lo cual se pasará al siguiente porcentaje. El tiempo promedio es de 3 semanas.

#### **6) Desinstalación e inspección de torre prototipo:**

Se procede a desmontar la torre de prueba y se inspecciona los elementos estructurales que no han sufrido deformaciones y se elabora el reporte de inspección de los elementos de las torres prototipo.



Este proceso se demora 3 semanas.

Una vez aprobada la torre se empieza por la fabricación en serie del lote de torres del cliente.

## 2.2. DIAGRAMA Y ANÁLISIS DE VALOR DEL PROCESO ACTUAL






Una vez descrito el proceso actual se procederá a la diagramación y análisis de valor. Para la diagramación se utilizará el diagrama de proceso.

Se tiene el diagrama de proceso que permite identificar las actividades del proceso en 5 grupos: Operaciones, transportes, demoras, inspecciones y almacenamiento, las mismas que son representadas por los símbolos definidos por la ASME (American Society of Mechanical Engineers) en 1972.

En la Tabla 1 se muestra el conjunto estándar de símbolos para diagramas de proceso según la ASME.

**TABLA 1**

### SÍMBOLOS ESTÁNDARES PARA DIAGRAMAS DE PROCESO

Símbolo	Tipo de actividad	Descripción
	Operación	Se produce o efectúa algo
	Transporte	Se cambia de lugar o se mueve
	Inspección	Se verifica calidad o cantidad
	Demora	Se interfiere o retrasa
	Almacenamiento	Se guarda o protege

En el Apéndice D.1 se muestra el diagrama de proceso actual.

El diagrama de procesos también permite realizar el análisis de valor, el cual consiste en clasificar las actividades que agregan valor (operaciones) de las actividades que no lo agregan (transporte, inspección, demora, almacenamiento). En la Tabla 2 se muestra el análisis de valor, donde se puede observar que las operaciones (actividades que agregan valor) representan respectivamente el 63% de las actividades.

**TABLA 2**  
**ANÁLISIS DE VALOR DEL PROCESO DE PRUEBA**

Simbología	Tipo de actividad	Cantidad	
		Cantidad	Porcentaje
	Operación	10	63%
	Transporte	1	6%
	Inspección	3	19%
	Demora	0	0%
	Almacenamiento	2	13%
<b>TOTAL</b>		<b>16</b>	<b>100%</b>

### 2.3. ANÁLISIS DE OPERACIONES DEL PROCESO ACTUAL

El enfoque del análisis de operaciones está compuesto por 10 elementos de análisis que se muestra en la Figura 2.8.



**Figura 2.8. Elementos del análisis de operaciones**

Para realizar el análisis de operaciones se utilizó una lista de comprobación y se evaluaron los elementos de análisis con la ayuda de la información investigada en la bibliografía y la proporcionada por el personal administrativo y operativo de la empresa, tal como se muestra en la Tabla 3.

TABLA 3

## LISTA DE COMPROBACIÓN DEL ANÁLISIS DE OPERACIONES

Preguntas	Respuestas		Notas
	Si	No	
<b>(1) Finalidad de la operación</b>			
¿Puede eliminarse alguna operación?		X	Todas las operaciones son necesarias.
¿Se puede variar el orden de las operaciones?		X	Se requiere hacer primero diseño para fabricar y probar
<b>(2) Diseño del producto</b>			
¿Se puede variar el diseño del producto?	X		Se podría estandarizar los elementos de las torres para tener el menor número de piezas e ítems a producir, y cambiar diseño de aplicación y medición de cargas en el banco de prueba
<b>(3) Tolerancias</b>			
¿Son las tolerancias del producto las adecuadas?	X		Las tolerancias del producto (peso, cargas, dimensiones, deflexiones) sí son las adecuadas.
¿Los instrumentos de medición de las tolerancias son los adecuados?		X	Los instrumentos de medición y aplicación de carga habría que actualizarlos, de analógicos a digitales.
<b>(4) Materiales</b>			
¿Pueden sustituirse los que se utilizan por otros más baratos?		X	Todos los materiales son de acuerdo a las especificaciones del cliente
¿Se recibe el material con características uniformes y están en buenas condiciones al llegar al operario?	X		Los materiales llegan en buenas condiciones y cumplen con las exigencias del cliente



Preguntas	Respuestas		Notas
	Si	No	
¿Se utilizan completamente los materiales?		X	Según diseño quedan retazos de materiales que están entre el 3 al 6% del total del pedido y son reutilizados para otro cliente, y la operación genera un scrap como máximo del 3% que se chatarriza.
¿Podría reducirse el almacenamiento del material?		X	Se pide el material necesario más un 6% adicional para stock, ya que son materiales importados
<b>(5) Manejo de materiales</b>			
¿Se pueden reducir el número de manipulaciones?	X		Automatizando el proceso de medición y aplicación de carga mediante teclés eléctricos y celdas de cargas
¿Existe retraso en la entrega de materiales en la línea de producción?		X	Los materiales son entregados a tiempo en la línea de producción.
¿Se puede reducir el transporte y el número de transportadores?	X		Reduciendo los ítems de la torre para tener menor cantidad de lotes de producción
¿Son adecuados el equipo de transporte que se utiliza?		X	Para el proceso de instalación y desinstalación de la torre se usa poleas manuales para transportar las piezas a la altura deseada, se recomienda cambiarlos con teclé eléctrico para agilizar el proceso y reducir tiempos
<b>(6) Procesos de manufactura</b>			
¿Existen operaciones que pueden hacerse más económicamente a mano o máquinas?		X	Las operaciones manuales son más demoradas, peligrosas.
¿Se puede reducir el tiempo improductivo?	X		Reemplazando los equipos antiguos por equipos nuevos. Reduciendo los tiempos de preparación de los equipos.
¿Las máquinas y equipos que se utilizan son adecuados para el proceso?		X	Algunos equipos están tecnológicamente desactualizados como los dinamómetros y teclés manuales, medidor de señal Data Logger
¿Existen procesos defectuosos?		X	Existen algunas máquinas y equipos que ya cumplieron su vida útil y que constantemente requieren mantenimiento correctivo como teclés manuales.

Preguntas	Respuestas		Notas
	Si	No	
¿Los controles del proceso son los adecuados?		X	La mayor parte del control del proceso es realizada manualmente, por lo que se genera mucho papeleo, se requeriría que sea digital mediante un PLC
¿Se puede mejorar los controles del proceso?	X		Automatizando varios procesos mediante PLC (controladores lógicos programables).
¿Se puede aumentar la calidad del producto modificando factores físicos o químicos del proceso?	X		<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Estandarizando los elementos de la torre para tener un diseño más homogéneo y menor ítems</li> <li>2) Modificando las vigas del banco de prueba de fijas a móviles</li> <li>3) Redistribución de cargas del banco a nuevas bases, mediante poleas para reducir fátiga del material del banco.</li> <li>4) Cambiando el sistema de medición a uno digital mediante celdas de carga</li> <li>5) Cambiar el sistema de aplicación de carga a uno automático mediante teclé eléctrico y PLC</li> <li>6) Monitorear todo el sistema con PLC y cámaras filmadoras</li> </ol>
<b>(7) Herramientas y accesorios</b>			
¿Son las adecuadas para el trabajo?	X		En la planta no existe problema con las herramientas y accesorios que se utilizan ya sea para el montaje y preparación de la maquinaria.
¿Tiene el operario el número suficiente de herramientas?	X		Cada operador tiene su juego herramientas para realizar la preparación de la maquinaria para los cambios de lotes de producción o para realizar el mantenimiento de la misma.
<b>(8) Preparación y montaje de maquinaria</b>			
¿Puede el operador montar y/o preparar su propia máquina?	X		Cada operador de la planta está capacitado para montar y preparar su propia máquina.
¿Se puede reducir el número de montajes y preparaciones?	X		Reduciendo el número de ítems a producir en el diseño de la torre

Preguntas	Respuestas		Notas
	Si	No	
<b>(9) Condiciones de trabajo</b>			
¿Es adecuada la iluminación y ventilación?	X		En la planta no existe problema con la iluminación y la ventilación.
¿Los operarios usan equipos de protección personal?		X	Los operarios del banco no cuentan con el equipo adecuado, se le debe proveer todo el EPP necesario
¿Existe limpieza y orden en el lugar de trabajo?	X		Diariamente antes de cerrar la jornada laboral se hace aseo en cada área.
¿Los tiempos de descanso son los adecuados?	X		Los operadores pueden descansar durante una hora en cada turno de trabajo.
<b>(10) Distribución del equipo en planta</b>			
¿El tipo de distribución del equipo en planta es el adecuado para la producción?		X	Los tecles manuales que están en las vigas a gran altura que dificulta su control, para ello se plantea tenerlos todos a nivel del piso.
¿Se pueden juntar equipos similares?	X		Los equipos de medición y carga se tienen junto a nivel del piso para un mejor control de instalación y monitoreo.

# CAPÍTULO 3

## 3. DISEÑO DEL NUEVO PROCESO PRODUCTIVO

En los dos capítulos anteriores se definió los principales requerimientos del nuevo proceso de pruebas, por lo que el presente capítulo tiene como objeto desarrollar un nuevo proceso reduciendo el tiempo del proceso para ser más productivos.

### 3.1. DETERMINACIÓN DE REQUERIMIENTOS TÉCNICOS

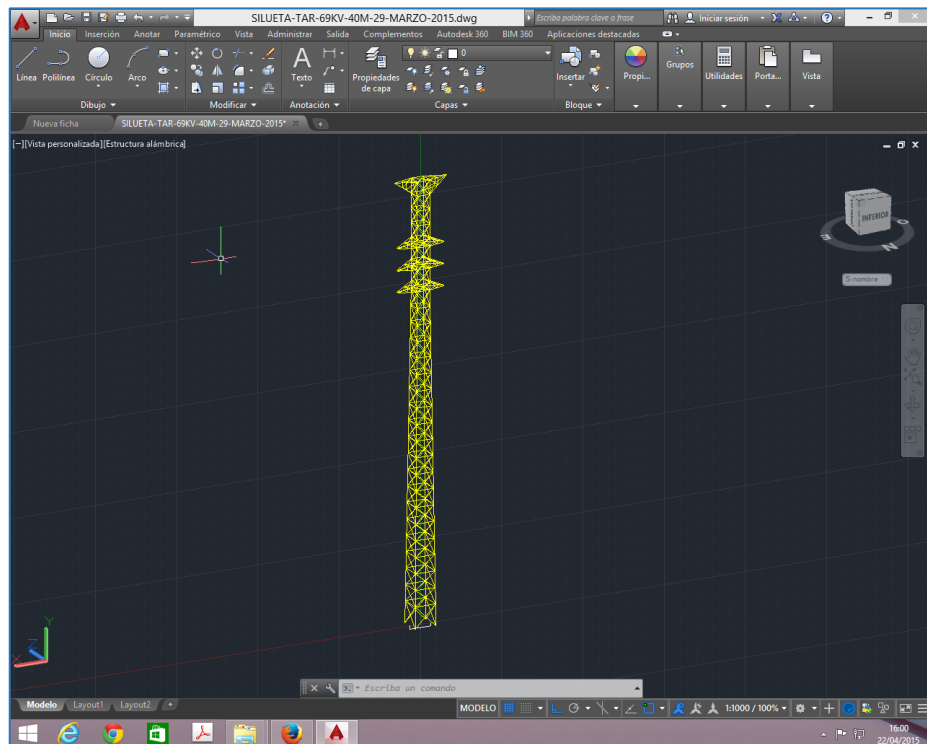
La capacidad actual real del proceso de prueba es de 1 torre / 6 meses, se requiere aumentar la capacidad a 1 torre probada / 3 meses, es decir reducir su tiempo estándar al 50%.

Una vez determinada la capacidad de diseño requerida y teniendo en cuenta los cambios a realizarse en el proceso productivo según el análisis de operaciones realizado en el capítulo 2, se procedió mediante una serie de reuniones con el equipo del proyecto, la determinación de los requerimientos técnicos de las maquinarias, equipos y sistema de control a utilizarse:

#### 1) Ingeniería y Diseño de torre prototipo:

El nuevo proceso empieza con un diseño que utilizará plantilla de todos los elementos de la torre como bloque en AUTOCAD, estandarizando sus dimensiones, ejes, distancias, según las normas y requerimientos de

fabricación y haciendo todos los elementos simétricos, con ello se reducirá el número de ítems de la torre de 200 a 80 ítems, ejemplo mostrado en figura 3.1. El tiempo promedio será de 7 semanas.



**Figura 3.1. Diseño torre prototipo**

## **2) Fabricación de torre prototipo:**

Se fabricará la torre prototipo en CNC mostrada en la figura 3.2. Con un número de ítems reducido de 200 a 80, se obtendrá un 60% menos en tiempo de preparación de máquina, tiempo de medición e inspección de cada lote, los lotes de producción serán más largos. El tiempo promedio será de 2 semanas.

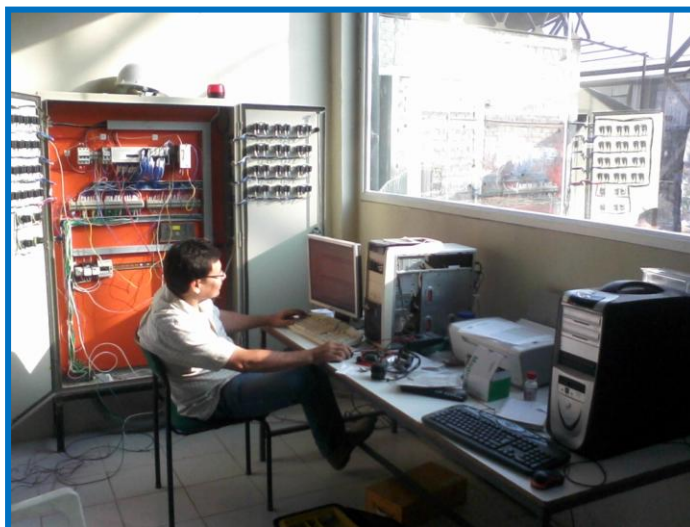


**Figura 3.2. Fabricación torre en máquina CNC**

### **3) Banco de pruebas:**

Se realizará adecuaciones al banco de prueba tales como:

- Se aumentará la altura 6m para cumplir los requerimientos de torres actuales, ver PLANO 1 “Plano extensión 6m banco prueba”
- Se construirá cuarto de estación de control como la figura 3.3.



**Figura 3.3. Estación de control**

- Se construirá vigas móviles en vez de vigas fijas, ver PLANO 2. “Plano viga móvil banco prueba”.
- Se hará bases de hormigón para anclaje de tecles al piso como la mostrada en la figura 3.4.



**Figura 3.4. Base de hormigón para anclaje tecles**

- Se comprará los siguientes equipos:
  - 24 Tecles eléctricos de 1 ton, figura3.5.



**Figura 3.5. Tecla eléctrica 1 ton.**



- 34 Celdas de cargas calibradas para las lecturas, figura 3.6.



**Figura 3.6. Celdas de carga**

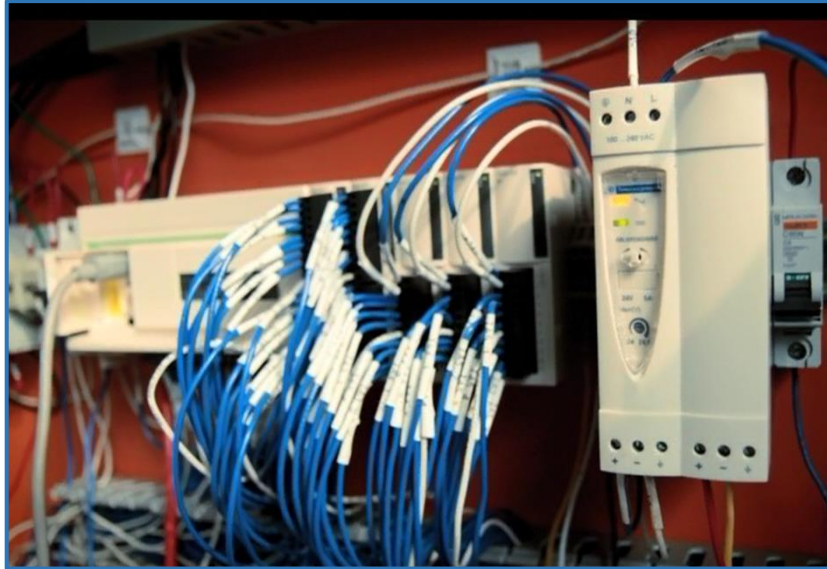
- 34 Convertidor de señal para celdas de cargas, figura 3.7.



**Figura 3.7. Convertidor señal**



- 1 PLC para lectura de cargas y control de tecles, figura 3.8.



**Figura 3.8. PLC**

- Polipastos de 2, 4 y 6 poleas para reducir el esfuerzo necesario para obtener las cargas de prueba en cada caso, figura 3.9.



**Figura 3.9. Polipastos**

- Un sistema de monitoreo para filmar y visualizar comportamiento de la torre prototipo, figura 3.10.



**Figura 3.10. Sistema monitoreo**

- Dos estaciones total mostrada en la figura 3.11. para las deflexiones producidas por las cargas de prueba en dirección transversal y paralela a la línea de transmisión.



**Figura 3.11. Estación total**

- Un programa especializado para controlar la prueba de carga y monitorear todo el proceso mostrada en la figura 3.12.

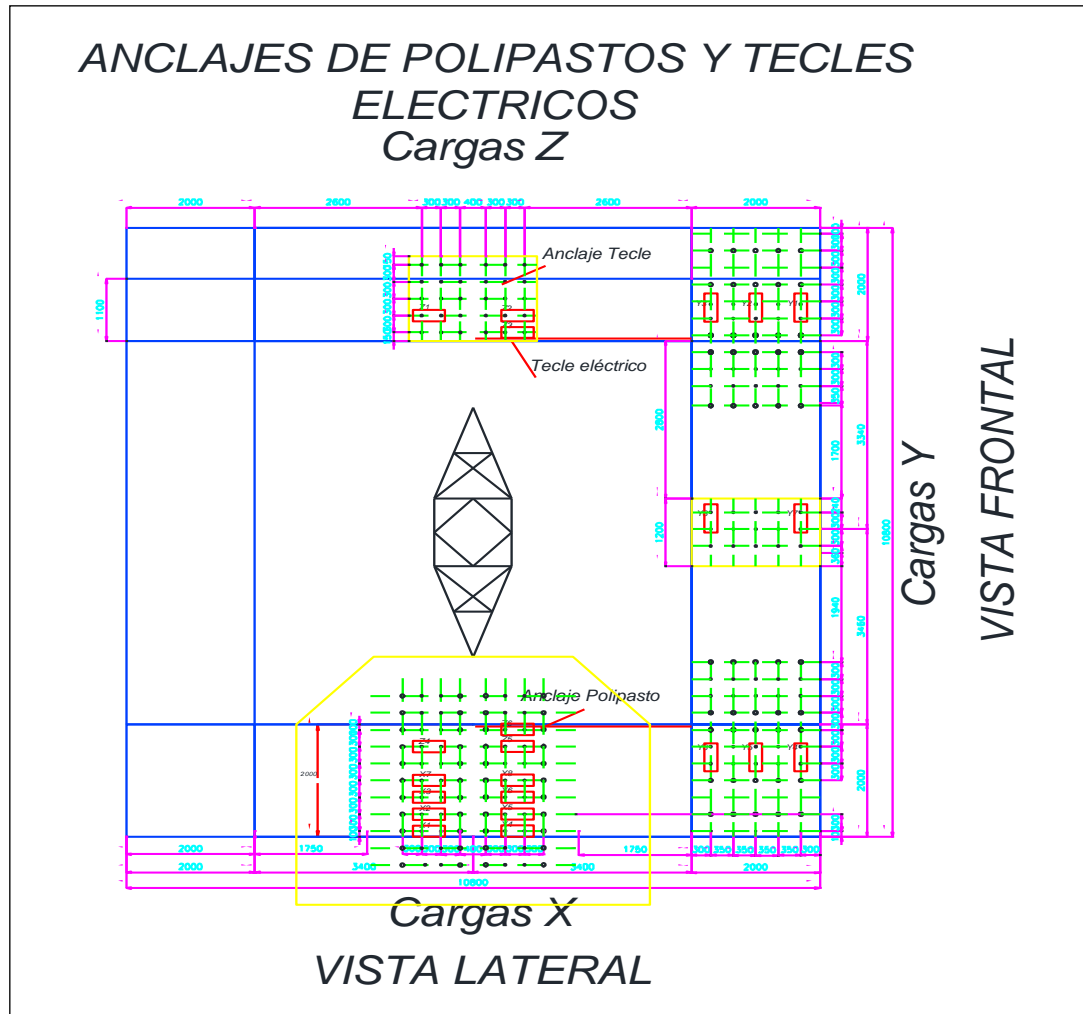


Figura 3.12. Programa para control prueba

#### 4) Instalación de torre prototipo y accesorios en banco de prueba:

Se instalará la torre prototipo en el banco de prueba, desde su base hasta la cúpula utilizando tecele eléctrico y EPP adecuado para el personal.

Se instalará en cada punto de la torre grilletes en donde se atarán cables que pasaran por poleas que están alojados en las vigas móviles del banco de prueba, siguiendo la figura 3.13, 3.14 y 3.15.



**Figura 3.13. Esquema de ubicación de anclaje**

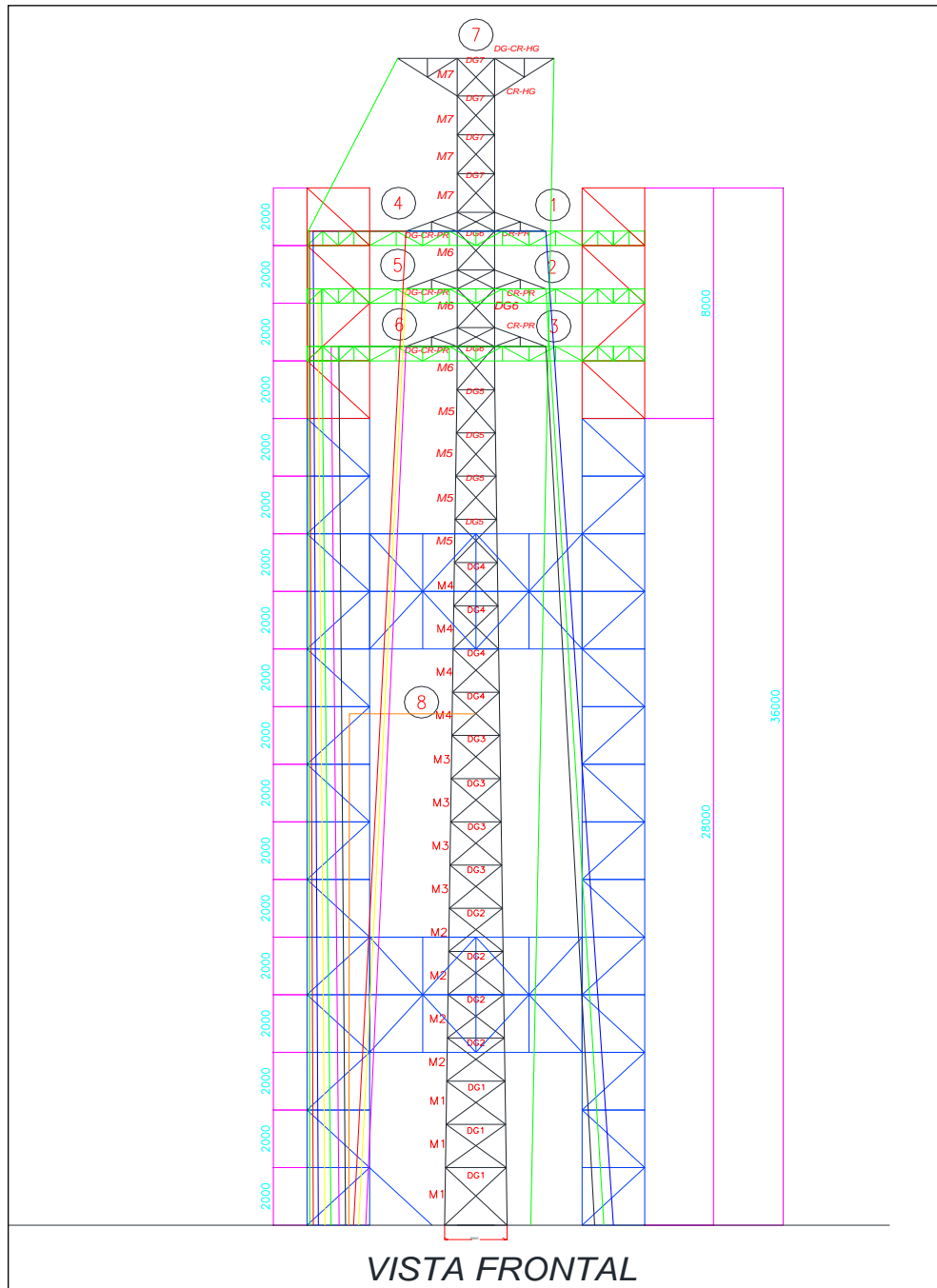


Figura 3.14. Esquema ubicación de accesorios 1

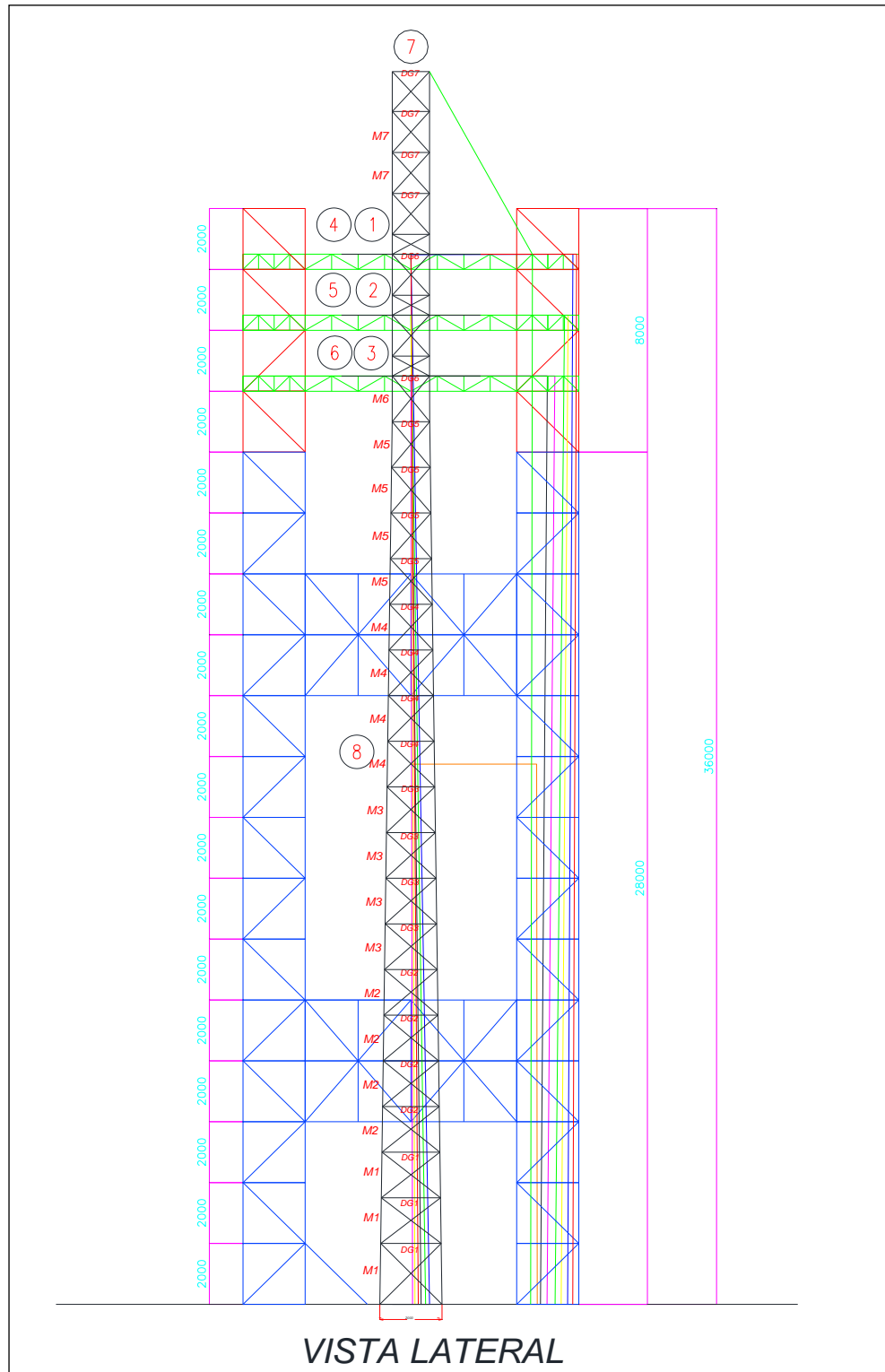


Figura 3.15. Esquema ubicación de accesorios 2

En cada punto se alojará la celda de carga y cada cable pasará por un polipasto de 2, 4 ó 6 poleas según la intensidad de la carga a aplicarse y luego bajará hasta la cimentación donde estarán los teclés eléctricos para aplicar los esfuerzos resultantes por su reducción en el polipasto. El tiempo promedio es de 2 semanas.

#### **5) Prueba de carga en torre prototipo:**

Luego de instalar torre prototipo como se muestra en la figura 3.16, se ejecutará de la siguiente manera:

- a. Cada celda de carga estará conectada por un cable conductor a un convertidor de señal, luego pasa al PLC y de allí al computador en donde se visualiza los puntos de aplicación de cargas mediante un software especializado para aquello.
- b. Las cargas serán aplicadas en forma automatizada mediante el control del mismo en el computador en donde se envía la señal a cada teclé eléctrico según la carga que se debe aplicar, el mismo que será reportado en el formulario de tabla de cargas en Kg que se visualiza en el computador.
- c. La prueba de carga de ensayo será probado al 50%, 75%, 90%, 95% y 100% y una vez se ha alcanzado cada porcentaje se mantiene y comienza a contar el reloj del programa durante cinco (5) minutos sin variación, luego de lo cual se pasará al siguiente porcentaje.

El tiempo promedio será de 2 días.





**Figura 3.16. Torre y banco listo**

**6) Desinstalación e inspección de torre prototipo:**

Se procederá a desmontar la torre de prueba usando el mismo método de montaje y se inspeccionará los elementos estructurales que no han sufrido deformaciones y se elaborará el reporte de inspección de los elementos de las torres prototipo. El tiempo promedio será de 1 semana.



### 3.2. ANÁLISIS FINANCIERO

A continuación presentamos el resumen del presupuesto de inversión del nuevo proceso de pruebas en Tabla 4.

**TABLA 4**  
**RESUMEN PRESUPUESTO DE INVERSIÓN**

<b>Elementos de inversión</b>	<b>Costos (US\$)</b>
Obra civil banco de Prueba	\$ 18.500,00
Cuarto de estación de control	\$ 8.750,00
Obra mecánica de banco prueba	\$ 17.840,00
Obra eléctrica y electrónica banco de prueba	\$ 12.550,00
Equipos banco de prueba	\$ 45.000,00
Transportes e impuestos	\$ 8.520,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 111.160,00</b>

*Nota: El desglose de la tabla es confidencial de la empresa.*

Para su análisis financiero se elaboró flujo proyectado a 5 años para medir el VPN del nuevo proceso que se muestra en la Tabla 5.

**TABLA 5**  
**FLUJO EFECTIVO PROYECTADO**

<b>Descripción</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>
Utilidad Neta*	1.550.000	1.604.250	1.660.399	1.718.513	1.778.661
Depreciación inversión	22.232	22.232	22.232	22.232	22.232
Flujo de efectivo anual (con proyecto)	1.572.232	1.626.482	1.682.631	1.740.745	1.800.893
Flujo de efectivo anual (sin proyecto)*	-875.000	-905.625	-937.322	-970.128	-1.004.083
Flujo de efectivo incremental	697.232	720.857	745.309	770.617	796.810

*Nota: \*Proporcionado Dpto. financiero.*

Se considera que un proyecto de inversión es viable si el VPN es positivo.

La fórmula de cálculo es:

$$VPN = FE_0 + \frac{FE_1}{(1+r)} + \frac{FE_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{FE_n}{(1+r)^n} = \sum_{t=0}^n \frac{FE_t}{(1+r)^t}, \text{ donde:}$$

$FE_t$  Es el flujo de efectivo en el año  $t$  (0 al 5).

$r$  es la tasa de corte real o ajustada.

La tasa de corte real o rendimiento mínimo requerido por los accionistas para invertir es del 15%, pero como se ha considerado una tasa de inflación del 3.76% en las estimaciones anteriores de ingresos y egresos, se debe calcular la tasa de corte ajustada ( $r'$ ), aplicando la siguiente fórmula:

$$(1+r') = (1+r)(1+i) \Rightarrow r' = r + i + ir$$

Reemplazando los datos, se tiene que la tasa de corte ajustada es del 19.3%, la misma que se la utiliza en la fórmula de VPN en conjunto con los flujos de efectivos incrementales mostrados en la tabla 5, donde se obtiene un VPN positivo, el cual indica que el nuevo proceso es viable.

$$VPN = -111.160,00 + \frac{697.232}{1+0.193} + \frac{720.857}{(1+0.193)^2} + \dots + \frac{796.810}{(1+0.193)^5} = \$ 2.128.870$$

### 3.3. MEDICIÓN DE RESULTADOS

Luego de una reunión con la directiva de la empresa y exponer el nuevo proceso, la directiva aprobó la ejecución del mismo y del presupuesto. La implementación del mismo demoró 3 meses, tiempo en el cual una empresa Americana que ganó contrato con la refinería de Esmeraldas nos solicitó 2 torres eléctricas especiales con prueba de carga en banco de prueba, el cual nos sirvió para medir la capacidad real del nuevo banco, que se resume en los siguientes resultados en la Tabla 6.

**TABLA 6**  
**TABLA DE RESULTADOS**

No.	SUB-PROCESOS	TIEMPO INICIAL	TIEMPO MEJORADO	TIEMPO REAL MEDIDO
		(SEMANAS)		
1	Ingeniería y Diseño Torre prototipo	10,0	7,0	7,0
2	Fabricación torre Prototipo	4,0	2,0	2,0
3	Instalación Torre prototipo y accesorios	4,0	2,0	2,0
4	Prueba de carga Torre prototipo	3,0	0,3	0,1
5	Desinstalación e inspección de torre prototipo	3,0	1,0	0,9
<b>TOTAL</b>		<b>24,0</b>	<b>12,3</b>	<b>12,0</b>
<b>CAPACIDAD (Torre/mes)</b>		<b>0,17</b>	<b>0,33</b>	<b>0,33</b>
<b>INDICE DE PRODUCTIVIDAD ( Producción Observada / Producción estándar)</b>		<b>1,00</b>	<b>1,95</b>	<b>2,00</b>

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. CONCLUSIONES

Se analizó el proceso productivo actual, mediante el desarrollo del análisis de operaciones y se determinó los principales requerimientos técnicos del nuevo proceso tales como:

- Estandarizar los elementos de la torre para tener un diseño más homogéneo y menores ítems.
- Hacer adecuaciones al banco de pruebas modificando las vigas del banco de prueba de fijas a móviles, redistribuyendo las cargas del banco a nuevas bases mediante poleas para reducir fátiga del material del banco, cambiando el sistema de medición a uno digital mediante celdas de carga, cambiando el sistema de aplicación de carga a uno automático mediante teclé eléctrico y PLC.
- Mejorar el proceso de prueba mediante incorporación de nueva tecnología

Con todo aquello se hizo un presupuesto de inversión y análisis financiero que determinó la viabilidad del nuevo proceso dando positivo el VPN.

La directiva aprobó la ejecución e implementación del nuevo proceso, la cual sirvió para afrentar proyecto emergente y satisfacer nuevo cliente cuyas






















mediciones arrojó que la productividad aumentó al doble y se redujo a la mitad el tiempo estándar del proceso, objetivo esencial el proyecto.

#### **4.2. RECOMENDACIONES**

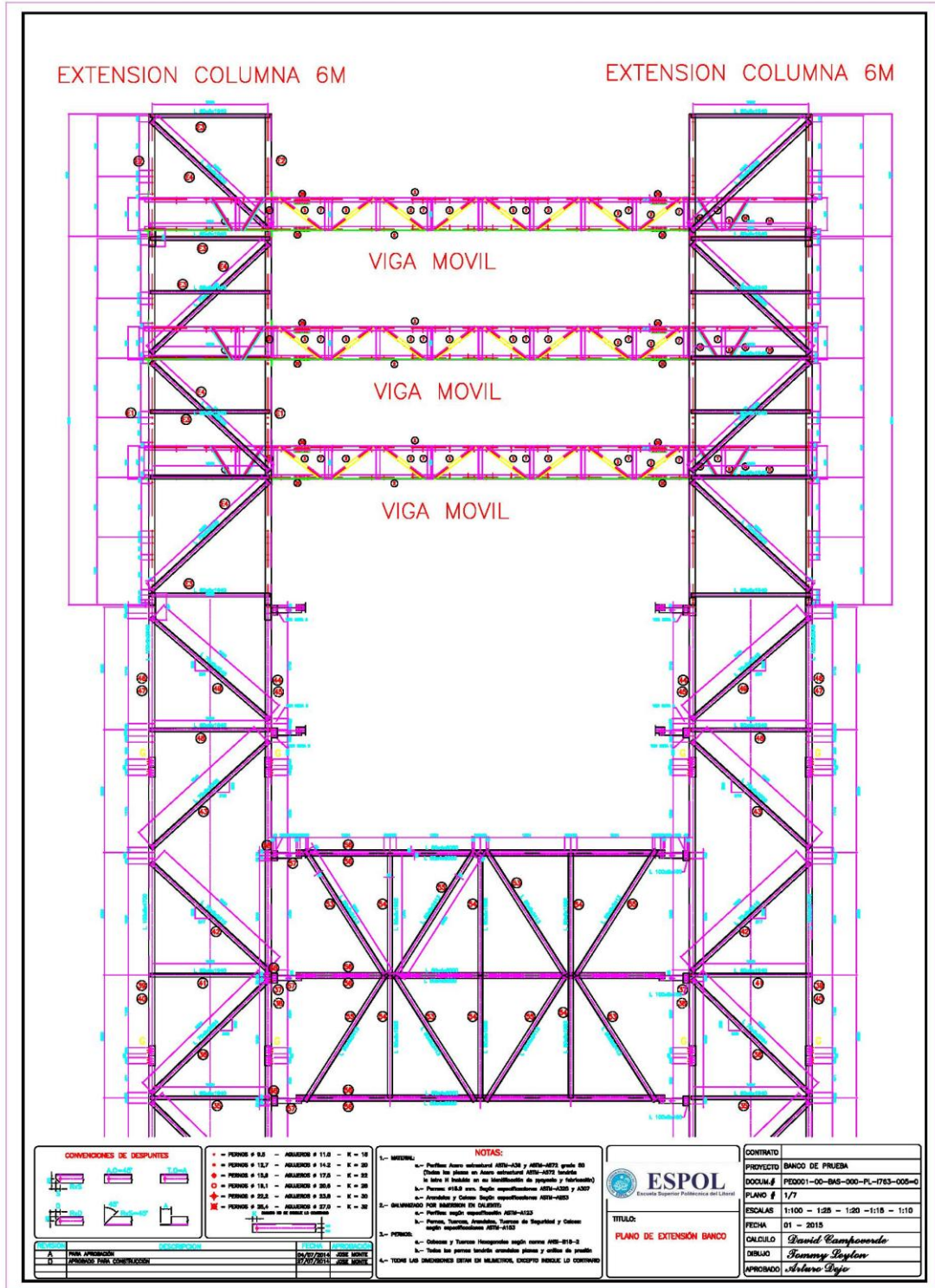
Se recomienda hacer mantenimiento preventivo de todos los equipos e instrumentos comprados una vez al año para tener todos los equipos calibrados y operativos.

# APÉNDICES

## APÉNDICE D1

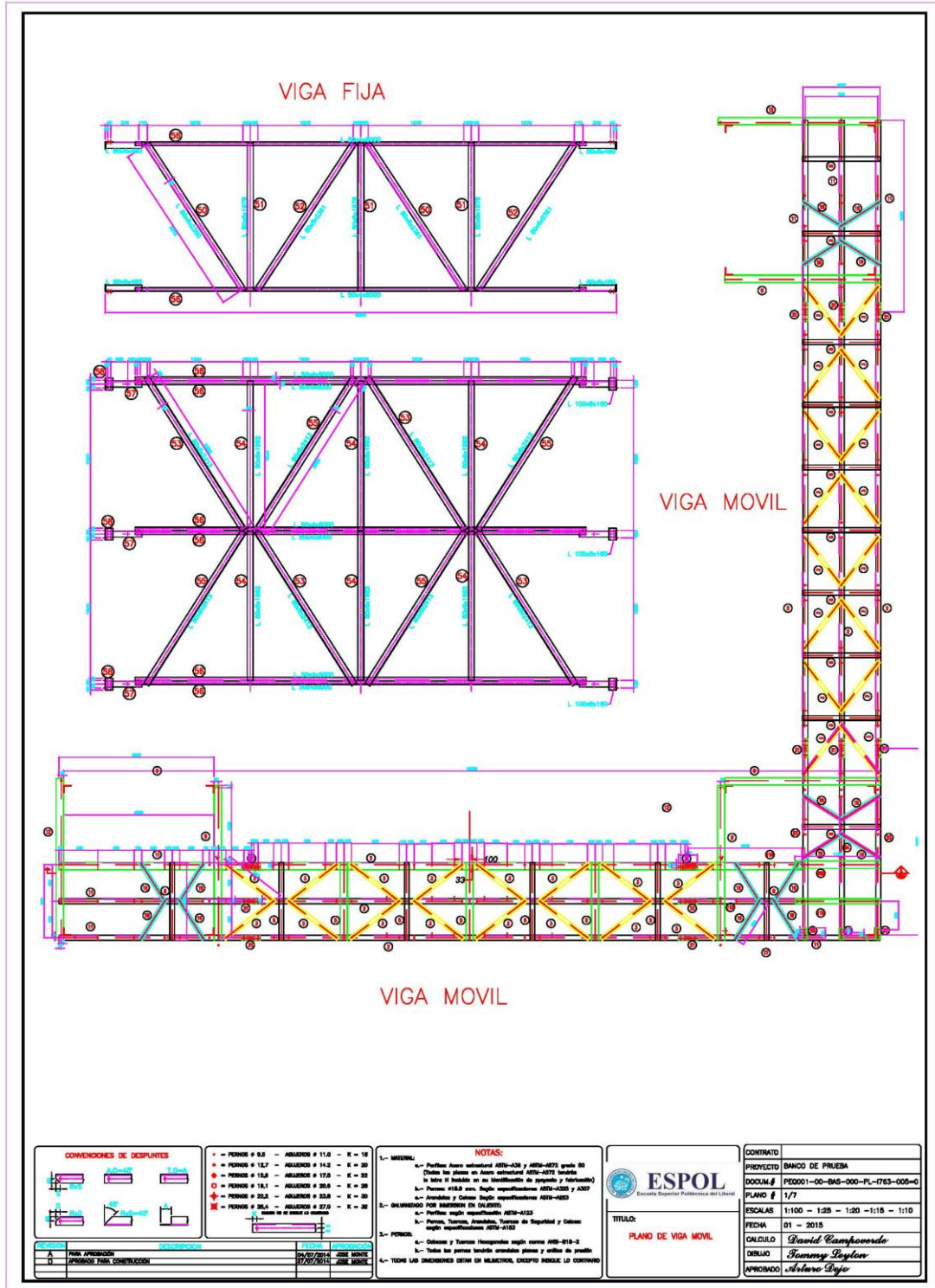
DIAGRAMA DEL PROCESO ACTUAL		SIMBOLOGIA	RESULTADOS	
AREA: DISEÑO Y PRUEBA			OPERACIÓN	10
DESCRIPCION DEL PROCESO			TRANSPORTE	1
DISEÑO Y PRUEBA DE TORRES PROTOTIPO			INSPECCION	3
EMPIEZA	INGENIERIA Y DISEÑO DE TORRE		DEMORA	0
TERMINA	INSPECCION TORRE PROTOTIPO		ALMACENAMIENTO	2
			<b>TOTAL</b>	16
PASOS	SIMBOLO	DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD		
1		Cálculo estructural en SAP de Torre de acuerdo especificaciones técnicas		
2		Diseño en AUTOCAD torre de acuerdo a calculo estructural SAP		
3		Almacenamiento de acero para torre prototipo		
4		Inspección de materiales para torre prototipo		
5		Fabricación torre prototipo en maquina CNC		
6		Inspección piezas torre prototipo		
7		Almacenamiento piezas torre prototipo		
8		Transporte de torre al sitio de prueba		
9		Instalación de piezas torre prototipo en banco		
10		Instalación de accesorios en banco de prueba		
11		Instalación de equipos banco de prueba		
12		Prueba de carga de torre		
13		Medición de deflexiones torre		
14		Toma de datos de la prueba		
15		Desinstalación torre prototipo		
16		Inspección piezas torre prototipo		

# PLANO 1 PLANO EXTENSIÓN 6M BANCO PRUEBA





## PLANO 2 PLANO VIGAS MÓVILES BANCO PRUEBA



## BIBLIOGRAFÍA

1. ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES PRODUCCIÓN Y CADENA DE SUMINISTRO by Richard Chase, Robert Jacobs Mc Graw Hill.
2. ASCE 10-97, DESIGN OF LATTICED STEEL TRANSMISSION STRUCTURES by ASCE1801 Alexander Bell Drive Reston
3. PLC AUTOMATIZACION Y CONTROL, Daneri, Pablo.
4. DATA SHEET, LOAD CELL SENTRONIK, catálogos de celdas, Miami Florida.
5. FÍSICA UNIVERSITARIA SEARS ZEMANSKY –YOUNG FREEDMAN-VOL.1.