

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

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

" Diseño de un banco demostrativo de sistemas hidráulicos y mecánicos a
partir de un rodillo liso vibratorio”

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Materia Integradora

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

Susana Michelle Encalada García

Erika Michelle Sánchez Martínez

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2017

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestros tutores de tesis, al MSc. Edwin Tamayo y al PhD. Juan Peralta, quienes nos guiaron en la realización de este trabajo. A su vez, agradecemos al Tnlgo. Carlos Astudillo y al Ing. Antonio Parra, especialistas en maquinaria pesada, quienes colaboraron con información técnica referente al rodillo liso vibratorio analizado en este proyecto.

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Susana Michelle Encalada García

Erika Michelle Sánchez Martínez

Edwin Ulpiano Tamayo Acosta

Juan Manuel Peralta Jaramillo

y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.



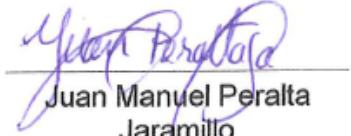
Susana Michelle
Encalada García



Erika Michelle Sánchez
Martínez



Edwin Ulpiano Tamayo
Acosta



Juan Manuel Peralta
Jaramillo

RESUMEN

La Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) recibió la donación libre de un rodillo liso vibratorio modelo CS-531C por parte del Muy Ilustre Municipio de la ciudad de Guayaquil. El sistema vibratorio de la maquinaria no se encuentra operativo, sin embargo, el motor diésel y el sistema de dirección hidráulica están en condiciones de operación. Por lo anteriormente señalado, se plantea diseñar un banco demostrativo/didáctico a partir de sus componentes con el propósito de contribuir a la formación de los estudiantes de Ingeniería Mecánica.

El proyecto contempló dos secciones: el diseño de una bancada como soporte estructural; y, el diseño conceptual y adecuación del rodillo como banco demostrativo de prácticas relacionadas a la observación de lecturas de presión y temperatura de los componentes seleccionados y evaluados. El diseño de la bancada se inició con la selección de material para: la viga, ASTM-A36; los pernos de fijación, SAE G5; y la soldadura de norma AWS, de base E6010 y revestimiento E7018. De igual manera, se describió el proceso de dimensionamiento y selección de elementos necesarios para la operación del banco demostrativo como lo son instrumentación, acoples, mangueras hidráulicas y accesorios.

Conforme a los resultados de la bancada, se determinó un perfil de viga HEB 100, diámetro de pernos de fijación de 3/8" y una garganta de soldadura de 5 [mm]. Con respecto al banco demostrativo, se requiere de 8 manómetros y 2 termocuplas. Además, se realizó el estudio logístico para la movilización interna del rodillo, incluyendo un análisis de costos para su adecuación y puesta en operación.

Finalmente, se determinó que el costo aproximado de conversión y adecuación de la maquinaria como banco demostrativo es de \$2500. Por otro lado, en caso de que el rodillo no pueda ser operado, el costo se elevará a \$3100 por transporte. Es importante acotar que ambos casos fueron determinados sin considerar costos derivados al alquiler de herramientas y equipos necesarios para instalación.

Palabras clave: Bancada, banco demostrativo, componente, instrumentación y rodillo.

ABSTRACT

The Faculty of Engineering in Mechanics and Production Sciences (FIMCP) received the free donation of a vibrating smooth roller model CS-531C by the Municipality of the city of Guayaquil. The vibration system of the machinery is not operational, however, the diesel engine and the hydraulic steering system are in operative conditions. For the above indicated, it is proposed to design a demonstrative/didactic bank from its components with the purpose of contributing to the training of student of Mechanical Engineering.

The project contemplated two sections: the design of a bench as a structural support; and, the conceptual design and adequacy of the roller as a demonstration bank of practices related to the observation of pressure and temperature readings of the selected and evaluated components. The bench design began with material selection for: the beam, ASTM-A36; fixing bolts, SAE G5; and, standard AWS welding, E6010 base and E7018 coating. In the same way, the process of sizing and selecting elements necessary for the operation of the demonstration bank, such as instrumentation, couplings, hydraulic hoses and accessories, was described.

According to the bench results, a HEB 100 beam profile, 3/8" fixing bolt diameter and 5 [mm] weld throat, were determined. Regarding the demonstration bench, 8 manometers and 2 thermocouples are required. Additionally, the logistic study was carried out for the internal mobilization of the roller, including a cost analysis for its adaptation and start-up.

Finally, it was determined that the approximate cost of conversion and adequacy of the machinery as a demonstration bank is \$2500. On the other hand, in case the roller cannot be operated, the cost will be raised to \$3100 by transport. It is important to note that both cases were determined without considering costs derived from the rental of tools and equipment needed for installation.

Keywords: Bench, demonstrative bank, component, instrumentation and roller.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
ÍNDICE DE PLANOS	XV
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo General	2
1.2.2 Objetivos Específicos	2
1.3 Marco teórico	2
1.3.1 Banco demostrativo a partir del Rodillo CS-531C	2
1.3.2 Rodillo liso compactador vibratorio CS-531C.....	3
1.3.3 Especificaciones.....	3
1.3.4 Partes del rodillo.....	5
1.3.5 Valoración de elementos mecánicos e hidráulicos.....	6
CAPÍTULO 2.....	12
2. Metodología	12
2.1 Descripción de Alternativas de Solución.....	12

2.1.1	Alternativa 1: Banco demostrativo con horquilla móvil y panel de control.	12
2.1.2	Alternativa 2: Banco demostrativo sin horquilla móvil y sin el sistema vibratorio.....	13
2.	Banco demostrativo sin horquilla móvil y sin el sistema vibratorio.	15
2.2	Matriz de Selección	15
2.3	Metodología de Diseño para la Bancada.....	19
2.3.1	Factores de diseño.....	21
2.3.2	Diseño de forma de la bancada	23
2.3.3	Análisis estático.....	27
2.3.4	Selección de materiales	30
2.3.5	Selección del perfil de la viga.....	31
2.3.6	Selección de pernos.....	33
2.3.7	Soldadura.....	34
2.3.8	Simulación de la Bancada.....	36
2.4	Metodología de diseño para el banco demostrativo	39
2.4.1	Componentes mecánicos e hidráulicos que monitorear y puntos de medición	40
2.4.2	Selección de los instrumentos de medición	42
2.4.3	Selección de acoples, mangueras y accesorios.....	42
2.4.4	Diseño del tablero de visualización	42
2.4.5	Elementos de señalética	43
CAPÍTULO 3.....		46
3.	Resultados	46
3.1	Bancada.....	47
3.1.1	Selección del perfil	47

3.1.2	Soldadura.....	51
3.1.3	Selección de pernos de fijación.....	57
3.1.4	Selección de pernos de anclaje	60
3.1.5	Simulación de la Bancada.....	60
3.1.6	Planos de construcción	65
3.2	Banco demostrativo	65
3.2.1	Puntos de medición.....	65
3.2.2	Selección de instrumentos de medición.....	72
3.2.3	Selección de acoples, mangueras y accesorios.....	73
3.2.4	Diseño del tablero de visualización	77
3.2.5	Elementos de Señalética.....	77
3.3	Logística	78
3.4	Protocolo para construcción e instalación de la bancada y el banco demostrativo	80
3.4.1	Bancada.....	81
3.4.2	Banco demostrativo.....	82
3.5	Costos.....	83
CAPÍTULO 4.....		88
4.	Discusión y Conclusiones	88
4.1	Conclusiones	88
4.2	Recomendaciones	89
BIBLIOGRAFÍA.....		91
APÉNDICES		93

ABREVIATURAS

FIMCP	Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ROPS	Roll Over Protection System (Sistema de protección contra volcamiento)
TCI	Transistor Controlled Ignition (Encendido controlado por transistor)
ASTM	American Society for Testing and Materials
SAE	Society of Automotive Engineering
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
RTE	Reglamento Técnico Ecuatoriano
AWS	American Welding Society
SMAW	Shielded Metal Arc Welding
SAW	Submerged Arc Welding
GMAW	Gas Metal Arc Welding
FCAW	Flux Cored Arc Welding
NPT	Nominal Pipe Thread
IESS	Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social
UNC	Unified National Coarse

SIMBOLOGÍA

H	Altura
H_e	Altura efectiva
A	Área
A_G	Área de la garganta
A_{viga}	Área de la viga
A_p	Área transversal del perno
hp	Caballos de fuerza
f_v	Carga cortante
f_b	Carga flexión
f_R	Carga resultante
cm	Centímetro
cm^4	Centímetro a la cuarta
cm^2	Centímetro al cuadrado
cm^3	Centímetro cúbico
kg/m^3	Densidad
ϕ	Diámetro
d_p	Diámetro del perno
d_2	Distancia horizontal entre F_S y la unión 2
d_4	Distancia horizontal entre $F_S + W_C$ y la unión 4
d_1	Distancia horizontal entre W_{V1} y la unión 2
d_3	Distancia horizontal entre W_{V2} y la unión 4
$\frac{H_e}{r_g}$	Esbeltez
τ	Esfuerzo cortante
$\Delta\tau$	Esfuerzo cortante por soldadura
σ_c	Esfuerzo de compresión
σ_{MAX}	Esfuerzo máximo de flexión
t	Espesor de la garganta
A_w	Factor de área por longitud

S_w	Factor de módulo de sección
W_x	Factor de sección de la viga
η	Factor de seguridad
f_R	Factor resultante
f_n	Frecuencia natural
f	Frecuencia
P	Fuerza total
F_S	Fuerza total que soportará la soldadura
F_P	Fuerza total soportada por un perno
gal	Galón
GPa	Giga-Pascales
°	Grados
°C	Grados Celsius
H/H	Hembra/Hembra
Hz	Hertz
I_x	Inercia en X
kg	Kilogramo
kg/m	Kilogramo por metro
km/h	Kilómetro por hora
kN	Kilo-Newton
kN/m	Kilo-Newton por metro
kW	Kilowatt
lb	Libra
psi	Libra por pulgada cuadrada
Lt	Litro
L	Longitud
L_{V1}	Longitud de la viga horizontal entre las columnas
M/H	Macho/Hembra
M/M	Macho/Macho
MPa	Mega-Pascales
m	Metros

m^2	Metros cuadrados
m^3	Metros cúbicos
kpsi	Mil libras por pulgada cuadrada
mm	Milímetro
mph	Milla por hora
E	Módulo de Young
M	Momento
M_2	Momento causado por F_S
M_3	Momento causado por $F_S + W_C$
M_1	Momento causado por W_{V1}
M_4	Momento causado por W_{V2}
M_{max}	Momento flector máximo
N	Newton
Nm	Newton-Metro
Nmm	Newton-Milímetro
$W_{diseño}$	Peso de diseño
W_C	Peso de la columna
$W_{horquilla}$	Peso de la horquilla
W_{viga}	Peso de la viga
W_{V1}	Peso de la viga horizontal entre las columnas
$W_{persona}$	Peso de una persona
$W_{tambor y pesas}$	Peso del tambor y el conjunto de pesas
W_{total}	Peso total del rodillo con ROPS y lastre
ft	Pie
%	Porcentaje
in	Pulgada
in^3	Pulgada cúbica
r_g	Radio de giro
r_x	Radio de giro en X
r	Razón de frecuencias
S_y	Resistencia a la fluencia

S_{ut}	Resistencia a la ruptura
S_{Sy}	Resistencia al cortante

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Rodillo liso modelo CS-531C.....	1
Figura 1.2 Dimensiones del rodillo liso vibratorio.....	5
Figura 1.3 Partes del rodillo liso vibratorio.	6
Figura 2.1 Diseño de forma del banco demostrativo para la alternativa 1.	13
Figura 2.2 Diseño de forma del banco demostrativo para la alternativa 2.	14
Figura 2.3 Diagrama de Metodología de diseño para la bancada.....	19
Figura 2.4 Diseño de forma de la bancada.	24
Figura 2.5 Distancia en [mm] del rodillo compactador al suelo.....	25
Figura 2.6 Diseño final de la bancada.....	26
Figura 2.7 Posición del centro de gravedad del banco demostrativo.....	27
Figura 2.8 Soporte posterior del banco demostrativo	28
Figura 2.9 Viga simplemente apoyada con un extremo fijo y el otro libre.....	28
Figura 2.10 Diagrama de fuerza cortante de la viga simplemente apoyada.	29
Figura 2.11 Diagrama de momento flector.....	30
Figura 2.12 Columna de altura H.....	32
Figura 2.13. Bancada importada en ANSYS: WORKBENCH R 17.0 Academic.....	36
Figura 2.14 Amortiguador del motor.	37
Figura 2.15 Diagrama de metodología para el diseño del banco demostrativo.	39
Figura 2.16 Señal indicativa.....	43
Figura 2.17 Señal complementaria de riesgo permanente.	44
Figura 2.18 (a) Vista lateral del banco demostrativo, (b) Vista superior del banco demostrativo.	44
Figura 3.1 Elementos de la bancada.	47
Figura 3.2 (a) Dimensiones columna posterior en [mm], (b) Dimensiones columna delantera en [mm].	49
Figura 3.3 Columna posterior.....	50
Figura 3.4 Uniones de soldadura en la bancada.....	51
Figura 3.5 Fuerzas presentes en la unión de soldadura #1.....	52
Figura 3.6 Fuerzas presentes en la unión de soldadura #2.....	53

Figura 3.7 Fuerzas presentes en la unión de soldadura #3.	54
Figura 3.8 Fuerzas presentes en la unión de soldadura #4.	55
Figura 3.9 Unión de soldadura #5.	57
Figura 3.10 (a) Vista frontal de la posición de los pernos de fijación, (b) Vista lateral de la viga empernada.	58
Figura 3.11 Fuerzas implicadas en el arreglo de pernos.	58
Figura 3.12 Secciones del análisis estructural.	61
Figura 3.13 Mallado con calidad del 76.3%.	62
Figura 3.14 Aplicación de fuerzas y restricciones.	63
Figura 3.15 Resultados de esfuerzos principales de von-Mises.	63
Figura 3.16 Secciones del análisis 'Modal'.	64
Figura 3.17 Componentes a monitorear del lado derecho del rodillo.	66
Figura 3.18 Componentes a monitorear del lado izquierdo del rodillo.	66
Figura 3.19 Puntos de medición en la bomba de propulsión: 1) Marcha adelante y 2) Marcha atrás.	67
Figura 3.20 Puntos de medición del sistema de vibración: 3) Presión a alta amplitud, 4) Presión a baja amplitud y 5) Presión de carga con el sistema vibratorio ON y OFF.	68
Figura 3.21 Punto de medición en la bomba de dirección.	69
Figura 3.22 Puntos de medición de la temperatura del refrigerante: 7) Línea de alta y 8) Línea de baja.	70
Figura 3.23 Punto de medición para el combustible.	71
Figura 3.24 Punto de presión para el aceite del motor.	71
Figura 3.25 Líneas de aceite hidráulico conectadas al motor de vibración.	74
Figura 3.26 Tablero de visualización.	77
Figura 3.27 Área de riesgo del banco demostrativo.	78
Figura 3.28 Rutas para la movilización del rodillo.	79
Figura 3.29 Protocolo para la construcción de la bancada.	81
Figura 3.30 Protocolo para la instalación del banco demostrativo.	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Especificaciones del rodillo liso modelo CS-531C.	4
Tabla 1.2 Partes del rodillo liso vibratorio.	5
Tabla 1.3 Valoración de los principales elementos mecánicos e hidráulicos del rodillo.	7
Tabla 2.1 Ventajas y desventajas para cada alternativa de banco demostrativo.	15
Tabla 2.2 Rango de calificación para cada alternativa en base al criterio.	16
Tabla 2.3 Ponderación de cada criterio.	17
Tabla 2.4 Matriz de selección para cada alternativa.	18
Tabla 2.5 Pesos de los componentes del rodillo vibrador liso CS-531C.	22
Tabla 2.6 Propiedades del acero estructural, norma ASTM – A36.	31
Tabla 2.7 Análisis de columnas para acero estructural.	32
Tabla 2.8 Propiedades de los electrodos E6010 y E7018.	34
Tabla 2.9 Parámetro y rango de operación de los componentes hidráulicos.	41
Tabla 2.10 Parámetro y rango de operación de los componentes mecánicos.	41
Tabla 3.1 Términos de sección de la viga HEB 100.	48
Tabla 3.2 Propiedades del perno de anclaje HSL– 3M 12/25.	60
Tabla 3.3 Estadísticas del mallado de la bancada y distribución ortogonal.	61
Tabla 3.4 Modos de frecuencia natural de la bancada	64
Tabla 3.5 Instrumentos de medición a emplear en el banco demostrativo.	72
Tabla 3.6 Instrumentos de medición disponibles en el mercado.	73
Tabla 3.7 Características y cantidad de tapones	74
Tabla 3.8 Cantidad de acoples, accesorios y mangueras hidráulicas.	75
Tabla 3.9 Medida en pulgadas de acoples, accesorios y mangueras hidráulicas.	76
Tabla 3.10 Características y cantidad de acoples, accesorios y mangueras hidráulicas.	76
Tabla 3.11 Factores que influyen en la logística del rodillo.	80
Tabla 3.12 Costos para los materiales de la bancada.	83
Tabla 3.13 Costos de los instrumentos de medición.	84
Tabla 3.14 Costo de acoples rápidos, mangueras hidráulicas y accesorios.	84
Tabla 3.15 Costos de logística.	85

Tabla 3.16 Costos varios.	86
Tabla 3.17 Costos por mano de obra.....	86
Tabla 3.18 Costo total para la adecuación del rodillo liso vibratorio CS-531 C en un banco demostrativo.....	87
Tabla 4.1 Tabla de perfiles HEB.	95
Tabla 4.2 Factores geométricos para analizar la soldadura como una línea.	96
Tabla 4.3 Tabla de termocupla tipo J.....	97

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1	Adecuación del rodillo liso vibratorio CS-531C en banco demostrativo
PLANO 2	Ensamble del rodillo sobre la bancada
PLANO 3	Bancada
PLANO 4	Plano de construcción de la bancada
PLANO 5	Plano de construcción de la bancada: Soportes
PLANO 6	Plano de construcción de la bancada: Placas
PLANO 7	Plano de construcción de la bancada: Soldadura
PLANO 8	Plano de construcción de la bancada: Ensamble
PLANO 9	Tablero de visualización
PLANO 10	Esquema de acoples, accesorios e instrumentos: Componente mecánico
PLANO 11	Esquema de acoples, accesorios e instrumentos: Componente mecánico
PLANO 12	Esquema de acoples, accesorios e instrumentos: Componentes hidráulicos

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

El Muy Ilustre Municipio de la ciudad de Guayaquil realizó la donación libre de un rodillo liso vibrador modelo CS-531C (ver figura 1.1) a la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) perteneciente a la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL).

Esta maquinaria cuenta con el motor y sus demás elementos mecánicos en operación a excepción del sistema vibratorio integrado dentro del rodillo, el cual permite la compactación del suelo. Actualmente, el rodillo se encuentra sin utilización dentro de las instalaciones de la ESPOL.

De lo antes mencionado, se plantea adecuar la maquinaria como un banco demostrativo de sistema hidráulico y motor de combustión que contribuirá a la formación de los estudiantes de la carrera de ingeniería mecánica, sin embargo, para realizar el banco es necesario establecer las adecuaciones y necesidades técnicas, logísticas y económicas para seleccionar la mejor alternativa.



Figura 1.1 Rodillo liso modelo CS-531C.

Elaboración propia

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Diseñar un banco demostrativo de sistema hidráulico y mecánico a partir de un rodillo liso vibratorio para fines didácticos, con el propósito de contribuir a la formación de los estudiantes de Ingeniería Mecánica en las áreas de fluidos y motores de combustión interna.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Valorar los elementos mecánicos e hidráulicos de la maquinaria.
- Diseñar una bancada que sirva de soporte para el banco demostrativo.
- Seleccionar instrumentos o medidores para la observación de los parámetros básicos del funcionamiento del banco demostrativo.
- Diseñar los elementos de señalética para la descripción del funcionamiento.
- Establecer las necesidades técnicas, logísticas y económicas para la adecuación de la maquinaria como banco demostrativo.

1.3 Marco teórico

1.3.1 Banco demostrativo a partir del Rodillo CS-531C

Un banco demostrativo es la adecuación de un equipo o una máquina sobre una bancada, con el objeto de mostrar el funcionamiento de sus componentes y realizar pruebas o experimentos que comprueben su actividad.

Este proyecto consiste en acomodar un rodillo liso vibratorio modelo CS-531C en un banco demostrativo orientado en áreas como hidráulica o motores de combustión a Diésel. Adicionalmente, este banco permitirá realizar pruebas principalmente de presión y temperatura por medio de instrumentos de medición como manómetros y termómetros que serán acoplados al equipo.

1.3.2 Rodillo liso compactador vibratorio CS-531C

Un rodillo liso compactador vibratorio CS-531C es una máquina autopropulsada para trabajos pesados, constituida por un rodillo liso de tambor simple y un sistema vibratorio. Su función principal es compactar bases o sub-bases y dar la compacidad requerida al material sobre el cual se desplaza, generalmente son utilizados para la compactación de materiales sueltos, no adherentes, semi-cohesivos; enrocamiento, tales como grava, piedra triturada, mezcla de arena y asfalto; entre otros (Huancavelica, 2014).

Como se mencionó anteriormente, este rodillo consiste en un tambor simple con un determinado peso que compacta el material por presión y su sistema auxiliar de vibración, provisto de un movimiento excéntrico en el interior del rodillo, mejora la compactación ya que provoca un reacomodo de las partículas del suelo con una fuerza centrífuga de 107 [kN] (ver tabla 1.1).

Usualmente esta máquina es utilizada para compactar terraplenes¹ que garantizan la máxima productividad en proyectos como construcción de carreteras, pistas de rodajes, estacionamientos y áreas rellenadas.

1.3.3 Especificaciones

Las especificaciones del rodillo liso vibratorio modelo CS-531C se encuentran detalladas en la tabla 1.1 con el fin de identificar posteriormente las características necesarias que se tomarán en cuenta para el diseño de la bancada.

¹ Terraplén: Tierra con que se rellena un terreno para levantar su nivel y formar un plano de apoyo adecuado para hacer una obra.

Tabla 1.1 Especificaciones del rodillo liso modelo CS-531C.

MOTOR		
Modelo	3116T	
Peso	1300 lb	589.7 kg
Potencia bruta	145 hp	108.1 kW
Volumen	402.8 in ³	6.6 Lt
Velocidad nominal	2200 rpm	
CAPACIDADES DE SERVICIO		
Peso operativo	20525 lb	9310 kg
Capacidad de combustible	58.1 gal	220 Lt
Capacidad del aceite del motor	5.3 gal	20 Lt
Capacidad de fluido del sistema hidráulico	29.1 gal	110 Lt
Velocidad máxima	8 mph	12.8 km/h
Neumáticos	23.1x26 – 8 PLY	
TAMBOR		
Ancho del tambor	83.9 in	2130 mm
Diámetro del tambor	96 in	2438 mm
Frecuencia de vibración	30 Hz	
Fuerza centrífuga – Alta	24060 lb	107 kN
Fuerza centrífuga – Media baja	12030 lb	53.5 kN
DIMENSIONES		
A. Longitud total	17.3 ft	5258 mm
B. Ancho total	8 ft	2438 mm
C. Altura total	8.2 ft	2510 mm
D. Distancia entre ejes	9 ft	2740 mm
E. Distancia mínima al suelo	19 in	460 mm

Fuente: (Caterpillar C. P., 2017)

Además, es necesario conocer las dimensiones generales del rodillo con el propósito de poder dimensionar el soporte del banco demostrativo. En la figura 1.2 se pueden apreciar las cotas dimensionales del rodillo liso CS-531C cuyos valores se especifican en la sección ‘Dimensiones’ de la tabla 1.1.

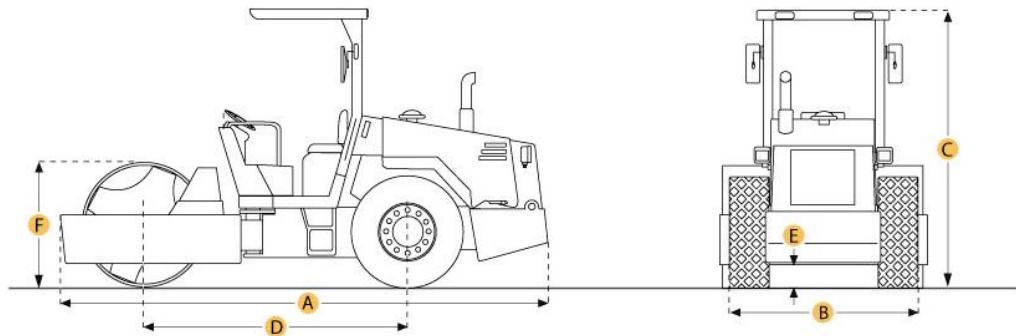


Figura 1.2 Dimensiones del rodillo liso vibratorio.

Fuente: (Caterpillar C. P., 2017)

1.3.4 Partes del rodillo

Con el objeto de determinar qué elementos estarán contenidos en el banco demostrativo y cuáles serán retirados, es necesario identificar las partes que conforman el rodillo, las cuales se detallan en la tabla 1.2 y se muestran en la figura 1.3.

Tabla 1.2 Partes del rodillo liso vibratorio.

1. Asiento del operador	2. Volante
3. Plataforma	4. Rola o tambor
5. Horquilla	6. Articulación central
7. Bastidor posterior	8. Mando final
9. Neumático	10. Tanque de combustible
11. Motor TCI	12. Estructura ROPS
13. Palanca de sentido de marcha	

Fuente: (Alcocer, 2015)

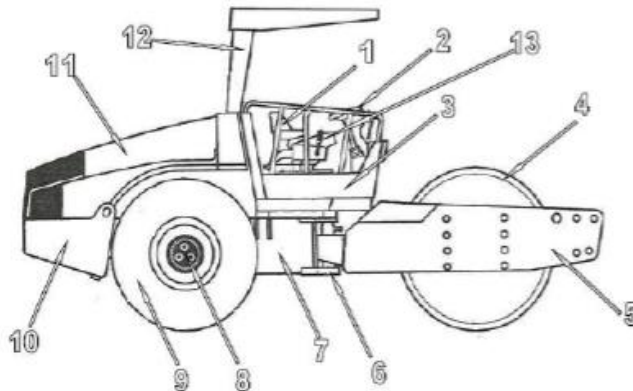


Figura 1.3 Partes del rodillo liso vibratorio.






Fuente: (Alcocer, 2015)





De la figura 1.3 se puede observar que la máquina está formada principalmente por un bastidor posterior, donde está apoyado el motor y los elementos mecánicos e hidráulicos ubicados en la parte interna; una plataforma, donde está apoyada la cabina; y la horquilla, la cual sostiene y le da movimiento al tambor.





1.3.5 Valoración de elementos mecánicos e hidráulicos





La valoración de los principales elementos hidráulicos y mecánicos se refiere a evaluar el estado en que se encuentran los componentes primarios del rodillo, este proceso es necesario para la posterior adecuación del banco de demostrativo. En la tabla 1.3 se detalla el elemento a valorar, su figura, su función y su respectivo estado.




Tabla 1.3 Valoración de los principales elementos mecánicos e hidráulicos del rodillo.

Elemento	Cantidad	Figura	Función	Estado
Motor Diésel 3116T	1		Transformar la energía química en mecánica	Funciona
Motor de arranque	1		Facilitar el encendido del motor de combustión 3116T	Funciona
Motor de traslación	1		Convertir presión hidráulica y flujo, en un par torsor y desplazamiento angular	Funciona
Motor de vibración	1		Convertir presión hidráulica en un par torsor para dar movimiento al eje excéntrico dentro del rodillo	No funciona
Bomba de propulsión	1		Incrementar la presión del fluido que es transportado hacia el motor de traslación	Funciona

<p>Bomba de vibración</p>	<p>1</p>		<p>Incrementar la presión del fluido que es transportado hacia el motor de vibración</p>	<p>Funciona</p>
<p>Bomba de dirección</p>	<p>1</p>		<p>Incrementar la presión de fluido que es transportado al sistema de dirección</p>	<p>Funciona</p>
<p>Freno de estacionamiento</p>	<p>2</p>		<p>Inmovilizar el movimiento de los neumáticos traseros del rodillo</p>	<p>Funciona</p>
<p>Bomba de alimentación de combustible</p>	<p>1</p>		<p>Transportar el combustible desde el depósito hasta el sistema de inyección</p>	<p>Funciona</p>

<p>Bomba de refrigerante</p>	<p>1</p>		<p>Circular agua como líquido refrigerante en el sistema de refrigeración del motor para la disminución de la temperatura</p>	<p>Funciona</p>
<p>Filtro de aire</p>	<p>1</p>		<p>Retener, en lo mayor posible, las posibles impurezas que puedan acceder a la admisión del motor</p>	<p>Funciona</p>
<p>Filtro de aceite hidráulico</p>	<p>1</p>		<p>Evitar el ingreso de impurezas sólidas al sistema hidráulico</p>	<p>Funciona</p>
<p>Filtro del aceite del motor</p>	<p>1</p>		<p>Filtra las partículas de suciedad que acompaña al aceite</p>	<p>Funciona</p>

<p>Filtro de combustible</p>	<p>2</p>		<p>Evitar el ingreso de partículas sólidas a los inyectores y el motor</p>	<p>Funciona</p>
<p>Filtro separador de agua/combustible</p>	<p>2</p>		<p>Filtrar las partículas sólidas o solo decantar el agua contenida en el combustible</p>	<p>Funciona</p>
<p>Cilindros de dirección</p>	<p>2</p>		<p>El movimiento del pistón dentro del cilindro permite que se muevan los elementos mecánicos de dirección</p>	<p>Funciona</p>
<p>Radiador</p>	<p>1</p>		<p>Reducir la temperatura del refrigerante (agua) que sale del motor</p>	<p>Funciona</p>

Alternador	1		<p>Proporcionar corriente eléctrica necesaria para la carga de la batería y suministrar corriente a todos los sistemas eléctricos.</p>	Funciona
Correas de accionamiento	3		<p>Coordinar el movimiento del cigüeñal y del árbol de levas para el accionamiento de las válvulas de admisión y descarga</p>	Funciona
Sistema vibratorio	1		<p>Permitir la vibración del rodillo o tambor, a partir de un eje excéntrico para la compactación del suelo</p>	No operativo

Elaboración propia

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

En el presente capítulo, se describe la formulación de las diferentes alternativas de solución del problema, la descripción, selección de la mejor alternativa y la metodología de la alternativa seleccionada mediante un diagrama, en el cual, se detallan los pasos a seguir para la elaboración del banco demostrativo.

La metodología se divide en dos partes: metodología de diseño de la bancada, donde explica los factores de diseño, el diseño de forma y el procedimiento para dimensionar la bancada; y metodología de diseño del banco demostrativo, donde se especifican los componentes a monitorear y los instrumentos de medición que irán acoplados.

2.1 Descripción de Alternativas de Solución

Tal como se detalla en la descripción del problema, el sistema vibratorio dentro del rodillo no se encuentra en funcionamiento, por lo que, dicho sistema no será tomado en cuenta para el análisis y diseño del banco demostrativo.

2.1.1 Alternativa 1: Banco demostrativo con horquilla móvil y panel de control.

En la alternativa 1, el perfil del rodillo será extraído, pero los elementos internos pertenecientes al sistema vibratorio seguirán acoplados a la horquilla para fines didácticos, tal como se muestra en la figura 2.1.

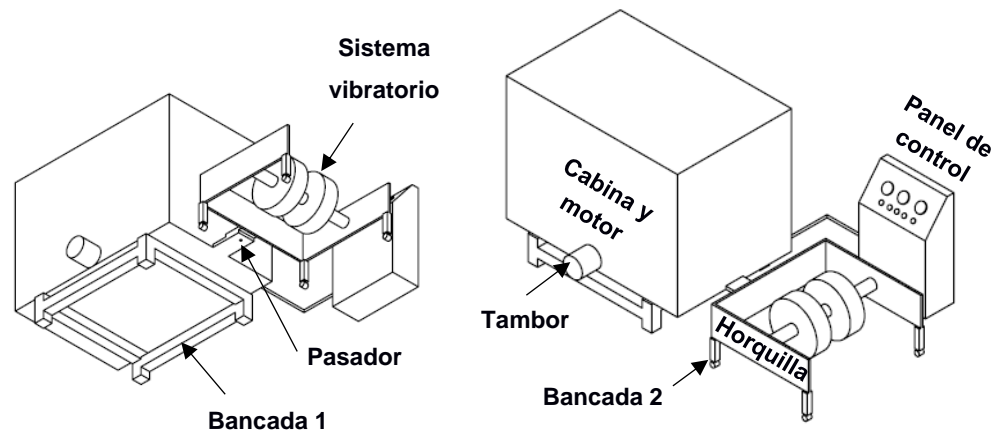


Figura 2.1 Diseño de forma del banco demostrativo para la alternativa 1.

Elaboración propia

Los neumáticos serán retirados dejando los tambores suspendidos, por lo que, es necesario diseñar una bancada capaz de soportar el motor que se encuentra en la parte posterior de la máquina y, a su vez, diseñar una segunda bancada capaz de soportar la horquilla y el sistema vibratorio para evitar que el pasador falle.

La bancada perteneciente al sistema vibratorio contará con 4 llantas ubicadas alrededor de la horquilla, para que pueda moverse libremente, manipulando la dirección.

Por otra parte, además del control manual integrado en el banco, un panel de control será diseñado para seguridad de los estudiantes, mejor apreciación de las lecturas de los instrumentos o medidores y para un buen control por medio de palancas y botones integrados.

2.1.2 Alternativa 2: Banco demostrativo sin horquilla móvil y sin el sistema vibratorio.

Con respecto a la alternativa 2, el sistema vibratorio perteneciente al rodillo será extraído junto con la horquilla que sostiene el tambor principal,

es decir, la parte delantera de la máquina será retirada, tal como se muestra en la figura 2.2.

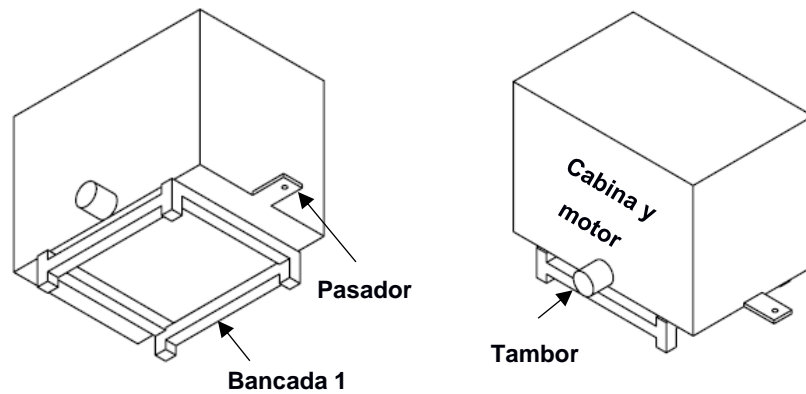


Figura 2.2 Diseño de forma del banco demostrativo para la alternativa 2.

Elaboración propia

Al igual que en la alternativa 1, los neumáticos que permiten la traslación del rodillo liso serán retirados, de forma que la bancada en la parte posterior es la misma.

El banco demostrativo permitirá realizar lecturas de los componentes mecánicos e hidráulicos. Para ello, se acoplarán instrumentos o medidores en los puntos del motor de combustión, con el objeto de que el control del banco demostrativo sea netamente manual. Por otro lado, la visualización de los medidores de presión en el sistema hidráulico es más compleja ya que las bombas se encuentran en puntos de poca visibilidad, de forma que se acoplarán mangueras en los puntos de medición de cada componente, las cuales se dirigirán a un tablero donde se pueda observar como varía el parámetro sin tantas complicaciones.

De las alternativas anteriormente expuestas, se procede a detallar las ventajas y desventajas (ver tabla 2.1) que serán consideradas para la elaboración de la matriz de selección.

Tabla 2.1 Ventajas y desventajas para cada alternativa de banco demostrativo.

ALTERNATIVA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
1. Banco hidráulico con horquilla móvil y panel de control	<ul style="list-style-type: none"> • Más seguro • Facilidad en el control de los parámetros 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo elevado • Requiere de mayor mantenimiento
2. Banco demostrativo sin horquilla móvil y sin el sistema vibratorio.	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo • Menor tiempo de instalación • Requiere de menor mantenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Control manual • Menor seguridad

Elaboración propia

2.2 Matriz de Selección

Una matriz de selección es una técnica de clasificación jerárquica para evaluar alternativas o soluciones propuestas basadas en criterios específicos. Vinculado al concepto, para seleccionar la mejor alternativa de solución para el banco demostrativo, se tomarán en cuenta 6 criterios: seguridad de los estudiantes, costo de elementos e instalación del banco, mantenimiento del banco, control del sistema, equipo necesario y aprendizaje del estudiante.

- **Seguridad:** La alternativa que provea un menor riesgo de accidentes en la manipulación del banco demostrativo. Se le otorgará un mayor puntaje a la alternativa más segura.
- **Costo de elementos e instalación del banco:** El concepto de costo se refiere al gasto económico que representa la compra de los elementos o instrumentos y la adecuación de los mismos, así como, la instalación del banco demostrativo. Se le asignará mayor puntaje al diseño que genere el menor costo debido a los elementos a implementar e instalación.

- **Mantenimiento del banco demostrativo:** Se refiere a la conservación del banco en buen estado. Se le otorgará el puntaje más alto a la alternativa que requiera menor frecuencia para mantenimiento de los elementos mecánicos e hidráulicos.
- **Control del sistema:** El sistema que permite mayor facilidad en la manipulación de los parámetros y, visualización de la lectura de los instrumentos o medidores. Se le asignará un mayor puntaje a la alternativa que es más fácil de manipular y visualizar.
- **Elementos necesarios:** Son los elementos que requiere el banco demostrativo para mantenerse en funcionamiento. Se le asignará un mayor puntaje a la alternativa que posee menor número de elementos.
- **Aprendizaje del estudiante:** Se refiere a la adquisición de conocimiento por medio de experimentación. Se le asignará mayor puntaje a la alternativa que permite al estudiante un mejor entendimiento de las prácticas a dictar en el banco demostrativo.

La calificación que se les dará a las dos alternativas de banco demostrativo se encuentra detallada en la tabla 2.2 con respecto a los criterios anteriormente establecidos.

Tabla 2.2 Rango de calificación para cada alternativa en base al criterio.

Calificación	Valor
Favorable	1
Regular	0.5
No favorable	0

Elaboración propia

Las ponderaciones seleccionadas para cada criterio fueron establecidas en una escala del 1 al 10, como se observa en la tabla 2.3, donde la suma de cada una de las ponderaciones debe sumar 10. El valor asignado, se justifica en base a las ventajas y desventajas mostradas en la tabla 2.1.

Tabla 2.3 Ponderación de cada criterio.

Criterio	Ponderación
Seguridad	2.0
Costo de elementos e instalación del banco	2.0
Mantenimiento del banco demostrativo	1.5
Control del sistema	1.5
Elementos necesarios	1.5
Aprendizaje del estudiante	1.5

Elaboración propia

De acuerdo con la tabla 2.3, se les da mayor ponderación a los criterios de seguridad y costo de elementos e instalación del banco. En base al primer criterio, el banco demostrativo se encuentra dirigido principalmente a estudiantes que están en pleno aprendizaje, por lo que se requiere el banco que presente la menor posibilidad de riesgos durante su uso. Con respecto al segundo criterio, se busca economizar en base a la alternativa que genere un menor costo de adecuación, implementación de elementos e instalación.

Por otro lado, los criterios de mantenimiento del banco, control del sistema y equipo necesario poseen una menor ponderación debido a que el mantenimiento para cada alternativa depende principalmente del uso del banco y del número de elementos necesarios para satisfacer la condición de funcionamiento.

Sobre las bases de las ideas expuestas, con el objeto de seleccionar la mejor alternativa se genera una matriz capaz de comparar el rango de calificación (ver tabla 2.2) con los criterios ponderados (ver tabla 2.3),

designando si dicha alternativa es favorable, regular o no favorable. La matriz se estipula en la tabla 2.4.

Tabla 2.4 Matriz de selección para cada alternativa.

Criterio	Ponderación	Calificación		Calificación con ponderación	
		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 1	Alternativa 2
Seguridad de los estudiantes	2.0	1	0.5	2.0	1.0
Costo de elementos e instalación del banco	2.0	0	1	0	2.0
Aprendizaje del estudiante	1.5	1	1	1.5	1.5
Mantenimiento del banco	1.5	0.5	1	0.75	1.5
Control del banco demostrativo	1.5	1	0	1.5	0
Equipo necesario	1.5	0.5	1	0.75	1.5
Total (suma)	10			6.50	7.50

Elaboración propia

De acuerdo con la matriz de selección para cada alternativa, se selecciona la **Alternativa 2: ‘Banco demostrativo sin horquilla móvil y sin el sistema vibratorio’** (ver tabla 2.4), para la adecuación del banco demostrativo, cuya calificación tuvo el valor ponderado más alto con 7.50/10.

2.3 Metodología de Diseño para la Bancada

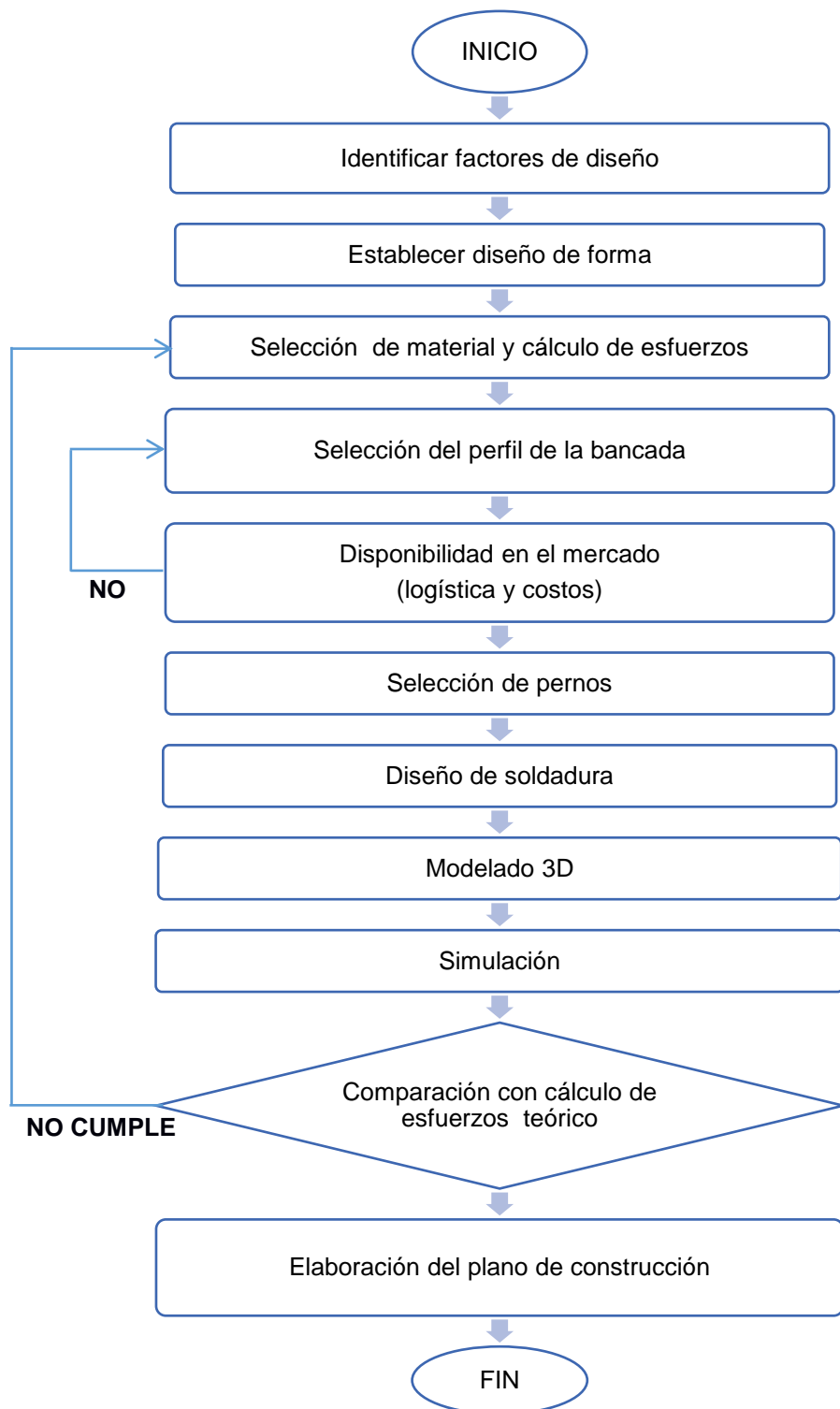


Figura 2.3 Diagrama de Metodología de diseño para la bancada.

Elaboración propia

El proceso de diseño de la bancada se inicia al identificar los principales factores o variables que puedan comprometer la estabilidad del banco demostrativo en el suelo.

Los principales factores de diseño a considerar son: peso de diseño, variable necesaria para obtener el tipo y número de vigas a utilizar como apoyo para el banco demostrativo; condiciones de trabajo, cuyos parámetros indican la temperatura, presión y tipo de clima a la que se encontrará expuesta la bancada; y finalmente, nivelación del suelo, factor que indica si la superficie del piso presenta algún tipo de desnivel que pueda afectar en la instalación del banco.

Como se indica en la figura 2.3, posterior a identificar los factores de diseño, se prosigue a establecer el diseño de forma de la bancada, en este paso se detalla el número y posición de las vigas a utilizar, para brindar rigidez y estabilidad; el perfil y tamaño de viga HEB, necesaria para soportar los esfuerzos calculados; medidas como ancho, longitud y altura a la que se encontrará el banco demostrativo, para brindar una correcta visualización de los componentes y medidores.

El siguiente paso es seleccionar el material, calcular los esfuerzos teóricos y el factor de seguridad de los elementos que componen la bancada en base a los factores diseño y al diseño de forma, mencionados anteriormente.

Una vez obtenidos los esfuerzos de cada elemento a analizar a partir de un factor de seguridad asumido, se puede obtener y seleccionar el tamaño de viga HEB en base a su disponibilidad en el mercado; los pernos de fijación, usados para el ensamblaje de la bancada; los pernos de anclaje, para fijar el banco demostrativo al suelo; y el tipo de soldadura y el tamaño de la misma, para unir permanentemente las vigas.

De acuerdo con los resultados obtenidos, es posible realizar el modelado de la bancada en un programa de modelado 3D; y la simulación estructural en ANSYS: Workbench (programa cuya licencia pertenece a ESPOL – FIMCP) para la posterior comparación con los resultados teóricos.

Una vez detallado el modelado y considerando que la bancada cumple todos los requisitos anteriormente establecidos, es necesario elaborar los planos de construcción, en los cuales se puede visualizar los materiales y las dimensiones precisas y necesarias de cada elemento para un buen montaje y estimación de costos.

2.3.1 Factores de diseño

Peso de diseño

El peso de diseño se define como la carga que deberá soportar la bancada en la cual se apoyará el banco demostrativo. Para ello, el centro de gravedad del rodillo debe estar ubicado dentro de los soportes a utilizar.

Cabe mencionar que, dentro de la cabina del operador se encontrarán hasta 3 personas con masa individual de 100 kg, las cuales podrán manipular el banco demostrativo, mencionada masa de los individuos será considerada como carga sumada al peso de diseño. En la tabla 2.5 se detalla la masa aproximada del rodillo y cada uno de sus componentes para el análisis estático de la bancada.

Tabla 2.5 Pesos de los componentes del rodillo vibrador liso CS-531C.

CS-531C Compactador Vibratorio (Rodillo liso)		
Componente	Masa (kg)	Masa (lb)
Rodillo con ROPS o lastre	9080	20018
Rodillo con ROPS, sin lastre	9310	20525
Rodillo con ROPS y lastre	10442	23021
Tambor con el conjunto de pesas	3715	8190
Horquilla (Bastidor delantero)	1452	3200
Techo de la cabina	159	350
Motor	590	1300
Conjunto de neumáticos	681	1500
Diferencial posterior	386	850
Bastidor posterior sin componentes	2042	4500

Fuente: (Caterpillar, Manual de Operación y Mantenimiento., 2001)

$$W_{\text{diseño}} = W_{\text{total}} + 3 * W_{\text{persona}} - W_{\text{horquilla}} - W_{\text{tambor y pesas}} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde: $W_{\text{diseño}}$: Peso de diseño.

W_{total} : Peso total del rodillo con ROPS y lastre.

$W_{\text{horquilla}}$: Peso de la horquilla.

$W_{\text{tambor y pesas}}$: Peso del tambor y el conjunto de pesas.

W_{persona} : Peso de una persona.

De lo estipulado en la tabla 2.5 y en la ecuación 1, se obtiene que el peso a considerar para el diseño de la bancada equivale al peso total, más el peso de 3 personas, menos el peso del bastidor delantero y el tambor con el conjunto de pesas, es decir 5575 kg (5.6 toneladas).

Condiciones de trabajo

El banco demostrativo se encontrará trabajando bajo condiciones estándar, dentro de un almacén libre de lluvia y sol, clima que posee la ciudad de Guayaquil.

En cuanto a movilidad, el banco demostrativo no estará en movimiento, por lo que se diseñará una bancada fija capaz de soportar el peso de diseño anteriormente establecido.

Nivelación del suelo

La nivelación del suelo es un procedimiento importante previo a la instalación de un equipo, donde se comparan varios puntos de la superficie del piso para determinar si existe algún desnivel.

Vinculado al concepto, para la instalación del banco demostrativo es necesario un piso de cemento estable y nivelado, por lo cual se sugiere ubicarlo dentro de las instalaciones de FIMCP.

2.3.2 Diseño de forma de la bancada

El diseño de forma de la bancada ha sido elaborado tomando en consideración la estabilidad y rigidez del mismo. La estructura debe ser capaz de soportar las cargas y pesos aplicados por el banco demostrativo.

La bancada estará compuesta por dos soportes anclados al suelo, uno ubicado en la parte delantera y el otro en la parte posterior del banco demostrativo, tal como se muestra en la figura 2.4. Los soportes estarán conformados por una viga horizontal apoyada sobre sus respectivas columnas. Adicionalmente, a los costados de dicha viga horizontal se soldarán dos placas para evitar el desplazamiento causado por las vibraciones y, asimismo, para asegurar el preciso montaje del banco demostrativo.

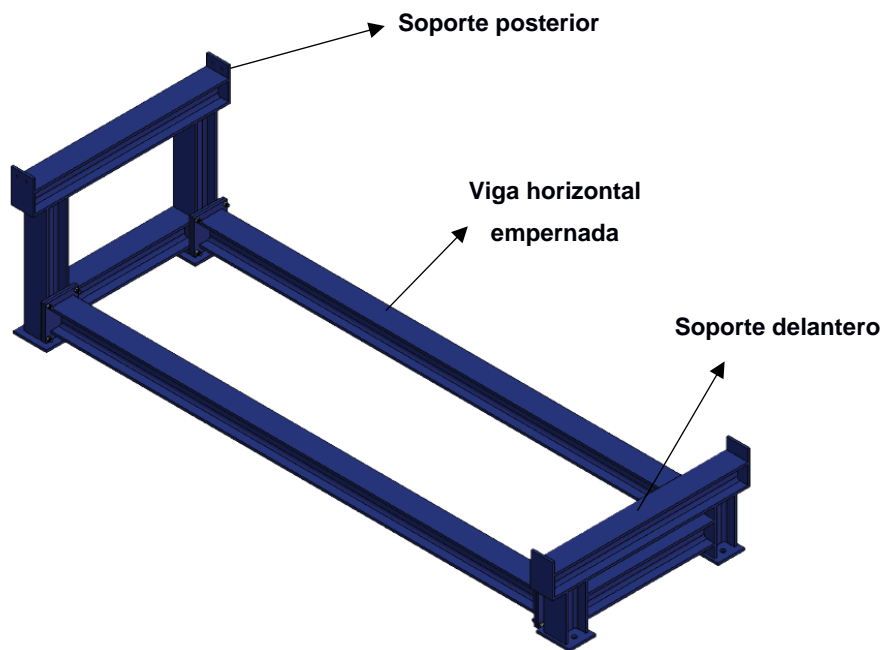


Figura 2.4 Diseño de forma de la bancada.

Elaboración propia

Cada soporte contará con una viga horizontal soldada entre sus columnas, y al mismo tiempo, ambos soportes se encontrarán empernados a dos vigas horizontales a lo largo del banco demostrativo con el objeto de darle una mayor rigidez a toda la estructura.

Se piensa diseñar la estructura de la bancada con un solo tipo de viga HEB, cuya dimensión será calculada y seleccionada posteriormente utilizando el peso máximo de diseño.

La longitud de las vigas horizontales que sirven de apoyo para el banco demostrativo dependerá del ancho total del bastidor posterior del rodillo (86 centímetros), a esta medida se le agregará medio centímetro adicional a cada extremo, dándole un espacio para mayor facilidad al momento del montaje.

La distancia del rodillo compactador al suelo varía con respecto a la forma del bastidor posterior (ver figura 2.5.a), por lo que existirá una diferencia

de altura entre los dos soportes. Estas alturas serán dimensionadas dependiendo de la altura a la que se encuentra inicialmente el rodillo con los neumáticos. Sin embargo, considerando que el banco demostrativo es elaborado para fines didácticos, será apropiado reducirle al menos 15 centímetros de alto a cada lado de la bancada con el propósito de que los estudiantes tengan una mejor observación del mismo (ver figura 2.5.b).

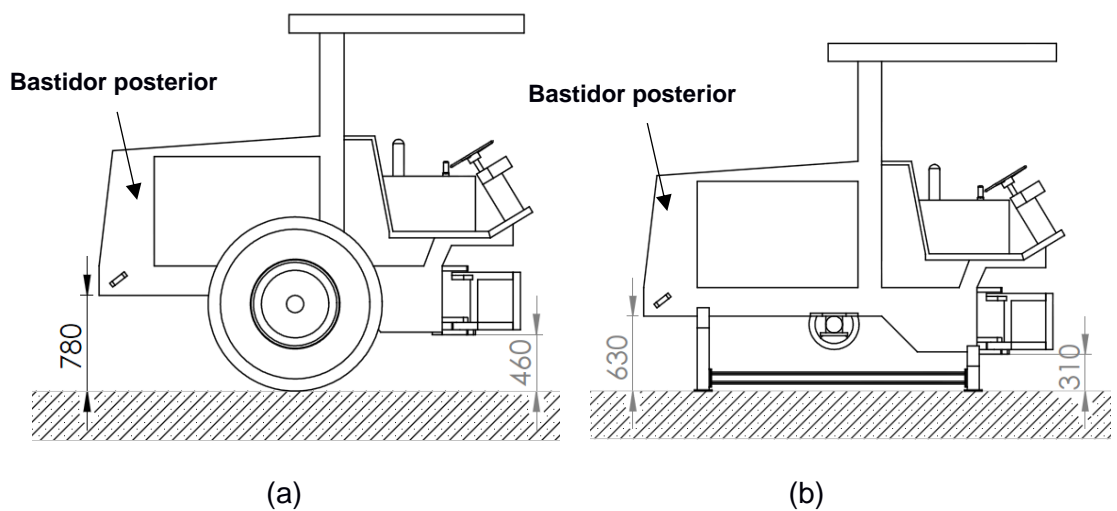


Figura 2.5 Distancia en [mm] del rodillo compactador al suelo.

Elaboración propia

Las longitudes de las vigas horizontales empernadas deberán ser dimensionadas sujetándose a que el centro de gravedad del banco se encuentra posicionado dentro de los soportes. Se estima que la longitud deberá de ser de 2 metros de largo. Además, a los extremos de cada viga irá soldada una placa con 4 agujeros para el ensamblaje del conjunto.

En la figura 2.6, se observa el banco demostrativo montado sobre la bancada con todas las descripciones anteriormente mencionadas.

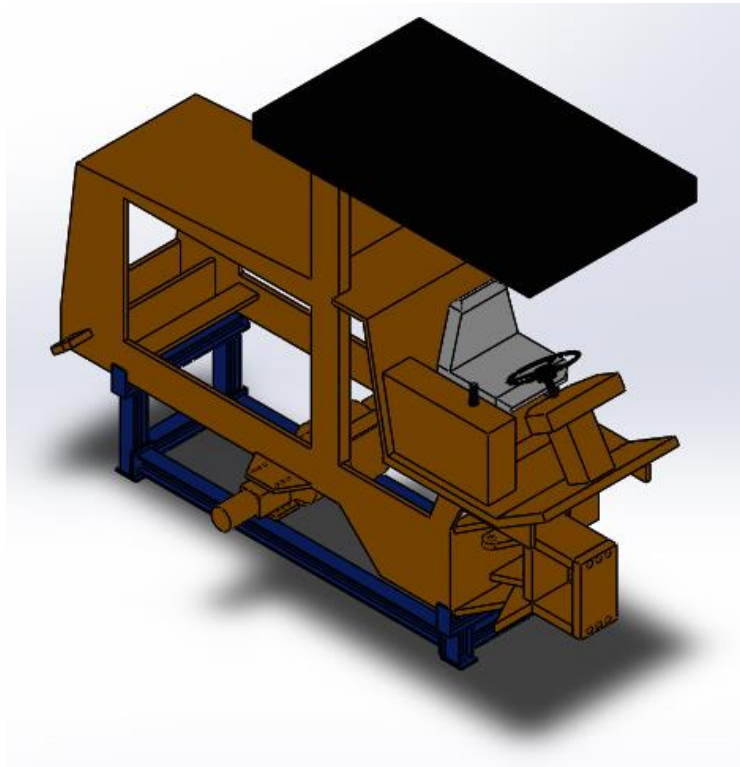


Figura 2.6 Diseño final de la bancada.

Elaboración propia

2.3.3 Análisis estático

Como se detalló en el diseño de forma, el bastidor posterior contará con dos soportes, uno delantero y otro posterior. Los mismos que se encontrarán ubicados a una distancia $L/2$ tomada desde el centro de gravedad aproximado de la maquinaria (ver figura 2.7).

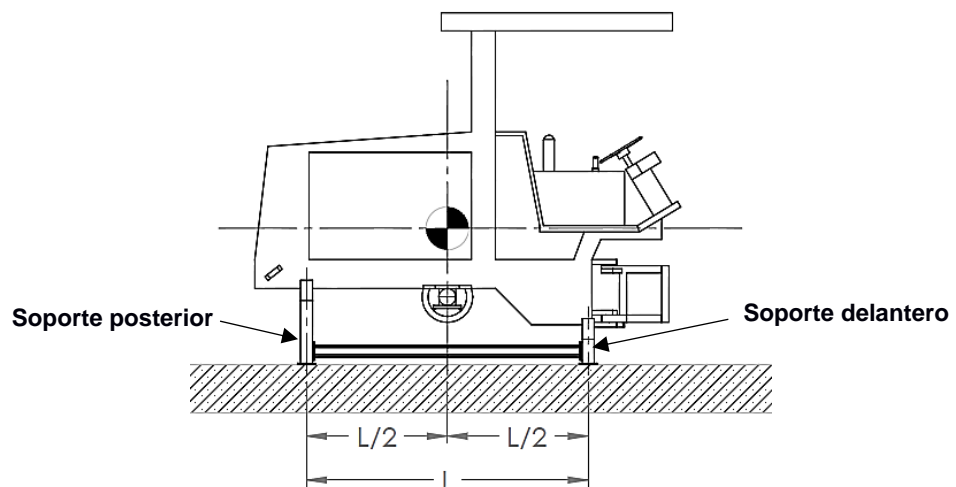


Figura 2.7 Posición del centro de gravedad del banco demostrativo.

Elaboración propia

La posición del centro de gravedad de la maquinaria fue aproximada de acuerdo a los catálogos (Caterpillar C. P., 2017) y (Caterpillar, Manual de Operación y Mantenimiento., 2001), los cuales brindan información relevante a dimensiones y pesos de la maquinaria.

De lo anteriormente expuesto, se procedió a realizar un estudio de esfuerzos sobre la bancada considerando un escenario crítico debido a que no se conoce el punto exacto del centro de gravedad ni el tipo de distribución de fuerzas, donde en vez de colocar una carga distribuida debido al peso de la parte posterior del rodillo, se colocó una carga puntual en el centro de la viga en uno de los soportes (ver figura 2.8). En

otras palabras, el peso al que se encontrará sometido cada soporte es igual a la mitad del peso de diseño $\frac{W_{\text{diseño}}}{2}$.

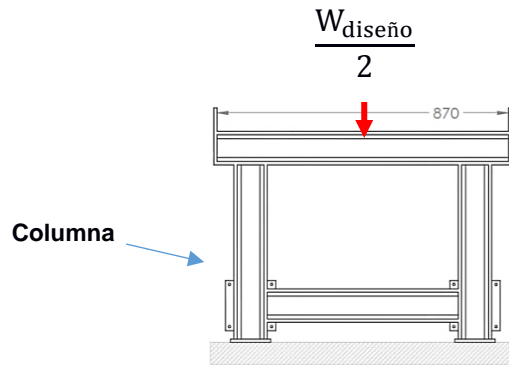


Figura 2.8 Soporte posterior del banco demostrativo

Elaboración propia

La calculadora libre online 'bendingmomentdiagram' fue usada para realizar el análisis estático del soporte posterior. Para ello, fue necesario asumir la viga como fija de un lado y libre del otro, tal como se muestra en la figura 2.9, es decir, la carga $\frac{W_{\text{diseño}}}{2}$ se repartirá de forma equitativa en sus columnas.

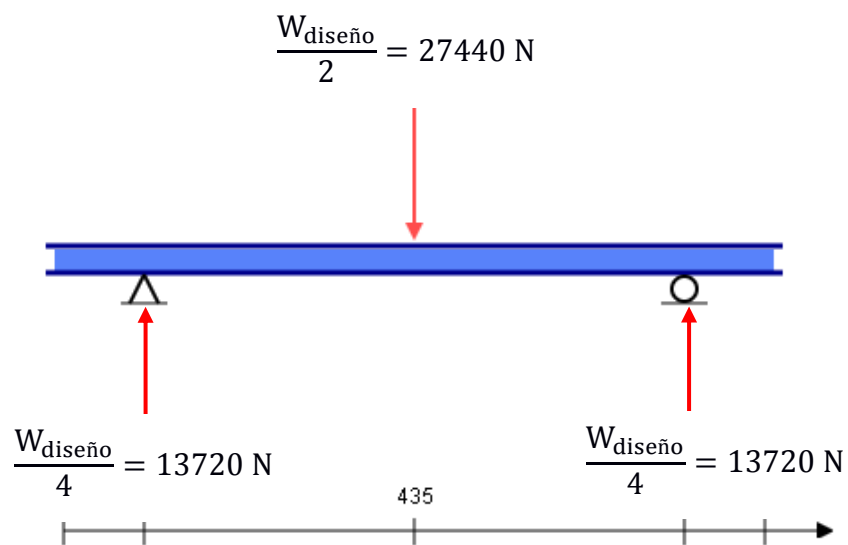


Figura 2.9 Viga simplemente apoyada con un extremo fijo y el otro libre.

Elaboración propia

Se obtuvo que las reacciones, colocadas a una distancia de 100 mm de cada extremo de la viga, son iguales en una magnitud de 13720 N, y en dirección vertical hacia arriba.

En el diagrama de fuerza cortante se muestran las fuerzas internas que se generan en la viga para equilibrar las fuerzas aplicadas externamente y para garantizar el equilibrio en todas partes.

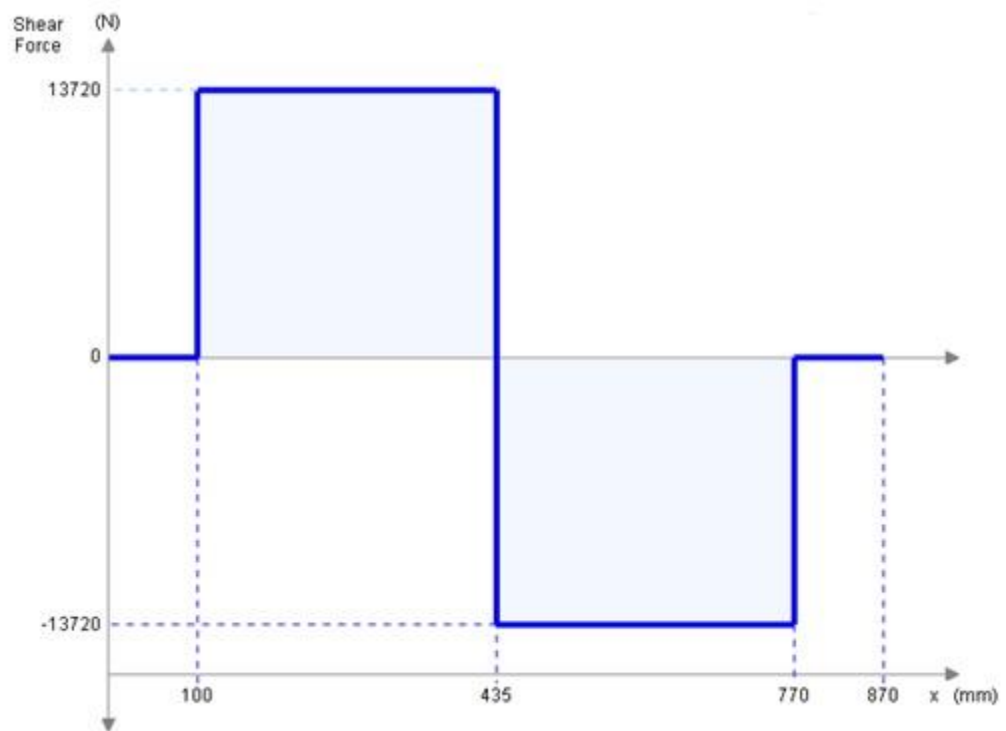


Figura 2.10 Diagrama de fuerza cortante de la viga simplemente apoyada.

Elaboración propia

Tal como se muestra en la figura 2.10, la fuerza cortante a la que es sometida la viga varía en un rango de [13720, -13720] N.

Una vez obtenido el diagrama cortante, es posible obtener el momento máximo, el cual es calculado por medio del diagrama de momento flector, tal como se muestra en la figura 2.11

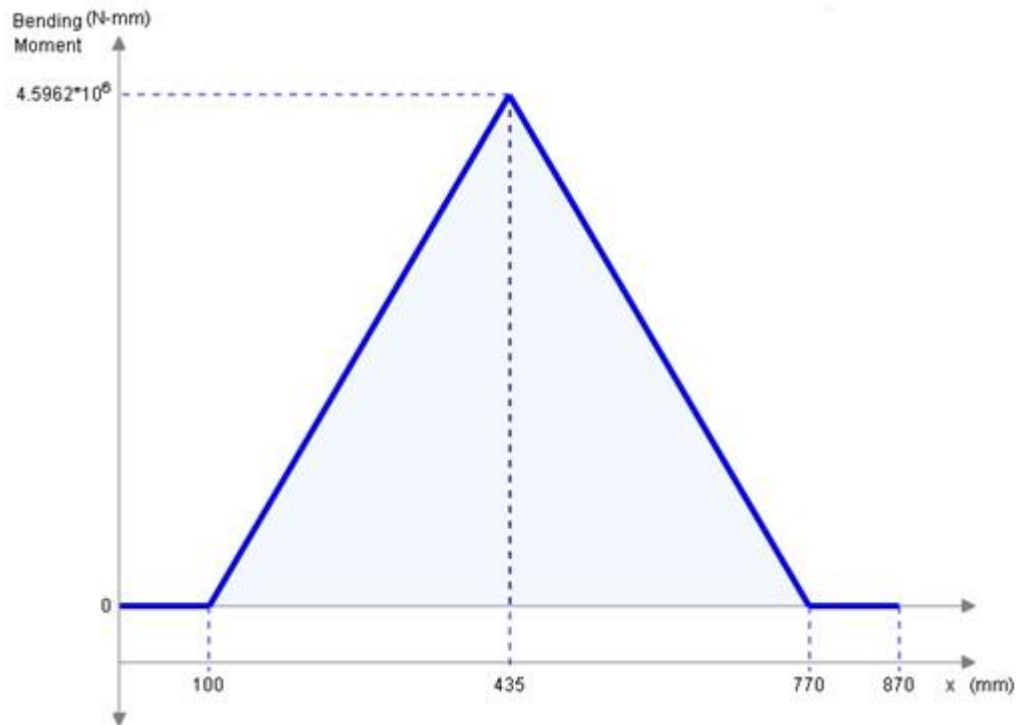


Figura 2.11 Diagrama de momento flector.

Elaboración propia

En la figura 2.11 se puede apreciar que el momento varía linealmente en un rango de $[0, 4.5962 \times 10^6]$ N-mm, siendo su momento flector máximo 4.5962×10^6 N-mm, cuyo valor será usado para obtener el esfuerzo máximo y a su vez para la selección de la viga.

2.3.4 Selección de materiales

En esta sección se procede a detallar los pasos a seguir para diseñar la bancada especificada en el diseño de forma. De acuerdo al diagrama mostrado en la figura 2.3, es necesario seleccionar el material a usar para la construcción de los soportes, cuya principal característica es que su resistencia a la fluencia sea mayor al esfuerzo al que se encontrará sometido (ver ecuación 2), para así obtener un factor de seguridad que evite que la bancada falle.

$$\eta = \frac{\text{Resistencia}}{\text{Esfuerzo}} \geq 1 \quad \text{Ec. (2)}$$

Otra variable importante para la selección del material es que exista disponibilidad del mismo en el mercado. Para el diseño de la bancada se seleccionó acero estructural a partir de la norma ASTM – A36, sus propiedades se muestran en la tabla 2.6.

Tabla 2.6 Propiedades del acero estructural, norma ASTM – A36.

Propiedades	Acero estructural ASTM – A36
Resistencia a la fluencia S_y	250 MPa
Resistencia a la ruptura S_{ut}	460 MPa
Módulo de Young E	200 GPa
Densidad	7850 kg/m ³

Fuente: (ASTM, 2000)

2.3.5 Selección del perfil de la viga

Para la selección del tamaño de viga HEB es necesario realizar el cálculo de esfuerzos sobre uno de los soportes (ver figura 2.8) de la bancada. Para ello, se requiere la resistencia del material (ASTM – A36) y el momento máximo determinado en el análisis estático.

La sección de la viga es obtenida por medio de la ecuación 3, cuyo valor resultante es comparado con la tabla de perfiles HEB (apéndice A, tabla 4.1).

$$W_x = \frac{\eta M_{\max}}{S_y} \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde W_x : Factor de sección de la viga
 η : Factor de seguridad de la viga
 M_{\max} : Momento flector máximo
 S_y : Resistencia a la fluencia del material

A parte del análisis de flexión detallado anteriormente, también es necesario analizar las columnas de cada soporte por compresión y por pandeo, para esto, se requiere determinar primero el tipo de columna: larga, intermedia o corta.

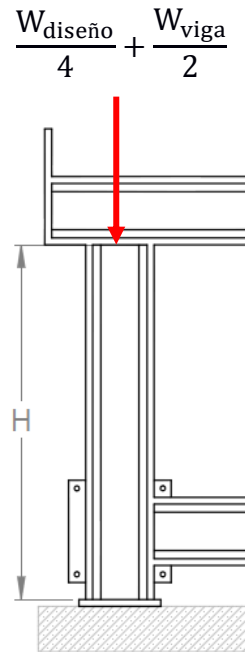


Figura 2.12 Columna de altura H.

Elaboración propia

Debido a que el material seleccionado es acero estructural tenemos los siguientes valores de esbeltez, $\frac{H_e}{r_g}$, para determinar el tipo de columna y el análisis a realizar.

Tabla 2.7 Análisis de columnas para acero estructural.

Tipo de columna	Esbeltez	Tipo de análisis
Larga	$\frac{H_e}{r_g} \geq 100$	Pandeo
Intermedia	$30 < \frac{H_e}{r_g} < 100$	Compresión y pandeo
Corta	$\frac{H_e}{r_g} < 30$	Compresión

Fuente: (Pytel&Singer, Resistencia de materiales. COLUMNAS. Pág. 363-635, 2008)

Donde $H_e = 0.7H$; Altura efectiva de la columna para un extremo articulado y el otro fijo
 r_g : Radio de giro del perfil de la columna

Los cálculos para determinar el perfil de la viga y sus dimensiones se detallan en el siguiente capítulo.

2.3.6 Selección de pernos

Para que la bancada pueda ser desmontable, se colocarán pernos de fijación que unan las dos vigas horizontales con los soportes. Para ello, es necesario agregar una placa en cada columna que conecte, por medio de pernos, a las placas soldadas a los extremos de dichas vigas. En cada placa estarán ubicados 4 agujeros, cuyo diámetro dependerá de los pernos que se utilizarán. La siguiente ecuación permitirá determinar el diámetro de los pernos para que la bancada no falle.

$$\eta = \frac{S_{Sy}}{\tau} = \frac{S_{Sy}}{F_p/A_p} = \frac{S_{Sy}\pi d_p^2}{4F_p} \geq 1 \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde η : Factor de seguridad.
 F_p : Fuerza total soportada por un perno.
 $S_{Sy} = 0.5S_y$: Resistencia al cortante.
 A_p : Área transversal del perno.
 d_p : Diámetro del perno.
 τ : Esfuerzo cortante

Además, como se mencionó en el diseño de forma, la bancada estará anclada al suelo, por ello se seleccionarán pernos de anclaje ubicados en la base de cada columna. Los esfuerzos causados por el peso y las vibraciones son mínimos, de modo que no influyen en la selección de pernos, y serán escogidos considerando el material del suelo. En el siguiente capítulo se detalla el tipo de pernos que se utilizarán.

2.3.7 Soldadura

Algunas de las uniones de la estructura de la bancada se las efectuará por soldadura utilizando la NORMA INEN 040, la cual, menciona los procedimientos, procesos y códigos a seguir para la soldadura de estructuras de acero (INEN, Reglamento Técnico Ecuatoriano: RTE INEN 040. Soldaduras de estructuras de aceros., 2011). La soldadura recomendada para la construcción de estructuras metálicas, según la NORMA AWS D1.1, es el arco eléctrico con electrodo metálico. Los procesos aprobados en esta Norma son: la soldadura manual con electrodo recubierto (SMAW), la soldadura automática de arco sumergido (SAW), la soldadura protegida por gases (GMAW) y la soldadura con núcleo fundente (FCAW).

El proceso más apropiado para el diseño de la bancada es la soldadura manual con electrodo recubierto, por ser la más común y más fácil de efectuar. Se usarán los electrodos E6010, que será aplicado como base; y E7018, aplicado como recubrimiento. Se han escogido estos electrodos puesto que son compatibles con el acero estructural A36, es decir, para que una soldadura sea compatible, la resistencia a la fluencia mínima como la resistencia a la ruptura en tensión del metal de aportación depositado, deben ser iguales o mayores que los correspondientes del acero A36. En la tabla 2.8 se muestran las propiedades de los electrodos que se utilizarán.

Tabla 2.8 Propiedades de los electrodos E6010 y E7018.

Propiedades	E6010	E7018
Resistencia a la fluencia S_y [MPa]	331	365
Resistencia a la ruptura S_{ut} [MPa]	412	250
Diámetro [in]	1/8	5/32

Fuente: (AWS-A5.1, 2002)

Para determinar el espesor de la garganta de la soldadura debe cumplirse que, el factor de seguridad sea mayor e igual a 1.

$$\eta = \frac{S_{Sy}}{\Delta\tau} \geq 1 \quad \text{Ec. (5)}$$

Donde $S_{Sy} = 0.5S_y$: Resistencia al cortante del metal base.

$\Delta\tau = \frac{F_S}{A_G}$: Esfuerzo cortante por soldadura.

F_S : Fuerza total que soportará la soldadura

A_G : Área de la garganta

Es conveniente recordar que para el cálculo de soldadura considerándola como línea requiere de los siguientes factores (Norton, 2011).

$$f_v = \frac{P}{A_w} \quad \text{Ec. (6)}$$

$$f_b = \frac{M}{S_w} \quad \text{Ec. (7)}$$

$$f_R = \sqrt{f_v^2 + f_b^2} \quad \text{Ec. (8)}$$

$$\Delta\tau = \frac{f_R}{t} \quad \text{Ec. (9)}$$

Donde f_v : Carga cortante.

P: Fuerza total.

A_w : Factor de área por longitud.

f_b : Carga flexión

M: Momento.

S_w : Factor de módulo de sección.

f_R : Factor resultante.

En el siguiente capítulo se muestra el diseño de juntas y los cálculos respectivos para determinar el espesor de soldadura.

2.3.8 Simulación de la Bancada

La simulación estructural y de vibración de la bancada se realizará a través de 'ANSYS: WORKBENCH R17.0 Academic', la cual ayudará a realizar la comparación de los resultados teóricos con los simulados.

Análisis estructural

Primeramente, es necesario modelar la bancada a partir de los resultados obtenidos en el cálculo de esfuerzos, ya que la geometría de la misma será importada a ANSYS para su respectiva simulación. Como se puede observar en la figura 2.13, la geometría consta de 4 partes: el soporte delantero, el soporte posterior y las 2 vigas horizontales ubicadas a lo largo del eje X.

Una vez que la geometría ha sido importada, es posible realizar el mallado, la aplicación de fuerzas y restricciones, para así determinar los esfuerzos críticos y su factor de seguridad.

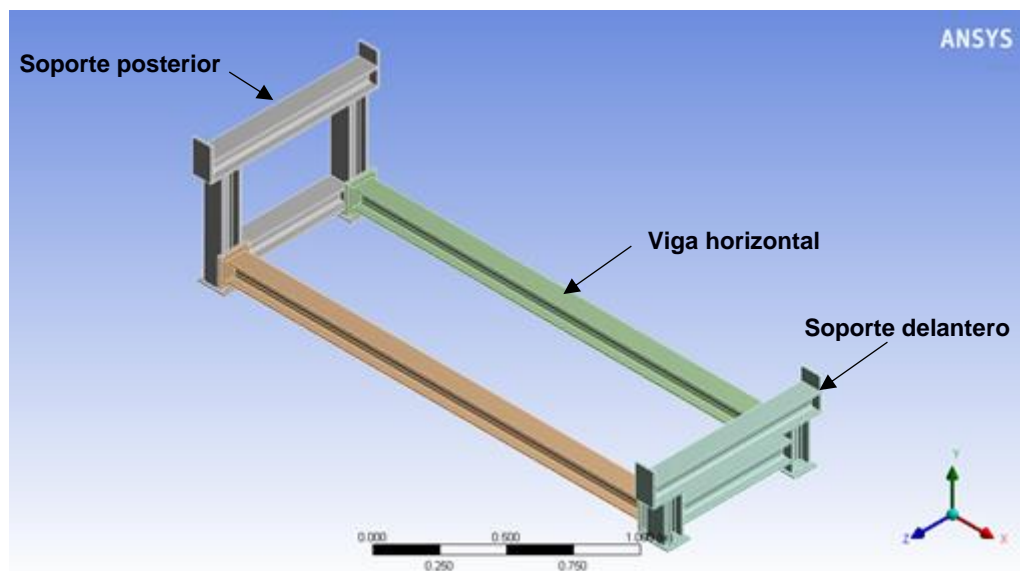


Figura 2.13. Bancada importada en ANSYS: WORKBENCH R 17.0 Academic.

Elaboración propia

Análisis de vibración

Las vibraciones son la propagación de ondas elásticas que producen tensiones y deformaciones sobre un medio continuo.

En nuestro caso, las vibraciones son producidas principalmente por el motor cuando el banco demostrativo se encuentra encendido, por ello es importante analizar si las vibraciones influyen en el diseño de la bancada.

En la figura 2.14 se observa uno de los amortiguadores del motor, el cual evita la transmisión de vibraciones al bastidor posterior. Así mismo estos elementos, los poseen el radiador, las bombas, la cabina, entre otros.



Figura 2.14 Amortiguador del motor.

Elaboración propia

Puesto que la maquinaria cuenta con varios amortiguadores en los elementos que emiten vibración a lo largo del bastidor posterior, se asume que la probabilidad de que la bancada falle es mínima. Para verificar dicha asunción, se realizará un análisis 'Modal' en ANSYS: WORKBENCH para determinar las frecuencias naturales a las que la bancada se encuentra sometida y así determinar si existe resonancia con el motor.

Se sabe que existe resonancia entre dos elementos siempre y cuando, ambos se encuentren vibrando a la misma frecuencia, esto es:

$$r = \frac{f}{f_n} = 1 ; \text{Resonancia} \quad \text{Ec. (10)}$$

Donde, r : Razón de frecuencias.

f : Frecuencia.

f_n : Frecuencia natural.

2.4 Metodología de diseño para el banco demostrativo

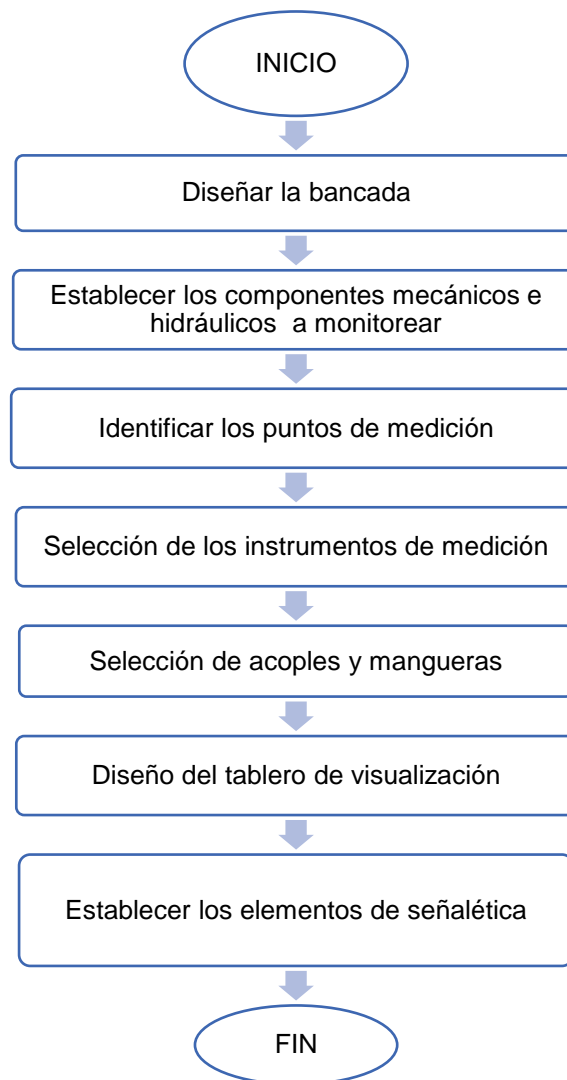


Figura 2.15 Diagrama de metodología para el diseño del banco demostrativo.

Elaboración propia

El proceso de diseño del banco demostrativo inicia con el diseño de la bancada, cuya metodología se estableció anteriormente.

El siguiente punto requiere establecer los componentes mecánicos e hidráulicos que serán necesarios monitorear (ver figura 2.15), detallando el rango de operación de los parámetros a medir, tales como presión y temperatura.

Luego de identificar los componentes, es posible determinar los puntos de medición donde serán colocados los instrumentos, para su respectiva lectura.

Se seleccionarán los instrumentos de medición según los parámetros y el rango de operación. Cabe mencionar que la lectura de los componentes se debe encontrar dentro de la capacidad del instrumento.

Posteriormente, para la ubicación de los elementos de medición, se identificará el tipo de acoples y mangueras que irán conectados a los componentes del banco demostrativo.

Una vez identificados los puntos de medición y seleccionados los instrumentos con los acoples, se realizará el diseño preliminar de un tablero de visualización para facilitar las lecturas de las medidas, ya que algunos componentes se encuentran ubicados en zonas que dificultan la observación.

Finalmente, para mejor comprensión de los estudiantes sobre los sistemas hidráulicos y mecánicos, y por medidas de seguridad, será apropiado establecer elementos de señalética dentro del banco demostrativo.

2.4.1 Componentes mecánicos e hidráulicos que monitorear y puntos de medición

Antes de ubicar los elementos de medición en el banco demostrativo, es importante identificar los componentes que se van a monitorear y los parámetros junto con el rango de operación.

A continuación, se indican los componentes hidráulicos (ver tabla 2.9) y mecánicos (ver tabla 2.10), a los cuales se realizarán las mediciones; y el rango de operación para el correcto funcionamiento.

Tabla 2.9 Parámetro y rango de operación de los componentes hidráulicos.

Componente	Parámetro	Rango de operación
1. Bomba de propulsión	Presión	6400 – 6800 psi
2. Bomba de vibración	Presión de alta	6245 –6845 psi
	Presión de baja	3200 – 3800 psi
	Presión de carga con el sistema vibratorio OFF	360 – 400 psi
	Presión de carga con sistema vibratorio ON	340 – 370 psi
3. Bomba de dirección	Presión	2650 – 2850 psi

Elaboración propia

Tabla 2.10 Parámetro y rango de operación de los componentes mecánicos.

Componente	Líquido o elemento	Parámetro	Rango de operación
Motor	Refrigerante	Temperatura	40 – 94 °C
	Aceite	Presión	36 – 88 psi
	Combustible	Presión	29 – 58 psi

Elaboración propia

En los componentes hidráulicos, se realizarán las siguientes mediciones: presión de la bomba de propulsión (Caterpillar, Manual de pruebas y ajustes: CS-531C Vibratory Compactor Propel System., 2001), presión de bomba de vibración (Caterpillar, Pruebas y ajustes: CS-531C Vibratory Compactor Vibratory System, 2001), y presión de la bomba de dirección (Caterpillar, Pruebas y ajustes: CS-531C Vibratory Compactor Steering System., 2001).

Dentro de los componentes mecánicos, se realizarán las siguientes mediciones: Temperatura del refrigerante, presión del aceite (Caterpillar, Pruebas y ajustes: 3114, 3116 y 3126 Motores para máquinas fabricadas por Caterpillar. Presión del aceite del motor., 2012) y presión del combustible (Caterpillar, Pruebas y ajustes: 3114, 3116 y 3126 Motores

para máquinas fabricadas por Caterpillar. Presión del sistema de combustible., 2012).

En el siguiente capítulo se detallará con mayor exactitud la localización de los puntos de medición.

2.4.2 Selección de los instrumentos de medición

El propósito del banco demostrativo es realizar lecturas de presión y temperatura en los componentes hidráulicos y mecánicos mencionados en la sección anterior. Para ello, es necesario seleccionar los instrumentos de medición más adecuados que serán acoplados para obtener dichas mediciones.

2.4.3 Selección de acoples, mangueras y accesorios

La selección de acoples se realizará acorde a las características de los puntos de medición mecánicos e hidráulicos, donde se debe tomar en cuenta el tipo de rosca (NPT o recta) y el número de hilos

En base a los puntos mecánicos, los acoples se seleccionarán en base al diámetro en el punto de medición del componente y al diámetro del instrumento de medición.

Por otro lado, en los puntos hidráulicos, los acoples serán seleccionados de la misma manera, a excepción que el instrumento no se encontrará conectado directamente al acople, sino, que se encontrará acoplado a una manguera de alta presión para una mejor observación de los parámetros.

2.4.4 Diseño del tablero de visualización

El tablero visualizador permitirá la lectura de presión en los componentes hidráulicos: Bomba de propulsión (avance y retroceso), bomba de

vibración (alta y baja) y bomba de dirección. Esto se debe a que dichos componentes se encuentran posicionados en áreas que dificulta su observación, de forma que se acoplarán mangueras que vayan desde el punto de medición al tablero.

Por otro lado, los componentes mecánicos como el motor, se encuentra en un punto de mayor visibilidad para los estudiantes, de tal forma que la lectura de los parámetros: presión y temperatura, en los instrumentos previamente seleccionados, no requerirá de un tablero de visualización.

2.4.5 Elementos de señalética

Los elementos de señalética a implementar en el banco demostrativo serán señales indicativas y señales complementarias de riesgo permanente.

Según la guía técnica de salud y seguridad ocupacional (INEN, Norma Técnica Ecuatoriana INEN: 439:19, 2005), las señales indicativas deben proporcionar información referida a objeto(s), en nuestro caso, componente(s), tal como se muestra en la figura 2.16; mientras que la señalización de riesgo permanente o advertencia, advierte al trabajador de un riesgo o un peligro, en nuestro caso, el banco demostrativo, cuya área de operación se debe encontrar limitada por la señal complementaria mostrada en la figura 2.17.



Figura 2.16 Señal indicativa.

Elaboración propia

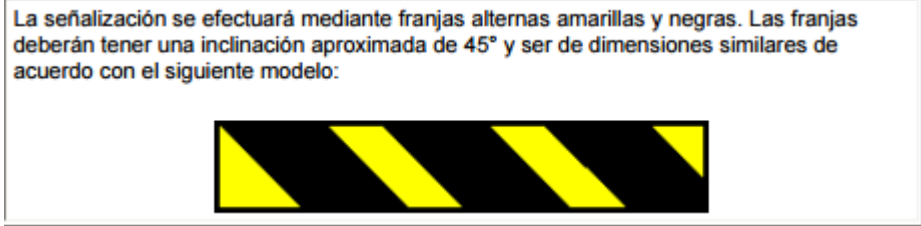


Figura 2.17 Señal complementaria de riesgo permanente.

Fuente: (Ministerio de trabajo y asuntos sociales, 1999)

El área de trabajo para que los estudiantes puedan manipular el banco demostrativo cómodamente y sin riesgo será determinada en base al Decreto Ejecutivo 2393 (IESS, 2010), el cual indica que la separación entre máquinas u otros aparatos no será menor a 800 milímetros, contándose esta distancia a partir del punto más saliente del equipo.

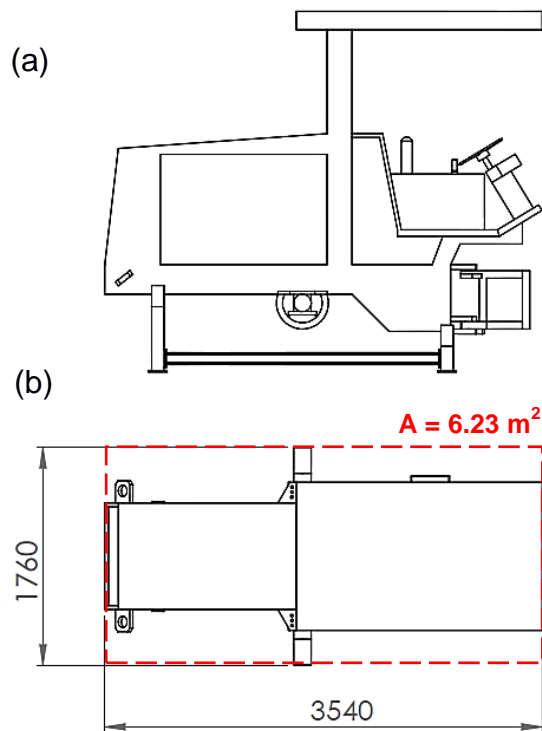


Figura 2.18 (a) Vista lateral del banco demostrativo, (b) Vista superior del banco demostrativo.

Elaboración propia

Para determinar la posición de la señalización complementaria, es necesario detallar las dimensiones más salientes del banco demostrativo, cuya área ocupada en rojo es de 6.23 m^2 , tal como se observa en la figura 2.18.b.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS

El presente capítulo detalla los cálculos realizados y las dimensiones de los elementos para obtener el diseño final de la bancada, tal como la selección del perfil de la viga HEB, el espesor de garganta de soldadura en los puntos de unión, y la selección de pernos de fijación y pernos de anclaje. Se realizó una simulación de la bancada para la comparación de los resultados teóricos con los simulados y un análisis de vibración para determinar si el diseño final se ve afectado por las vibraciones de la maquinaria.

Además, se describe el diseño del banco demostrativo y del tablero de visualización, donde se especifican los puntos de medición en los componentes hidráulicos y mecánicos, la selección de acoples, mangueras y accesorios, los instrumentos de medición y los elementos de señalética.

Finalmente, se elaboró un protocolo para la construcción e instalación de la bancada y del banco demostrativo, la logística para el transporte de la maquinaria a las instalaciones de la ESPOL y un análisis de costos que muestra el gasto económico total para adecuar el rodillo liso vibratorio en un banco demostrativo.

3.1 Bancada

El diseño final de la bancada se muestra en la figura 3.1, en la cual se indican cada uno de los elementos para poder identificarlos posteriormente en los cálculos de esfuerzos y factor de seguridad.

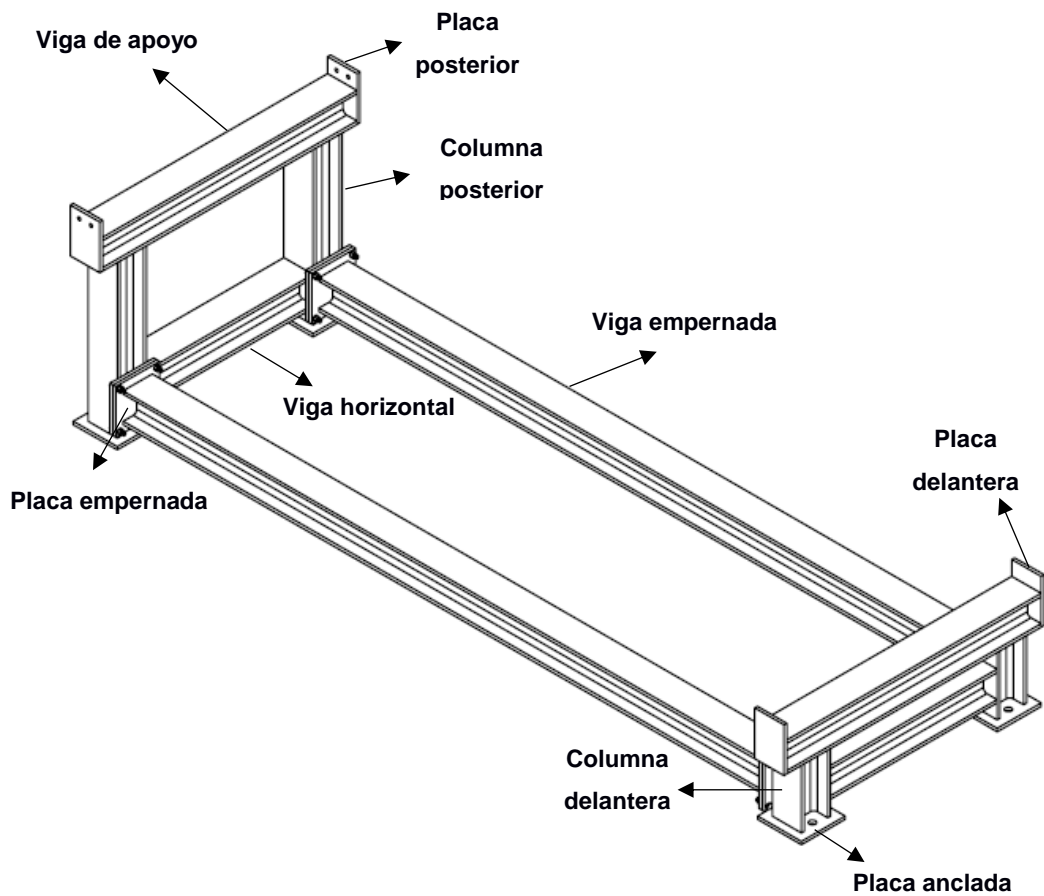


Figura 3.1 Elementos de la bancada.

Elaboración propia

3.1.1 Selección del perfil

Como se indicó en el capítulo 2, para la selección de la viga se debe obtener el momento flector máximo, el cual fue $4.5962 \cdot 10^6$ [N-mm] (ver figura 2.11); y las propiedades del acero ASTM A – 36 (ver tabla 2.6). Este valor de momento será utilizado para calcular el esfuerzo máximo al que se encuentran sometidos los dos soportes (delantero y posterior).

De acuerdo con la ecuación (3) y asumiendo un factor de seguridad de 4, ya que se trabaja con cargas permanentes debido al peso muerto del banco demostrativo (Pytel&Singer, Resistencia de materiales. Esfuerzo de trabajo y factor o coeficiente de seguridad. Pág.31, 2008), tenemos:

$$W_x = \frac{\eta M_{\max}}{S_y} = \frac{4 * (4596.2)}{250E6} = 7.35E - 5 [m^3] = 73.54 [cm^3]$$

El factor W_x se puede visualizar en la tabla de perfiles HEB en el Apéndice A – tabla 4.1, donde se obtiene que el perfil a utilizar es HEB 100, con los términos de sección detallados en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Términos de sección de la viga HEB 100.

PERFIL HEB 100	
Área A_{viga} [cm ²]	26.0
Factor de sección W_x [cm ³]	90
Inercia I_x [cm ⁴]	450
Radio de giro r_x [cm]	4.16
Peso [kg/m]	20.4
Distancia C desde el eje neutro a la fibra superior de la viga [cm]	10

Elaboración propia

Por lo tanto, tenemos que el esfuerzo teórico máximo o crítico de flexión para los dos soportes es:

$$\sigma_{\text{MAX}} = \frac{M_{\max} I_x}{C} = \frac{M_{\max}}{W_x} = \frac{4596.2}{9E - 5} = 51.1 [\text{MPa}]$$

Este esfuerzo teórico máximo de flexión ayudará como base de comparación con los resultados simulados.

La viga HEB 100 anteriormente seleccionada para apoyo del banco demostrativo, será usada como columna para evitar desperdiciar material, ya que las vigas solo son vendidas en largos de 6 y 12 metros de longitud. Como complemento, las columnas deben ser analizadas para determinar si éstas fallan por compresión o pandeo. Para ello, hay que identificar el tipo de columna: larga, intermedia o corta (ver tabla 2.7).

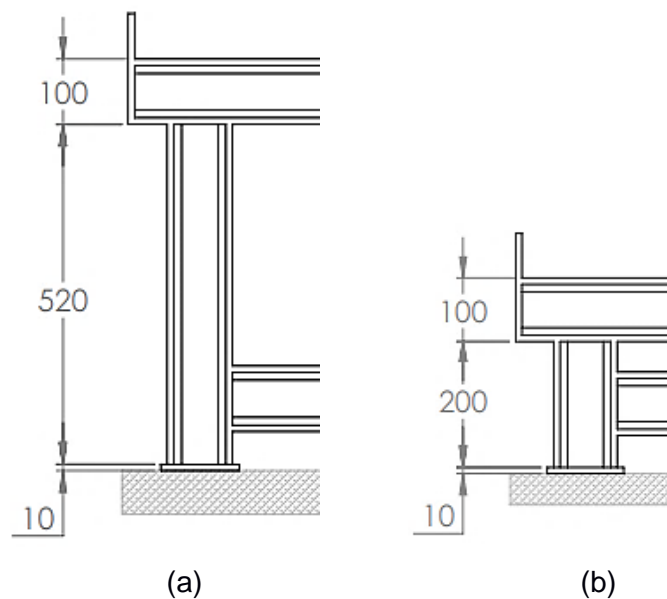


Figura 3.2 (a) Dimensiones columna posterior en [mm], (b) Dimensiones columna delantera en [mm].

Elaboración propia

Realizaremos el análisis para la columna posterior (ver figura 3.2.a), donde se puede observar que su altura H es 520 [mm]. Para identificar el tipo de columna, hay que determinar su esbeltez, para ello, es importante conocer su longitud efectiva H_e y radio de giro r_x .

$$H_e = 0.7 * H = 0.7 * 0.52 = 0.364 \text{ [m]}$$

$$\frac{H_e}{r_x} = \frac{0.364}{0.0416} = 8.75 < 30 ; \text{ Columna Corta}$$

Se obtuvo que la esbeltez es 8.75 y, de lo anteriormente expuesto en la tabla 2.7, el tipo de viga es corta, por lo tanto, solo se realizará el análisis por compresión.

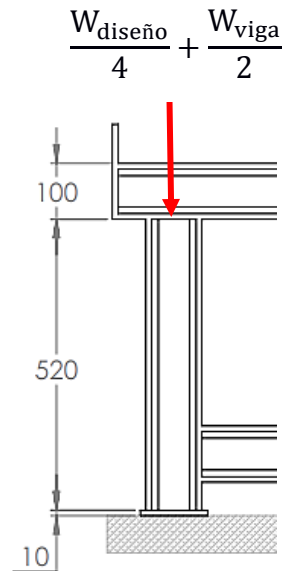


Figura 3.3 Columna posterior.

Elaboración propia

De la figura 3.3 se puede observar que una de las columnas posteriores soporta la cuarta parte del peso de diseño $\frac{W_{\text{diseño}}}{4}$, más la mitad del peso de la viga de apoyo $\frac{W_{\text{viga}}}{2}$. Con esto en mente, es posible realizar el cálculo de esfuerzos por compresión de una columna, donde el esfuerzo se encuentra dado por:

$$\sigma_c = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Área}} = \frac{\frac{W_{\text{diseño}}}{4} + \frac{W_{\text{viga}}}{2}}{A_{\text{viga}}} = \frac{13720 + \frac{20.4 * 0.87 * 9.8}{2}}{2.6E - 3} = 5.31 \text{ [MPa]}$$

Utilizamos el factor de seguridad para determinar si la columna falla o no, éste se encuentra dado por la ecuación (2), donde:

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma_c} = \frac{250 \text{ MPa}}{5.31 \text{ MPa}} = 47 \geq 1$$

El factor de seguridad obtenido es mayor a 1, por lo tanto, las columnas del soporte posterior no fallan. Por otro lado, las columnas del soporte delantero son más cortas que las analizadas, por lo tanto, se deduce que tampoco fallan y también se encuentran sobredimensionadas.

3.1.2 Soldadura

Para determinar si el tamaño de soldadura soportará los esfuerzos presentes, se asumirá un espesor de garganta de 5 milímetros en todas las uniones soldadas.

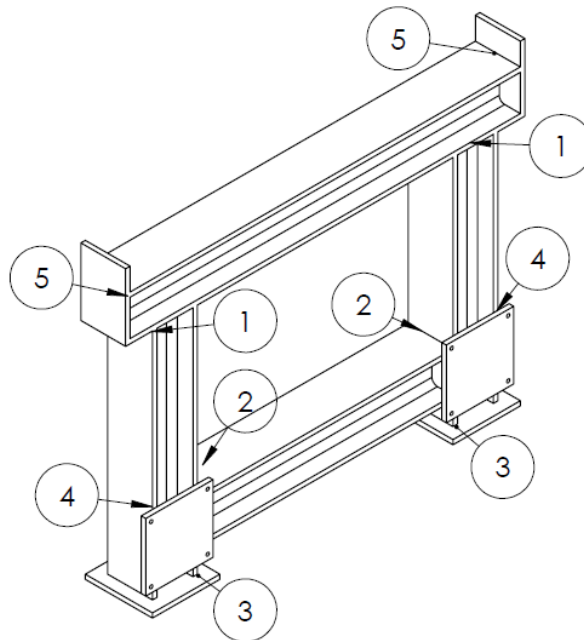


Figura 3.4 Uniones de soldadura en la bancada.

Elaboración propia

En la figura 3.4, se muestran todas las uniones que se soldarán, donde:

- Unión #1: Viga de apoyo soldada a las columnas.
- Unión #2: Viga horizontal soldada entre las columnas.
- Unión #3: Columnas soldadas a las placas ancladas.
- Unión #4: Placas emperradas soldadas a las columnas.
- Unión #5: Placas soldadas a los lados de la viga de apoyo.

Puesto que los soportes son semejantes y simétricos, se realizará cálculos de soldadura con el E6010 únicamente en el soporte posterior para determinar si el espesor asumido es capaz de resistir los esfuerzos presentes.

Soldadura # 1

La fuerza total que soportará la soldadura F_S en la unión 1 es la mitad del peso de diseño $\frac{W_{diseño}}{2}$ más la mitad del peso de la viga de apoyo $\frac{W_{viga}}{2}$, tal como se indica en la figura 3.5.a.

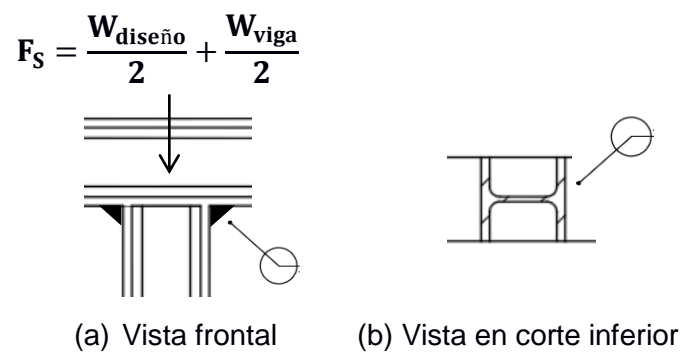


Figura 3.5 Fuerzas presentes en la unión de soldadura #1.

Elaboración propia

Para determinar si la soldadura falla es necesario calcular el factor de seguridad usando la ecuación (5), donde previamente se debe calcular el esfuerzo cortante.

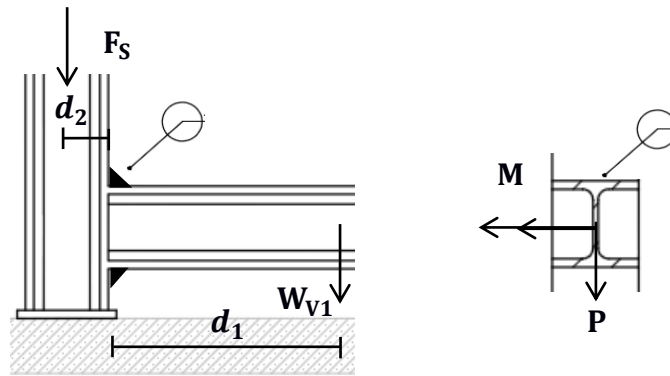
$$\Delta\tau = \frac{F_S}{A_G} = \frac{F_S}{Lt} = \frac{13.820}{(0,50)(0,005)(0,707)} = 7,82 \text{ [MPa]}$$

$$\eta = \frac{S_{Sy}}{\Delta\tau} = \frac{165,5E6}{7,82E6} = 21$$

Al asumir un espesor de garganta de 5 mm, se tuvo un factor de seguridad de 21. Por lo tanto, la soldadura en la unión 1 no falla.

Soldadura # 2

Las fuerzas que actúan en la unión 2 son: la fuerza total que soportará la soldadura F_S y el peso de la viga horizontal entre las columnas W_{V1} (ver figura 3.6.a). Estas dos fuerzas generan una fuerza total P y un momento total M en el centro de área de la soldadura como se muestra en la figura 3.6.b.



(a) Vista frontal

(b) Vista en corte lateral

Figura 3.6 Fuerzas presentes en la unión de soldadura #2.

Elaboración propia

Para el cálculo del momento M y la fuerza total P , se requiere el peso de la viga W_{viga} , la longitud de la viga horizontal entre las columnas L_{V1} , la distancia horizontal d_1 entre W_{V1} y la unión 2, y la distancia horizontal d_2 entre F_S y la unión 2.

$$W_{V1} = W_{viga} L_{V1} = (20,4)(9,81)(0,57) = 114,1 \text{ [N]}$$

$$P = F_S + W_{V1} = 13.820 + 114,1 = 13.934,1 \text{ [N]}$$

$$\begin{aligned} M &= M_2 - M_1 = F_S d_2 - W_{V1} d_1 = (13.820) \left(\frac{0,10}{2} \right) - (114,1) \left(\frac{0,57}{2} \right) \\ &= 658,5 \text{ [Nm]} \end{aligned}$$

A continuación, se muestra el procedimiento del cálculo de soldadura analizada como una línea, utilizando la tabla de factores geométricos

(Apéndice A, tabla 4.2) y las ecuaciones (6), (7), (8) y (9) descritas en el capítulo 2.

$$f_v = \frac{P}{A_w} = \frac{P}{2b + 2d} = \frac{13.934,1}{2(0,1) + 2(0,1)} = 34,8 \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}} \right]$$

$$f_b = \frac{M}{S_w} = \frac{M}{bd + d^2/3} = \frac{658,5}{(0,1)(0,1) + 0,1^2/3} = 49,4 \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}} \right]$$

$$f_R = \sqrt{f_v^2 + f_b^2} = 60,43 \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}} \right]$$

$$\Delta\tau = \frac{f_R}{t} = \frac{60.430}{0,005 * 0,707} = 17,10 \text{ [MPa]}$$

$$\eta = \frac{S_{Sy}}{\Delta\tau} = \frac{165,5E6}{17,10E6} = 9,7$$

Al asumir un espesor garganta de 5 mm, se tuvo un factor de seguridad de 9,7. Por lo tanto, la soldadura en la unión 2 no falla.

Soldadura # 3

Las fuerzas que actúan en la unión 3 son: la fuerza total que soportará la soldadura F_S y el peso de la columna W_C (ver figura 3.7.a).

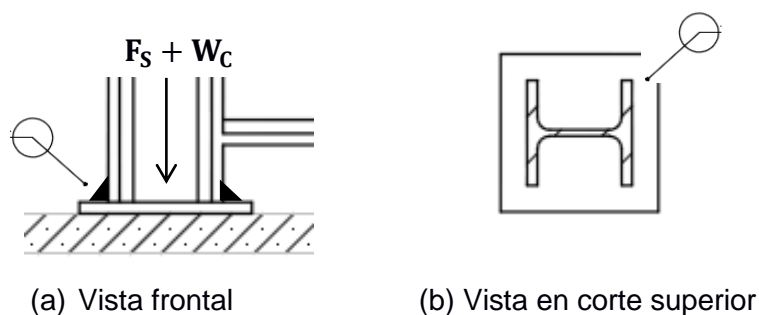


Figura 3.7 Fuerzas presentes en la unión de soldadura #3.

Elaboración propia

De acuerdo a la ecuación (5) se obtiene el factor de seguridad calculando previamente el esfuerzo cortante.

$$\Delta\tau = \frac{F_S + W_C}{A_G} = \frac{F_S + W_C}{L_t} = \frac{13.820 + 104,1}{(0,50)(0,005)(0,707)} = 7,88 \text{ [MPa]}$$

$$\eta = \frac{S_{Sy}}{\Delta\tau} = \frac{165,5E6}{7,88E6} = 21$$

Al asumir un espesor garganta de 5 mm, se tuvo un factor de seguridad de 21. Por lo tanto, la soldadura en la unión 3 no falla.

Soldadura # 4

Las fuerzas que actúan en la unión 4 son: la fuerza total que soportará la soldadura más el peso de la columna $F_S + W_C$ y el peso de la viga que será emperrada W_{V2} (ver figura 3.8.a). Estas fuerzas generan una fuerza total P y un momento total M en el centro de área de la soldadura (ver figura 3.8.b).

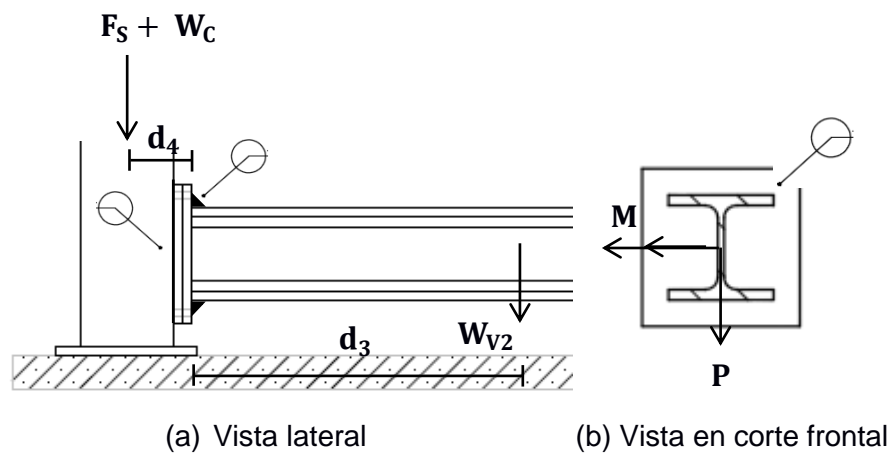


Figura 3.8 Fuerzas presentes en la unión de soldadura #4.

Elaboración propia

Para el cálculo del momento M y la fuerza total P , se requiere el peso de la viga W_{viga} , la longitud de la viga que será emperrada L_{V2} , la distancia horizontal d_3 entre W_{V2} y la unión 4, y la distancia horizontal d_4 entre $F_S + W_C$ y la unión 4.

$$W_{V2} = W_{viga} L_{V2} = (20,4)(9,81)(2,2) = 440,3 \text{ [N]}$$

$$P = F_S + W_C + W_{V2} = 13.820 + 104,1 + 440,3 = 14.364,4[\text{N}]$$

$$M = M_4 - M_3 = (F_S + W_C)d_4 - W_{V2}d_3 = (13.924,1)\left(\frac{0,10}{2}\right) - (440,3)\left(\frac{2,2}{2}\right)$$

$$= 1180,5 [\text{Nm}]$$

Utilizando el análisis de soldadura como línea, tal como se realizó para la soldadura #2, se tiene:

$$f_v = \frac{P}{A_w} = \frac{P}{2b + 2d} = \frac{14.364,4}{2(0,1) + 2(0,1)} = 35,9 \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}} \right]$$

$$f_b = \frac{M}{S_w} = \frac{M}{bd + \frac{d^2}{3}} = \frac{1180,5}{(0,1)(0,1) + \frac{0,1^2}{3}} = 88,5 \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}} \right]$$

$$f_R = \sqrt{f_v^2 + f_b^2} = 95,5 \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}} \right]$$

$$\Delta\tau = \frac{f_R}{t} = \frac{95.500}{0,005 * 0,707} = 27,02 [\text{MPa}]$$

$$\eta = \frac{S_{Sy}}{\Delta\tau} = \frac{165,5E6}{27,02E6} = 6,1$$

Al asumir un espesor garganta de 5 mm, se tuvo un factor de seguridad de 6,1. Por lo tanto, la soldadura en la unión 4 no falla.

Soldadura # 5

Las fuerzas presentes en esta soldadura son nulas, es decir, no hay fuerzas que actúen en esta unión debido a que la placa que se soldará sirve únicamente para facilitar el montaje (ver figura 3.9). Por ello, se empleará el mismo espesor de garganta de soldadura que en las uniones anteriores.

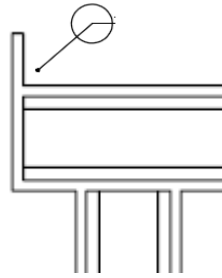


Figura 3.9 Unión de soldadura #5.

Elaboración propia

Utilizando un espesor de garganta de soldadura de 5 [mm] para todas las uniones, se obtuvo valores de factor de seguridad mayores a 1, satisfaciendo la ecuación (5) mencionada en el capítulo 2. Por lo tanto, el espesor de soldadura seleccionada es la apropiada para que la estructura no falle.

Cabe mencionar que los cálculos de soldadura realizados con el E6010 son los mismos para el revestimiento con el E7018.

3.1.3 Selección de pernos de fijación

El motivo por el que se usarán pernos de fijación es para tener una bancada desmontable, de manera que al momento de su instalación sea más fácil transportarla.

Los pernos de fijación brindarán mayor rigidez a la estructura. En la figura 3.10.a se detalla el arreglo de pernos a implementar, en [mm], para unir las vigas empernadas horizontales de 2.20 metros de longitud a los soportes (ver figura 3.10.b).

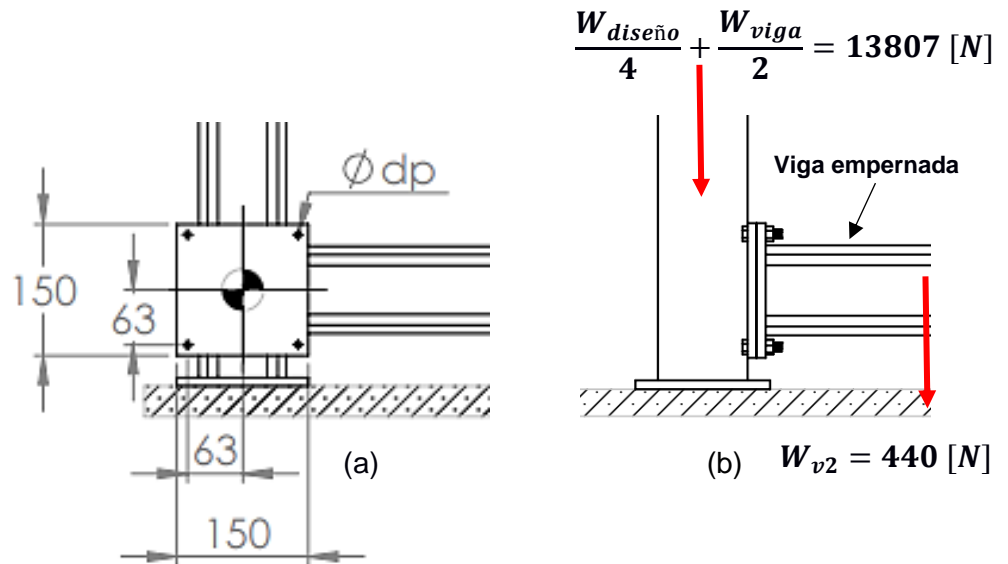


Figura 3.10 (a) Vista frontal de la posición de los pernos de fijación, (b) Vista lateral de la viga emperrada.

Elaboración propia

Ya que la viga emperrada se encuentra sujeta al soporte delantero y el posterior, su peso W_{v2} , se repartirá de forma equitativa en el centro geométrico del arreglo de pernos a los extremos de la viga, tal como se muestra en la figura 3.11.

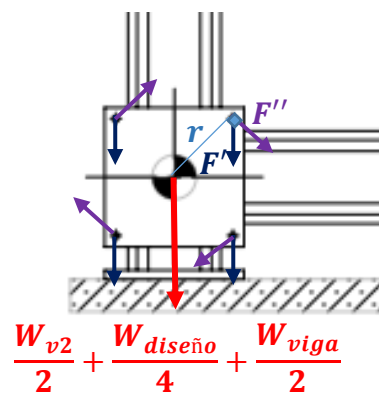


Figura 3.11 Fuerzas implicadas en el arreglo de pernos.

Elaboración propia

La fuerza vertical F' que actúa sobre cada perno es igual a la mitad del peso de la viga sobre el número de pernos en el arreglo, esto es:

$$F' = \frac{\frac{W_{v2}}{2} + \frac{W_{diseño}}{4} + \frac{W_{viga}}{2}}{\#pernos} = \frac{14027}{4} = 3507 [N] \downarrow$$

La fuerza perpendicular a la línea que une el centro de gravedad del arreglo con el centro de cada perno F'' es cero debido a que no hay momento que afecte a los pernos.

La suma de las fuerzas F' y F'' , es la fuerza total que actúa sobre cada perno.

$$\vec{F}_p = F' + F'' = 3507 [N] = 788,41 [lbf]$$

Esta fuerza total \vec{F}_p será usada para obtener el diámetro de perno d_p a partir de la ecuación (4), asumiendo un factor de seguridad de 4 y grado SAE 5 ($S_y = 92 [kpsi]$).

$$d_p = \sqrt{\frac{4F_p\eta}{\pi S_{Sy}}} = \sqrt{\frac{4 * 3507 * 4}{\pi * (0.5 * 634.3E6)}} = 7.5 [mm]$$

El diámetro óptimo de perno es 7.5 [mm]. No obstante, esta medida es muy pequeña y se recomienda escoger un diámetro mayor al obtenido para mejorar su estética. Por otro lado, la longitud del perno se determina en base al espesor de las placas empernadas, cuya dimensión es 10 [mm].

Por último, se selecciona un perno Grado SAE 5, de diámetro $d_p = 3/8 [in]$ con una longitud total de $1 \frac{1}{2} [in]$ y una rosca UNC de longitud de $3/4 [in]$, y arandelas planas de norma DIN 125 A, de tamaño M10.

En base al diseño de forma, el ensamblaje del conjunto requerirá de 16 pernos de fijación con las características detalladas anteriormente.

3.1.4 Selección de pernos de anclaje

El motivo por el cual se seleccionarán pernos de anclaje es para proporcionar mayor estabilidad y mantener la bancada fija al suelo, a pesar de que el banco demostrativo no presente cargas cortantes o de tensión.

Se seleccionarán 4 pernos de anclaje de expansión para cargas pesadas HSL-3 M debido a las características y beneficios que aportan (HILTI, 2014), los cuales se encontrarán situados en una placa de 10 [mm] de espesor al final de cada columna. En la tabla 3.2 se detallan las propiedades del perno de anclaje seleccionado.

Tabla 3.2 Propiedades del perno de anclaje HSL- 3M 12/25.

Descripción	Diámetro [mm]	Profundidad mínima [mm]	Máximo grosor de plancha a fijar [mm]	Longitud total de anclaje [mm]	Cargas permisibles en concreto	
					Tensión [kg]	Corte [kg]
HSL-3M 12/25	18	80	25	131	1792	2889

Fuente: (HILTI, 2014)

3.1.5 Simulación de la Bancada

Análisis estructural

El análisis estructural de la bancada en ANSYS se inicia con la selección del material a utilizar (ASTM – A36) y la importación de la geometría en formato STEP.

El proyecto consta de 3 secciones principales (ver figura 3.12): el mallado, que consiste en la discretización del problema en base a nodos para crear elementos finitos; el análisis estructural, que se refiere a la aplicación de

cargas y restricciones; y la solución problema, donde se obtienen todos los resultados requeridos por el usuario.

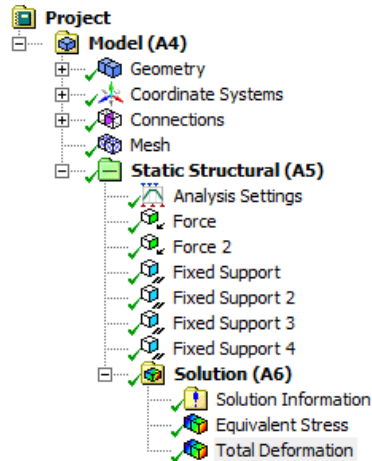


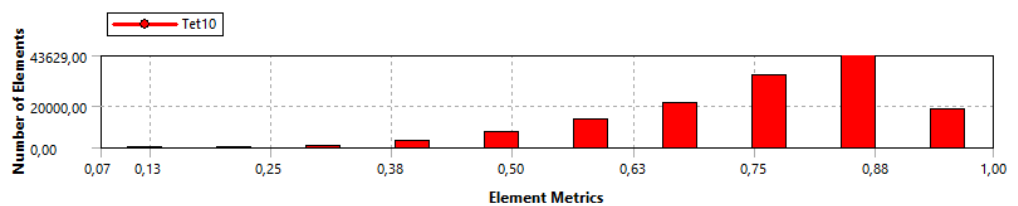
Figura 3.12 Secciones del análisis estructural.

Elaboración propia

El mallado es uno de los puntos más críticos de la simulación, ya que si su calidad es pobre, los resultados simulados se alejarán de los resultados teóricos. En base a lo mencionado, la calidad ortogonal es de un 76.3% de exactitud (ver tabla 3.3), por lo que se lo considera un mallado adecuado para el cálculo de esfuerzos.

Tabla 3.3 Estadísticas del mallado de la bancada y distribución ortogonal.

Statistics	
Nodes	238256
Elements	139931
Mesh Metric	Orthogonal Quality
Min	7,3666e-002
Max	0,99689
Average	0,76319
Standard Deviation	0,13516



Elaboración propia

No se pudo mejorar el mallado ya que la versión utilizada de ANSYS es académica. Dicha versión posee una restricción con respecto al número de elementos finitos, donde a medida que el mallado mejora, la cantidad de elementos finitos aumenta. En la figura 3.13 se puede apreciar el mallado obtenido para la bancada.

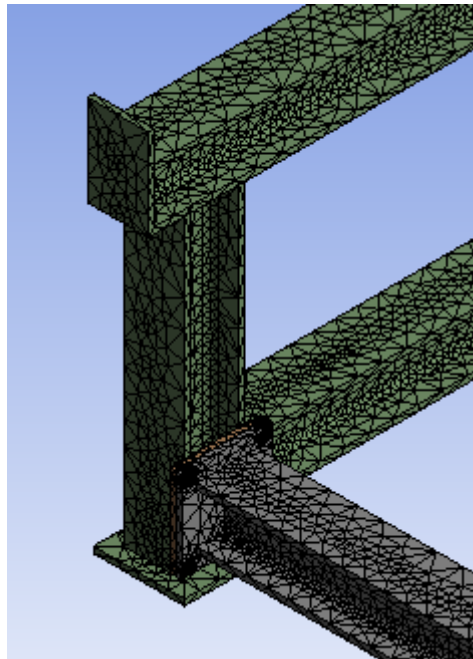


Figura 3.13 Mallado con calidad del 76.3%.

Elaboración propia

En la segunda sección, las restricciones constan de 4 soportes fijos A, B, C y D, cada uno ubicado en la base de cada columna (ver figura 3.14), debido a que la bancada se encuentra anclada al suelo por medio de pernos de anclaje. Por otro lado, la aplicación de fuerzas en los puntos E y F es la mitad de la carga de diseño, la cual se detalló en el capítulo 2.

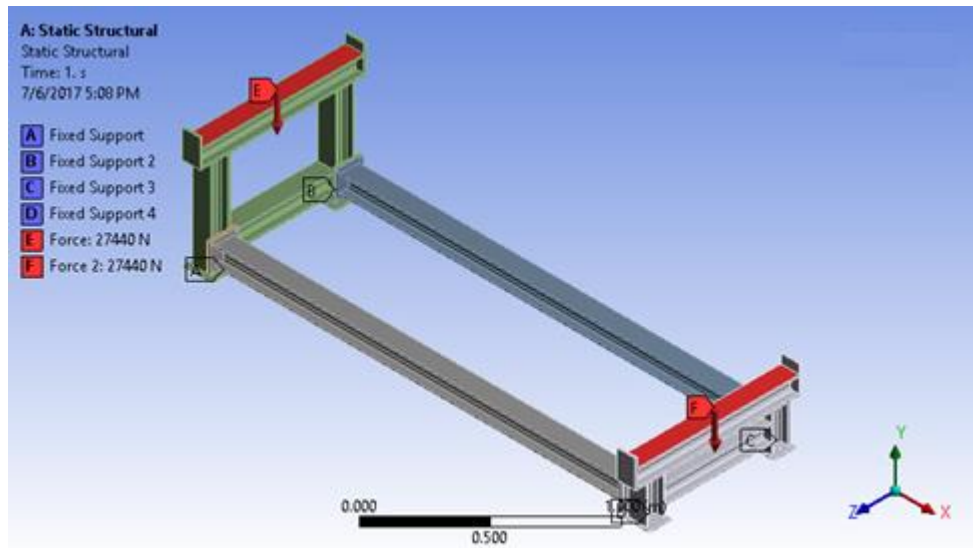


Figura 3.14 Aplicación de fuerzas y restricciones.

Elaboración propia

Finalmente, el esfuerzo máximo o crítico de von-Mises fue obtenido en la solución del problema, donde resultó que el esfuerzo máximo es de 41.77 MPa y el mínimo 560.21 Pa (ver figura 3.15), es decir, el error de comparación entre los resultados teóricos y simulados es del 18.3%.

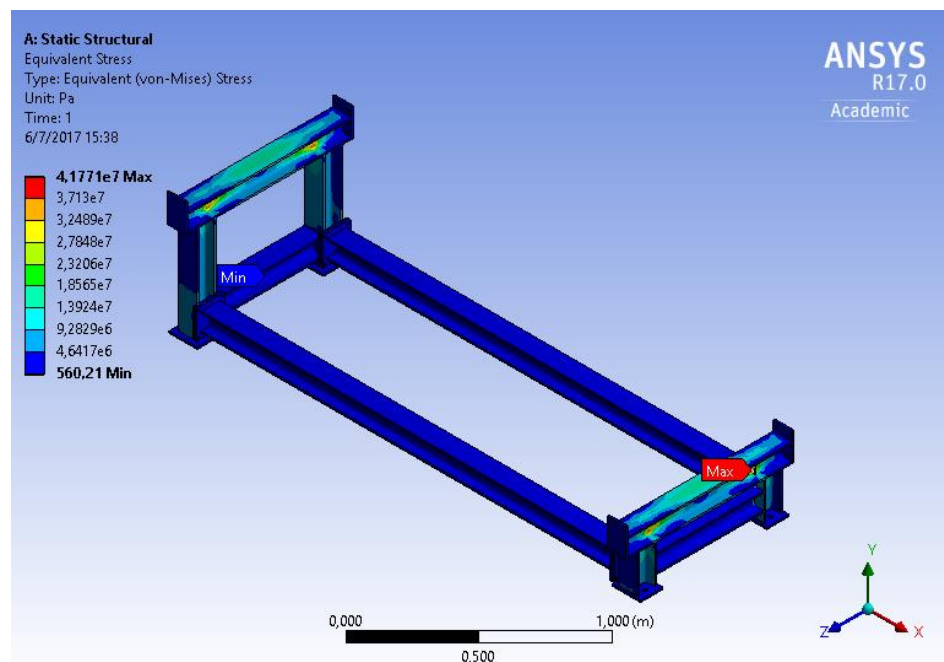


Figura 3.15 Resultados de esfuerzos principales de von-Mises.

Elaboración propia

Análisis de vibración

Primeramente, se seleccionó que el tipo de análisis a realizar es uno 'Modal' (ver figura 3.16). Donde al igual que en el análisis estructural, se seleccionó el material a utilizar (ASTM – A36) y se realizó la importación y el mallado de la bancada.

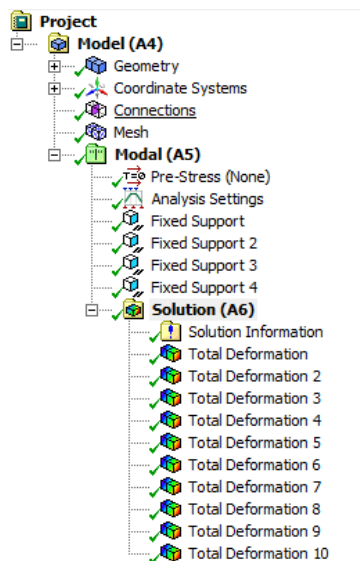


Figura 3.16 Secciones del análisis 'Modal'.

Elaboración propia

En el análisis de vibración se obtuvieron 10 modos de frecuencia natural para la bancada, los cuales se detallan en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Modos de frecuencia natural de la bancada

Tabular Data		
	Mode	<input checked="" type="checkbox"/> Frequency [Hz]
1	1,	80,067
2	2,	81,818
3	3,	105,77
4	4,	109,62
5	5,	123,42
6	6,	123,55
7	7,	130,56
8	8,	157,29
9	9,	216,77
10	10,	222,13

Elaboración propia

En nuestro caso, deseamos saber si existe resonancia entre el motor, cuya velocidad máxima es de 2200 rpm (36.67 Hz, ver tabla 1.1); y la bancada, cuyas frecuencias naturales se encuentran dadas en tabla 3.4.

Al usar la ecuación (10), tenemos que, para todos los modos de frecuencia natural de la bancada, no existe resonancia con el motor ya que se obtienen resultados menores a 1, es decir, la bancada no falla cuando el banco demostrativo se encuentra en operación.

3.1.6 Planos de construcción

Los planos de construcción de la bancada se encuentran en el Apéndice C, donde se detalla cada una de las piezas dimensionadas que la conforman para su correcta construcción y ensamblaje.

3.2 Banco demostrativo

3.2.1 Puntos de medición

Como se detalló anteriormente, el banco demostrativo permitirá a los estudiantes realizar lecturas de presión y temperatura en los componentes hidráulicos y mecánicos (ver tabla 2.9 y tabla 2.10). Para ello, se procede a mostrar el punto donde se acoplarán los instrumentos de medición. En la figura 3.17 y la figura 3.18 se indica en donde se encuentran los componentes a monitorear.



Figura 3.17 Componentes a monitorear del lado derecho del rodillo.

Elaboración propia



Figura 3.18 Componentes a monitorear del lado izquierdo del rodillo.

Elaboración propia

Puntos hidráulicos

- **Bomba de propulsión**

La bomba de propulsión provee aceite de carga (que viene de la bomba de dirección) al motor de propulsión. (Caterpillar, Systems Operation: CS-531C Vibratory Compactor Propel System., 2001)

Esta bomba, localizada junto a la bomba de vibración, posee dos válvulas multi-función para medir la presión del sistema en circuito cerrado. Tal como se observa en la figura 3.19, una para marcha adelante (1) y otra para marcha atrás (2). En ambas válvulas la presión debe ser [6400, 6800] psi.

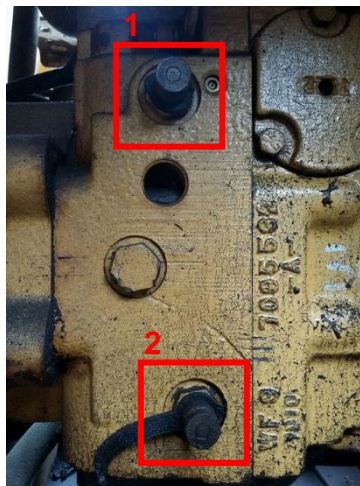


Figura 3.19 Puntos de medición en la bomba de propulsión: 1) Marcha adelante y 2) Marcha atrás.

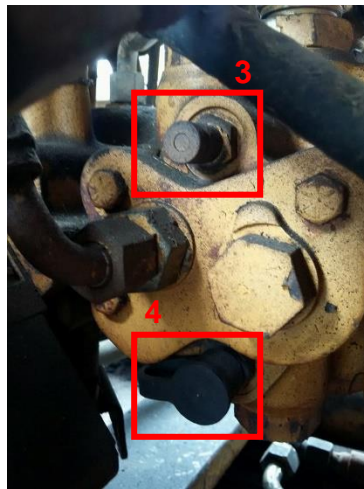
Elaboración propia

- **Bomba de vibración**

El sistema de vibración cuenta con 4 tipos de presiones: Presión de alta, cuando el rodillo opera a alta amplitud; presión de baja, cuando el rodillo opera a baja amplitud; presión de carga con el sistema vibratorio encendido (ON), cuando la válvula de control se encuentra abierta y permite el paso de aceite hidráulico; presión de carga con el

sistema vibratorio apagado (OFF), cuando la válvula de control se encuentra cerrada y no se permite el paso de aceite hidráulico.

En la figura 3.20 (a) se observa la bomba de presión con sus puntos de medición a alta y baja amplitud, donde sus rangos de operación de presión son [6245, 6845] psi y [3200, 3800] psi, respectivamente.



(a) Bomba de vibración.



(b) Filtro de aceite hidráulico.

Figura 3.20 Puntos de medición del sistema de vibración: 3) Presión a alta amplitud, 4) Presión a baja amplitud y 5) Presión de carga con el sistema vibratorio ON y OFF.

Elaboración propia

Por otro lado, las mediciones de presión de carga son tomadas después del filtro mostrado en la figura 3.20 (b). Con la palanca de control del propulsor posicionada en STOP y el sistema de vibración apagado, se podrá visualizar la presión de carga con el sistema OFF, mientras que, con la palanca de control del propulsor posicionada en la misma posición y el sistema de vibración encendido, se podrá visualizar la presión de carga con el sistema ON. (Caterpillar, Pruebas y ajustes: CS-531C Vibratory Compactor Vibratory System, 2001)

- **Bomba de dirección**

La bomba de dirección, localizada debajo de la plataforma del operador, provee aceite al sistema de dirección, aceite de carga a la bomba de propulsión y vibración, y aceite al circuito de freno de parqueo/válvula de cambio. (Caterpillar, Systems Operation: CS-531C Vibratory Compactor Steering System., 2001)

Al lado izquierdo de la bomba se encuentra una pequeña válvula instalada para realizar lecturas de presión y comprobar su correcta operación, la presión a la que funciona esta bomba debe ser de 2750 ± 100 psi. En la figura 3.21, se observa el punto de medición, donde se realizará la lectura de presión.



Figura 3.21 Punto de medición en la bomba de dirección.

Elaboración propia

Puntos mecánicos

- **Motor**

En el motor se tomarán 3 tipos de mediciones: Temperatura del refrigerante (agua), presión del combustible (Diésel) y presión del aceite.

En la figura 3.22 se observan los puntos de medición donde se realizará la lectura de temperatura del refrigerante de alta y de baja. Dichos puntos se encuentran ubicados en la parte posterior del bloque del motor, cerca del alternador.

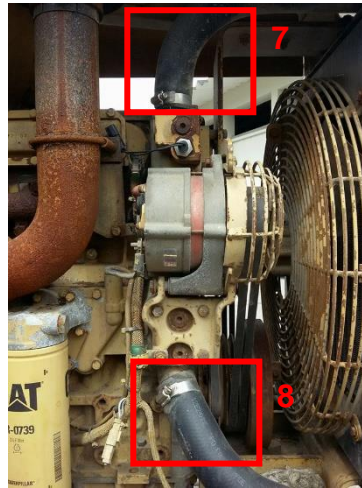


Figura 3.22 Puntos de medición de la temperatura del refrigerante: 7) Línea de alta y 8) Línea de baja.

Elaboración propia

Por otro lado, la presión típica que llega al conducto de combustible (dentro de la culata) puede variar. En condiciones nominales de velocidad y carga, la presión de combustible que llega al conducto es de [29, 58] psi. Para verificar dicha presión, en la figura 3.23 se observa que el punto de medición de la presión de combustible se encuentra justo después de la base de los filtros y antes del motor. (Caterpillar, Pruebas y ajustes: 3114, 3116 y 3126 Motores para máquinas fabricadas por Caterpillar. Presión del sistema de combustible., 2012)



Figura 3.23 Punto de medición para el combustible.

Elaboración propia

Finalmente, la lectura de presión del aceite del motor se realizará en el conducto mostrado en la figura 3.24, cuyo punto de medición se ubica en el cárter. La presión mínima debe ser aproximadamente de 36 psi y, la presión máxima debe ser de 88 psi cuando el motor está operando a carga plena. (Caterpillar, Pruebas y ajustes: 3114, 3116 y 3126 Motores para máquinas fabricadas por Caterpillar. Presión del aceite del motor., 2012)

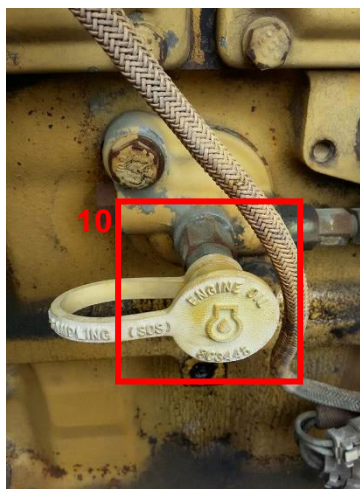


Figura 3.24 Punto de presión para el aceite del motor.

Elaboración propia

3.2.2 Selección de instrumentos de medición

Tal como se mencionó anteriormente, el banco demostrativo tendrá 10 puntos de medición, de modo que se requiere de 10 instrumentos. En la tabla 3.5 se muestra el tipo de instrumento que irá conectado en los componentes, el rango de operación en cada punto de medición y la capacidad necesaria del instrumento que debe tener para realizar la toma de lectura.

Tabla 3.5 Instrumentos de medición a emplear en el banco demostrativo.

Instrumento	Componente	Punto de medición	Rango de operación	Capacidad
Manómetro	Bomba de propulsión	1 y 2	6400 – 6800 psi	9000 psi
	Bomba de vibración	3	6245 – 6845 psi	8700 psi
		4	3200 – 3800 psi	
		5	360 – 400 psi 340 – 370 psi	600 psi
	Bomba de dirección	6	2600 – 2850 psi	3600 psi
Termocupla tipo J	Motor	7 y 8	40 – 94 °C	130 °C
Manómetro		9	29 – 58 psi	80 psi
		10	36 – 88 psi	110 psi

Elaboración propia

En la tabla 3.6 señala la cantidad de instrumentos de diferentes capacidades que se acoplarán en el banco demostrativo, las cuales varían dependiendo del rango operación y la disponibilidad en el mercado. Habrá un total de 8 manómetros, donde 4 serán de 10000 psi ubicados en los puntos 1, 2, 3 y 4 respectivamente, uno de 600 psi ubicado en el punto 5, uno de 5000 psi ubicado en el punto 6, uno de 100 psi ubicado en el punto 9 y uno de 200 psi ubicado en el punto 10. Además, contará con 2 termocuplas tipo J colocadas de [0, 200] °C en los puntos 7 y 8.

Tabla 3.6 Instrumentos de medición disponibles en el mercado.

Instrumento	Cantidad	Punto de medición	Capacidad disponible
Manómetro	4	1, 2, 3 y 4	10000 psi
	1	5	600 psi
	1	6	5000 psi
	1	9	100 psi
	1	10	200 psi
Termocupla tipo J	2	7 y 8	0 – 200 °C

Elaboración propia

Los manómetros irán conectados a los componentes con ayuda de acoples rápidos, mangueras y accesorios que se detallarán en la siguiente sección, mientras que las termocuplas irán colocadas dentro de las líneas del refrigerante, es decir a los puntos 7 y 8, donde se conectará un voltímetro en los terminales de la termocupla a medir y con ayuda de la tabla de termocuplas tipo J (ver Apéndice A, tabla 4.3) se determinará la temperatura de entrada o salida.

3.2.3 Selección de acoples, mangueras y accesorios

Los acoples, mangueras y accesorios que ayudarán como conexión entre el banco demostrativo y los instrumentos de medición son: acoples rápidos, mangueras hidráulicas, codos de 90°, conexiones en T, reductores y tapones.

Con respecto a los tapones, en la alternativa 2 se detalló que la horquilla y el tambor principal serán retirados. Por ello, las líneas de aceite hidráulico que se encuentran conectadas al motor de vibración (ver figura 3.25) deben ser desconectadas.



Figura 3.25 Líneas de aceite hidráulico conectadas al motor de vibración.

Elaboración propia

Para evitar el derrame del fluido dentro de las 4 líneas de aceite, se requiere el uso de tapones roscados de acero acorde a la medida de las tuercas giratorias de las mangueras (ver tabla 3.7).

Tabla 3.7 Características y cantidad de tapones

Características	Cantidad
Tapón macho roscado NPT Φ 1-1/8" Acero	2
Tapón macho roscado NPT Φ 3/4" Acero	1
Tapón macho roscado NPT Φ 1/2" Acero	1

Elaboración propia

En la tabla 3.8 se detalla la cantidad de acoples rápidos, accesorios y mangueras hidráulicas a usar acorde a los puntos de medición anteriormente mencionados, donde la designación M/M es entrada macho y salida macho, la designación H/H es Hembra/Hembra y la designación M/H es Macho/Hembra.

Tabla 3.8 Cantidad de acoples, accesorios y mangueras hidráulicas.

Punto de medición	Reductor	Acople rápido M/M	Manguera H/H	Codo 90° H/H	Conexión en T Hembra
1	1 M/H	1	1	–	–
2	1 M/H	1	1	–	–
3	1 M/H	1	1	–	–
4	1 M/H	1	1	–	–
5	1 M/H	1	1	–	–
6	1 M/H	1	1	–	–
9	2 M/M	1	–	1	1
10	1 M/H	1	–	1	–
Cantidad	9	8	6	2	1

Elaboración propia

De acuerdo con la tabla anterior, se necesitarán 7 reductores M/H, 2 reductores M/M, 8 acoples rápidos M/M, 6 mangueras hidráulicas H/H, 2 codos de 90° H/H y 1 conexión en T Hembra.

En la sección 2.4.3 se mencionó que, para la selección de acoples es importante conocer el tipo de rosca y su dimensión, para ello, se realizó la extracción del neplo en el punto de medición del combustible, después del filtro (ver figura 3.23) para obtener sus características. Cabe mencionar que las características obtenidas del neplo extraído (el cual fue regresado a su sitio) son las mismas en todos los puntos de medición.

Del neplo M/M extraído se obtuvo que el tipo de rosca es NPT con dimensiones de 9/16” a la entrada y 11/16” a la salida del filtro.

De lo anteriormente expuesto, en la tabla 3.9 se detallan las dimensiones en pulgadas de cada tipo de acople de acuerdo con su punto de medición.

Tabla 3.9 Medida en pulgadas de acoples, accesorios y mangueras hidráulicas.

Punto de medición	Reductor Entrada – Salida	Acople rápido M/M Entrada – Salida		Manguera H/H	Codo 90° H/H	Conexión en T Hembra
1	9/16" – 3/8" M/H	3/8"	3/8"	3/8"	–	–
2	9/16" – 3/8" M/H	3/8"	3/8"	3/8"	–	–
3	9/16" – 3/8" M/H	3/8"	3/8"	3/8"	–	–
4	9/16" – 3/8" M/H	3/8"	3/8"	3/8"	–	–
5	9/16" – 3/8" M/H	3/8"	3/8"	3/8"	–	–
6	9/16" – 3/8" M/H	3/8"	3/8"	3/8"	–	–
9	9/16" – 3/8" M/M	3/8"	3/8"	–	3/8"	3/8"
	3/8" – 11/16" M/M					
10	9/16" – 3/8" M/H	3/8"	3/8"	–	3/8"	–

Elaboración propia

Finalmente, en tabla 3.10 se detallan los acoples rápidos, mangueras hidráulicas y accesorios seleccionados con sus respectivas características y cantidad.

Tabla 3.10 Características y cantidad de acoples, accesorios y mangueras hidráulicas.

Acople	Características	Cantidad
Reductor	Rosca NPT M/H Φ 9/16" – 3/8"	7
	Rosca NPT M/M Φ 9/16" – 3/8"	1
	Rosca NPT M/M Φ 3/8" – 11/16"	1
Acople rápido	Rosca NPT M/M Φ 3/8" – 3/8" @10000 psi	8
Manguera hidráulica	2 metros con tuerca giratoria NPT H/H Φ 3/8" – 3/8" @10000 psi	4
	2 metros con tuerca giratoria NPT H/H Φ 3/8" – 3/8" @3600 psi	1
	2 metros con tuerca giratoria NPT H/H Φ 3/8" – 3/8" @600 psi	1
Codo	90° Rosca NPT H/H Φ 3/8"	2
Conexión T	Rosca NPT Hembra Φ 3/8"	1

Elaboración propia

3.2.4 Diseño del tablero de visualización

El tablero visualizador estará ubicado en la plataforma de la maquinaria, al lado derecho de la cabina, tal como se muestra en la figura 3.26 (a). En el tablero se colocarán 6 manómetros que se conectan por medio de mangueras y acoples a las bombas de propulsión, vibración y dirección, es decir, los puntos 1, 2, 3, 4, 5 y 6 anteriormente descritos, ver figura 3.26 (b).

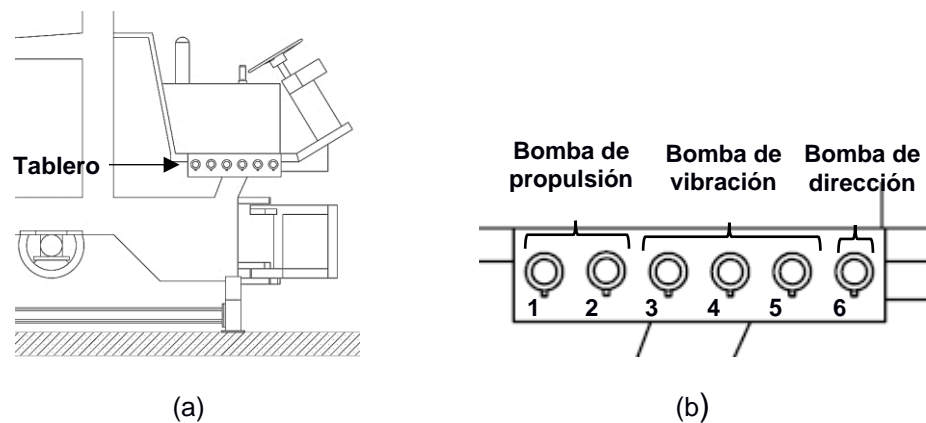


Figura 3.26 Tablero de visualización.

Elaboración propia

Se recomienda que el tablero sea elaborado con el mismo material de las placas de la bancada (Acero A-36). Además, estará sujeto a la maquinaria por medio de pernos, al igual que los manómetros. En el plano 9 que se encuentra en el Apéndice C se detalla la posición donde se colocará el tablero de visualización.

3.2.5 Elementos de Señalética

En el capítulo 2 se mencionó los tipos de elementos de señalética a implementar: Indicativas, que serán usadas para identificar los componentes principales, como el motor y las bombas; y complementarias de riesgo permanente, que serán usadas para indicar el área en el que se encontrará el banco demostrativo.

A continuación, en la figura 3.27 se observa el área de riesgo que abarca el banco demostrativo de acuerdo con el Decreto Ejecutivo 2393, donde dicha área se encuentra delineada con franjas amarillas y negras medidas a 200 mm desde los puntos más salientes del equipo.

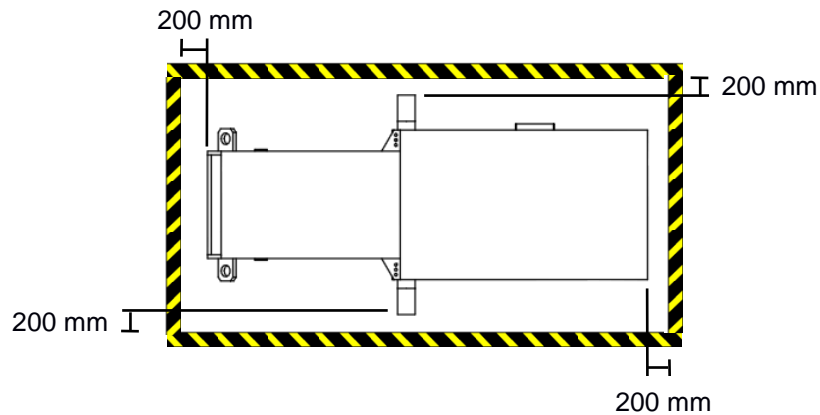


Figura 3.27 Área de riesgo del banco demostrativo.

Elaboración propia

3.3 Logística

La logística se refiere al conjunto de medios necesarios para llevar a cabo la movilización del rodillo dentro de las instalaciones de la ESPOL desde un punto A (Protal) a un punto B (FIMCP), tal y como se muestra en la figura 3.28.



Figura 3.28 Rutas para la movilización del rodillo.

Elaboración propia

Primeramente, se debe coordinar el día, la hora y la mejor ruta (ruta 1 ó ruta 2) para la movilización del rodillo liso, basado en la afluencia vehicular.

En la descripción del problema se detalló que el rodillo funciona en su totalidad a excepción del sistema vibratorio, es decir, es posible operarlo y subirlo a una cama baja para su movilización desde el punto A al punto B. Por otro lado, en caso de que el rodillo no pueda subir a la cama baja, es necesario el uso de una grúa para izarlo a la cama baja y luego movilizarlo.

Los factores que influenciarán en la movilización del rodillo en base a su estado son: Peso del rodillo con ROPS y lastre (11 toneladas aproximadamente, ver tabla 2.5), tiempo, ruta, maquinaria y operador.

Tabla 3.11 Factores que influyen en la logística del rodillo.

Factores	Rodillo operable	Rodillo no operable
Peso	11 toneladas	11 toneladas
Tiempo de movilización	1 hora	2 horas y media
Ruta	Ruta 1 ó Ruta 2	Ruta 1 ó Ruta 2
Maquinaria	Cama baja	Grúa y cama baja
Operador del rodillo	SI	N/A

Elaboración propia

De acuerdo con la tabla 3.11: el peso del rodillo es de 11 toneladas con todas sus partes; el tiempo de movilización y los equipos, varían de acuerdo al estado de la maquinaria; la ruta, es seleccionada por el personal de seguridad de ESPOL; el operador, será necesario si y solo si el rodillo es capaz de subir y bajar de la cama baja.

3.4 Protocolo para construcción e instalación de la bancada y el banco demostrativo

Un protocolo de construcción e instalación es una serie de instrucciones donde se establece cómo se debe actuar o qué se deber hacer para cumplir un propósito, en nuestro caso, el procedimiento para la adecuación del rodillo vibratorio liso CS-531C en un banco demostrativo.

Cabe mencionar que el costo de equipos y herramientas para la realización de cada instrucción no se estimarán, debido a que son procesos internos de la unidad.

3.4.1 Bancada

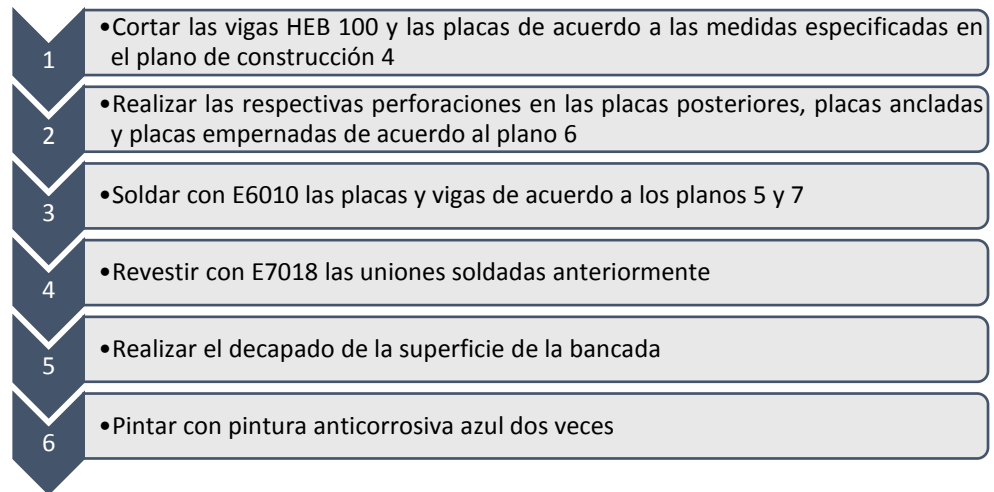


Figura 3.29 Protocolo para la construcción de la bancada

Elaboración propia

3.4.2 Banco demostrativo

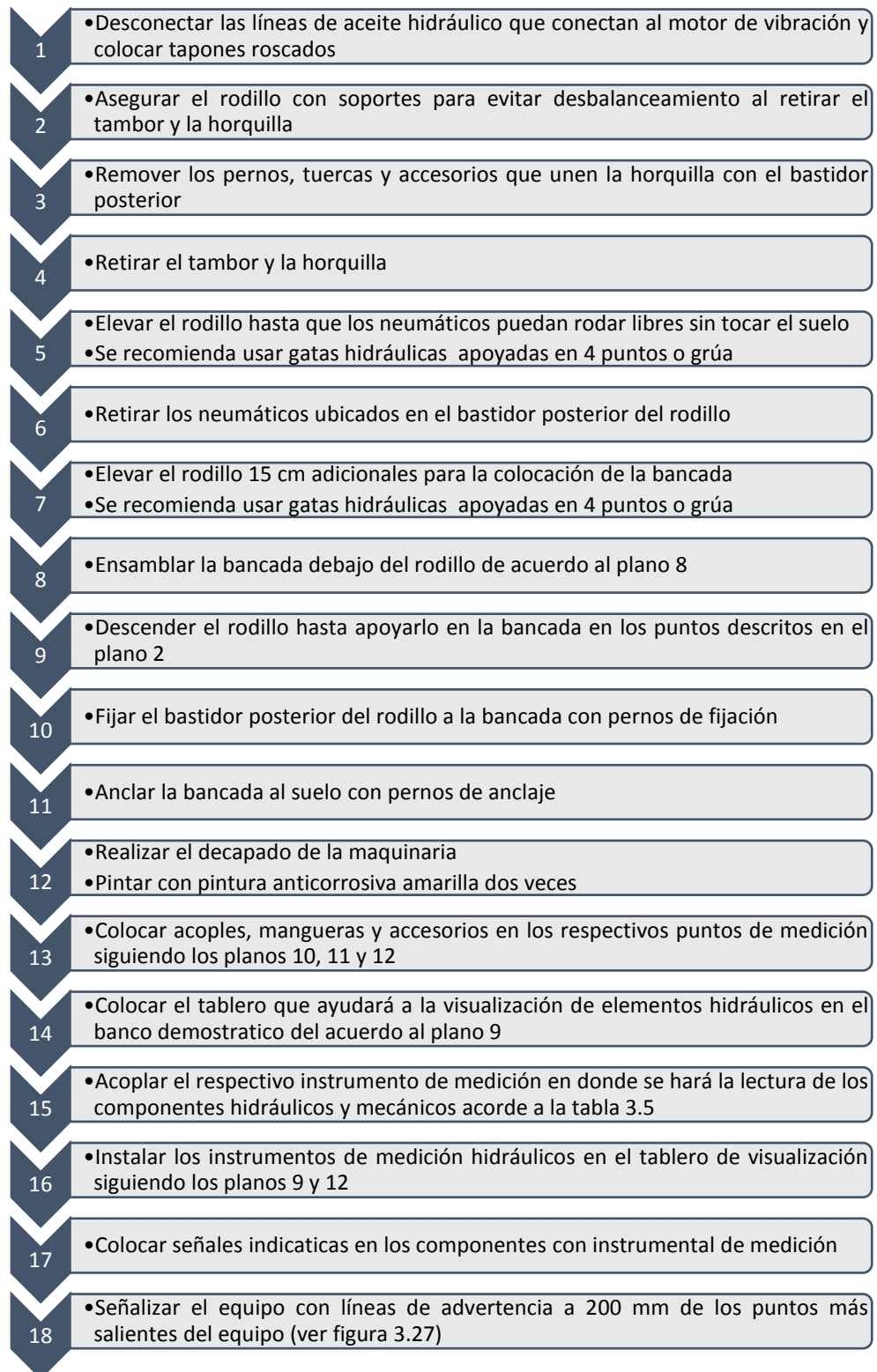


Figura 3.30 Protocolo para la instalación del banco demostrativo.

Elaboración propia

3.5 Costos

El costo es el gasto económico que representa la adecuación del rodillo liso vibratorio CS-531C en un banco demostrativo de sistemas hidráulicos y mecánicos, esto es, el costo total de la bancada, para apoyar el banco demostrativo; los instrumentos, para realizar las respectivas lecturas de los componentes; los acoples, mangueras y accesorios, para la correcta conexión de los instrumentos de medición; y la logística para la movilización de la maquinaria de un punto a otro.

A continuación, en la tabla 3.12 se detalla el material, la cantidad y el costo para la elaboración de la bancada con respecto a la disponibilidad del mercado, donde se obtiene un valor total de \$422.92.

Tabla 3.12 Costos para los materiales de la bancada.

Material de bancada	Cantidad	Precio Unitario	Costo [\$]
Perfil HEB100 x 6 metros de longitud	2	\$ 118.04	236.08
Plancha acero A-36 2200x150x10	1	\$ 31.25	31.25
Perno SAE G5 UNC ϕ 3/8"x 1-1/2"	16	\$ 0.16	2.56
Tuerca SAE G5 UNC ϕ 3/8"	16	\$ 0.06	0.96
Arandela plana DIN 125 A M10	32	\$0.18	5.76
Perno de anclaje 3/4 x 5-1/2	4	\$ 6.25	25.00
Soldadura E6010 [kg]	3.97	\$ 6.05/kg	24.02
Soldadura E7018 [kg]	7.27	\$ 7.15/kg	51.98
		Subtotal	371.85
		IVA 12%	44.62
		Total	422.92

Elaboración propia

En la tabla 3.13 se muestran todos los instrumentos que serán colocados en los puntos de medición del banco demostrativo con su respectiva capacidad. Se estima que el costo total en instrumentos de medición es de \$139.19.

Tabla 3.13 Costos de los instrumentos de medición.

Instrumento	Cantidad	Precio Unitario [\$]	Costo [\$]
Manómetro @10000 psi	4	13.62	54.48
Manómetro @5000 psi	1	12.00	12.00
Manómetro @600 psi	1	10.87	10.87
Manómetro @200 psi	1	10.99	10.99
Manómetro @100 psi	1	11.94	11.94
Termocupla J @[0-200] °C	2	12.00	24.00
Subtotal			124.28
IVA 12%			14.91
Total			139.19

Elaboración propia

Para la colocación de los instrumentos se utilizarán acoples, mangueras hidráulicas y accesorios cuyas características se detallan en la tabla 3.14. Se estima que el costo es de \$488.45.

Tabla 3.14 Costo de acoples rápidos, mangueras hidráulicas y accesorios.

Acoples, mangueras hidráulicas y accesorios	Cantidad	Precio Unitario [\$]	Costo [\$]
Reductor roscado NPT M/H Φ 9/16" – 3/8" ACERO	7	1.47	10.29
Reductor roscado NPT M/M Φ 9/16" – 3/8" ACERO	1	1.47	1.47
Reductor roscado NPT M/M Φ 3/8" – 11/16" ACERO	1	1.47	1.47
Acople rápido para aceite hidráulico rosca NPT M/M Φ 3/8" – 3/8" @10000 psi ACERO	8	30.68	245.44
Manguera hidráulica 2 metros con tuerca giratoria NPT H/H Φ 3/8" – 3/8" @10000 psi	4	25.86	103.44
Manguera hidráulica 2 metros con tuerca giratoria NPT H/H Φ 3/8" – 3/8" @3600 psi	2	23.53	47.06

Codo 90° rosca NPT H/H Φ 3/8" ACERO	2	1.87	3.74
Conexión T rosca NPT hembra Φ 3/8" ACERO	1	7.65	7.65
Tapón macho roscado NPT Φ 1-1/8" ACERO	2	3.13	6.26
Tapón macho roscado NPT Φ 3/4" ACERO	1	2.15	2.15
Tapón macho roscado NPT Φ 3/8" ACERO	1	2.15	2.15
Teflón	5	1.00	5.00
		Subtotal	436.12
		IVA 12%	52.33
		Total	488.45

Elaboración propia

En la tabla 3.15 se presentan los costos de logística cuando el rodillo puede moverse al ser operado (rodillo operable) y cuando el rodillo requiere de una grúa para poder ser movilizado (rodillo no operable). Se obtuvieron valores de \$140 y \$730, respectivamente.

Tabla 3.15 Costos de logística.

Logística	Rodillo operable	Rodillo no operable
Grúa	0	600
Cama baja	130	130
Operador de rodillo	10	0
Total [\$]	140	730

Elaboración propia

En el apéndice B se detallan los cálculos para determinar la cantidad de pintura a utilizar, donde se requiere una cantidad aproximada de 2 galones de pintura mate anticorrosiva amarilla para el banco demostrativo y 1 galón de pintura mate anticorrosiva azul para la bancada. En la tabla 3.16 se

detalla el costo total de las pinturas y la batería a usar (Caterpillar, Catálogo de baterías, 2015).

Tabla 3.16 Costos varios.

Costos Varios	Cantidad	Precio Unitario [\$]	Costo total [\$]
Pintura anticorrosiva mate amarilla 4 Lt. Rend: 13m2/Lt	2	20	40
Pintura anticorrosiva mate azul 1 Lt. Rend: 13m2/Lt	1	5	5
3T-5760: Batería Cat 12V 750CCA 100AH	2	326,48	652,96
Subtotal			697,96
IVA 12%			83,76
Total			781,72

Elaboración propia

Para la adecuación del rodillo en un banco demostrativo se requiere de un soldador, un pintor y un mecánico. En la tabla 3.17 se especifica el tiempo y el costo por hora para la mano de obra mencionada, obteniéndose un valor total de \$520.

Tabla 3.17 Costos por mano de obra.

Mano de obra	Tiempo [hora/hombre]	\$/hora	Costo [\$]
Maestro soldador	16	10	160
Maestro pintor	4	10	40
Ingeniero mecánico	32	10	320
Total [\$]			520

Elaboración propia

Finalmente, el costo total para la adecuación del rodillo liso CS-531C en un banco demostrativo (ver tabla 3.18), considerando que el rodillo sea operable, es de \$2492,29, y en caso de que el rodillo no sea operable, el costo total de la adecuación es de \$3082,29.

**Tabla 3.18 Costo total para la adecuación del rodillo liso vibratorio CS-531 C
en un banco demostrativo**

Estado	Costo total [\$]
Rodillo operable	2492,29
Rodillo no operable	3082,29

Elaboración propia

CAPÍTULO 4

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En el presente capítulo se establecen las conclusiones respaldadas por los resultados obtenidos del proyecto y las recomendaciones para la movilización del rodillo y su adecuación como banco demostrativo.

4.1 Conclusiones

- La valoración mecánica e hidráulica del rodillo modelo CS-531C consistió en identificar y evaluar el grado operacional y funcionalidad de sus componentes, determinándose que todos los elementos se encontraban en buen estado a excepción del sistema vibratorio dentro del tambor y el motor de vibración. Por lo tanto, se concluye que se puede realizar la adecuación de la maquinaria en un banco demostrativo.
- Los factores de seguridad altos en el diseño de la bancada indican sobredimensionamiento; en el caso de las vigas, es debido a que se trabajó con el mismo perfil HEB100 (obtenido del esfuerzo crítico) en toda la bancada para evitar desperdiciar material; con respecto a la soldadura, se debe a que se usó la misma garganta en todos los cordones; y en base a los pernos, el diámetro escogido fue mayor por seguridad y estética. Por lo tanto, se concluye que la bancada tiene una baja probabilidad de falla ya que todos los factores de seguridad obtenidos son mayores a 1.
- El error porcentual de la simulación fue de 18.3% con respecto al cálculo teórico, esto se debe a que la calidad ortogonal en el mallado presenta una exactitud de 76.3%. Este último valor se debe a que la versión académica de ANSYS tiene una restricción con respecto al número de nodos, por lo que no se puede lograr un mejor refinamiento en el mallado. Por otro lado, en el análisis de vibración realizado se determinó que en los 10 modos encontrados de frecuencia natural de la bancada no existía resonancia con la frecuencia del motor.
- Se seleccionaron manómetros y termocuplas para la lectura de los parámetros de presión y temperatura de los componentes mecánicos e

hidráulicos a monitorear, en base al punto de medición y al rango de operación. Se diseñó un tablero de visualización para los componentes hidráulicos debido a que se encuentran posicionados en áreas que dificultan su observación, de forma que se acoplarán mangueras y accesorios que vayan desde el punto de medición al tablero.

- Se diseñó dos tipos de elementos de señalética: señales indicativas, para que los estudiantes puedan identificar visualmente los componentes principales del banco demostrativo; y señales complementarias de riesgo permanente, para establecer el área de riesgo, donde se indicó que las líneas se encontrarán a 200 mm desde los puntos más salientes del equipo.
- Los factores que influyen en la logística del rodillo basados en su estado (operable o no operable) son: peso total, tiempo, ruta, maquinaria y operador.
- Se estableció dos alternativas para la movilización del rodillo liso vibratorio desde Protal a FIMCP, donde se decidió que la mejor opción será seleccionada basándose en la afluencia vehicular del día y la hora coordinada con la unidad académica.
- El costo para la adecuación de la maquinaria como banco demostrativo sin considerar las herramientas ni los equipos para montaje es de \$2492,29. En caso de que el rodillo no posea la suficiente tracción para su correspondiente movilización o no pueda ser operado, el costo se elevará a \$3082,29.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda establecer la ubicación final exacta del rodillo para su adecuación como banco demostrativo con las autoridades de la unidad académica.
- Previo a la movilización de la maquinaria, se recomienda encender el rodillo y operarlo para determinar el estado del mismo, con el objeto de coordinar el día y la hora para su levantamiento.

- Se recomienda realizar un decapado antes de pintar el banco demostrativo para eliminar revestimientos anteriores y rugosidades debido a la presencia de óxido y cascarilla de laminación.
- Se sugiere elaborar un manual de operación del banco demostrativo donde se indique el procedimiento para su manipulación y la correspondiente lectura de los parámetros de sus componentes.
- Se aconseja realizar un plan de mantenimiento preventivo, donde se identifiquen los componentes mecánicos e hidráulicos del banco demostrativo para su conservación.
- Se recomienda ser conservativos en el cálculo de esfuerzos para la bancada debido a que se trabaja con pesos y dimensiones aproximados, considerando que el banco demostrativo será empleado para fines académicos y no comerciales.
- En caso de optimización de la bancada, se sugiere obtener la posición del centro de gravedad de la maquinaria (sin horquilla ni tambor principal) junto con sus dimensiones y pesos exactos, para establecer la fuerza distribuida que actúa sobre cada soporte.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcocer, D. A. (2015). Operación de compactadora vibratoria. *Maquinarias pesadas*. Inglaterra.
- Arian S.A. (2015). Nota Técnica 3. Tablas de termocuplas J, K, T, R, S, B y PT100. Santiago de Chile, Chile.
- ASTM. (10 de Noviembre de 2000). Standard Specification for Carbon Structural Steel. *Designation: A 36/A 36M - 00a*. Estados Unidos.
- AWS-A5.1. (26 de Abril de 2002). Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding. Miami, Florida, Estados Unidos.
- Caterpillar. (Octubre de 2001). Manual de Operación y Mantenimiento. *Compactadores vibratorios CS-531C, CP-533C y CS-533C. Especificaciones y vista de modelos*.
- Caterpillar. (Octubre de 2001). Manual de pruebas y ajustes: CS-531C Vibratory Compactor Propel System. Estados Unidos.
- Caterpillar. (Octubre de 2001). Pruebas y ajustes: CS-531C Vibratory Compactor Steering System. Estados Unidos.
- Caterpillar. (Octubre de 2001). Pruebas y ajustes: CS-531C Vibratory Compactor Vibratory System. Estados Unidos.
- Caterpillar. (Octubre de 2001). Systems Operation: CS-531C Vibratory Compactor Propel System. Estados Unidos.
- Caterpillar. (Octubre de 2001). Systems Operation: CS-531C Vibratory Compactor Steering System. Estados Unidos .
- Caterpillar. (Septiembre de 2012). Pruebas y ajustes: 3114, 3116 y 3126 Motores para máquinas fabricadas por Caterpillar. Presión del aceite del motor. Estados Unidos.
- Caterpillar. (Septiembre de 2012). Pruebas y ajustes: 3114, 3116 y 3126 Motores para máquinas fabricadas por Caterpillar. Presión del sistema de combustible. Estados Unidos.
- Caterpillar. (Junio de 2015). Catálogo de baterías. Estados Unidos.
- Caterpillar, C. P. (28 de Abril de 2017). Tec Spec Data [98Z23027]. *Model: 3116T*.
- Condor, P. (2014). Oxifin Plus . Estados Unidos.

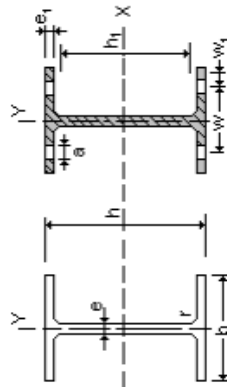
- HILTI. (Mayo de 2014). Sistemas de anclaje. *HSL-3 M, Anclaje de expansión para cargas pesadas*, pág. 39. Liechtenstein.
- Huancavelica, U. N. (Enero de 2014). Compactación de suelos. *Tipos de suelos*. Huancavelica, Perú.
- IESS. (2010). Decreto Ejecutivo 2393. *Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo*. Ecuador.
- INEN. (Abril de 2005). Norma Técnica Ecuatoriana INEN: 439:19. *Colores, señales y símbolos de seguridad*. Ecuador.
- INEN. (Julio de 2011). *Reglamento Técnico Ecuatoriano: RTE INEN 040. Soldaduras de estructuras de aceros*. Ecuador.
- IPAC. (2015). Catálogo IPAC Productos y Servicios. *Perfil HEB*. Estados Unidos.
- Ministerio de trabajo y asuntos sociales. (1999). NTP 511: Señales de seguridad: aplicación práctica. *Guía de buenas prácticas*. España.
- Ministerio de Trabajo y Educación. (23 de Abril de 2009). Guía técnica. *Señalización de seguridad y salud en el trabajo*. España.
- Norton, R. (2011). *Diseño de Máquinas. Soldadura*. Pág. 809-814. México: Pearson Educación.
- Pytel&Singer. (2008). *Resistencia de materiales. COLUMNAS*. Pág. 363-635. Oxford University Press Mexico & Alfaomega.
- Pytel&Singer. (2008). *Resistencia de materiales. Esfuerzo de trabajo y factor o coeficiente de seguridad*. Pág.31. Estados Unidos: Oxford University Press Mexico&Alfaomega.

APÉNDICES

APÉNDICE A
Tablas

Perfiles HEB

Perfil	Dimensiones											Términos de la sección										Agujeros			Peso p kg/m
	h mm	b mm	e mm	e ₁ mm	r mm	r ₁ mm	h ₁ mm	u mm	A cm ²	S _x cm ³	I _x cm ⁴	W _x cm ³	i _x cm	I _y cm ⁴	W _y cm ³	i _y cm	I _z cm ⁴	I _z cm ⁴	l _z mm	w mm	w ₁ mm	a mm			
HEB 100	100	100	6,0	10	12	56	567	26,0	52,1	450	90	4,16	167	33	2,53	9,34	3375	55	55	13	20,4				
HEB 120	120	120	6,5	11	12	74	686	34,0	82,6	864	144	5,04	318	53	3,06	14,9	9410	65	65	17	26,7				
HEB 140	140	140	7,0	12	12	92	805	43,0	123	1509	216	5,93	550	79	3,58	22,5	22480	75	75	21	33,7				
HEB 160	160	160	8,0	13	15	104	918	54,3	177	2492	311	6,78	889	111	4,05	33,2	47940	85	85	23	42,6				
HEB 180	180	180	8,5	14	15	122	1040	65,3	241	3831	426	7,66	1363	151	4,57	46,5	93750	100	100	25	51,2				
HEB 200	200	200	9,0	15	18	134	1150	78,1	321	5696	570	8,54	2003	200	5,07	63,4	171100	110	110	25	61,3				
HEB 220	220	220	9,5	16	18	152	1270	91,0	414	8091	736	9,43	2843	258	5,59	84,4	295400	120	120	25	71,5				
HEB 240	240	240	10,0	17	21	164	1380	106,0	527	11259	938	10,3	3923	327	6,08	110	486900	90	90	35	83,2				
HEB 260	260	260	10,0	17,5	24	177	1500	118,4	641	14919	1150	11,2	5135	395	6,58	130	753700	100	100	40	93				
HEB 280	280	280	10,5	18	24	196	1620	131,4	767	19270	1380	12,1	6595	471	7,09	153	1130000	110	110	45	103				
HEB 300	300	300	11,0	19	27	208	1730	149,1	934	25166	1680	13,0	8563	571	7,58	192	1688000	120	120	50	117				
HEB 320	320	300	11,5	20,5	27	225	1770	161,3	1070	30823	1930	13,8	9239	616	7,57	241	2069000	120	120	50	127				
HEB 340	340	300	12,0	21,5	27	243	1810	170,9	1200	36656	2160	14,6	9690	646	7,53	278	2454000	120	120	50	134				
HEB 360	360	300	12,5	22,5	27	261	1850	180,6	1340	43193	2400	15,5	10140	676	7,49	320	2883000	120	120	50	142				
HEB 400	400	300	13,5	24	27	298	1930	197,8	1620	57680	2880	17,1	10819	721	7,4	394	3817000	120	120	50	155				
HEB 450	450	300	14,0	26	27	344	2030	218	1990	79887	3560	19,1	11721	781	7,33	500	5258000	120	120	50	171				
HEB 500	500	300	14,5	28	27	390	2120	238,6	2410	107176	4290	21,2	12624	842	7,27	625	7018000	120	120	45	187				
HEB 550	550	300	15,0	29	27	438	2220	254,1	2800	136691	4970	23,2	13077	872	7,17	701	8856000	120	120	45	199				
HEB 600	600	300	15,5	30	27	486	2320	270,0	3210	171041	5700	25,2	13530	902	7,08	783	10965000	120	120	45	212				



A = Área de la de la sección.
 S_x = Momento estático de media sección, respecto a X.
 I_x = Momento de inercia de la sección, respecto a X.
 $W_x = 2I_x : h$. Módulo resistente de la sección, respecto a X.
 $i_x = (I_x : A)^{1/2}$. Radio de giro de la sección, respecto a X.
 I_y = Momento de inercia de la sección, respecto a Y.
 $W_y = 2I_y : b$. Módulo resistente de la sección, respecto a Y.
 $i_y = (I_y : A)^{1/2}$. Radio de giro de la sección, respecto a Y.
 I_z = Módulo de torsión de la sección.
 I_z = Módulo de alabeo de la sección.
 u = Perímetro de la sección.
 a = Diámetro del agujero del roblón normal.
 w = Gramil, distancia entre ejes de agujeros.
 h_1 = Altura de la parte plana del alma.
 p = Peso por metro.

Tabla 4.1 Tabla de perfiles HEB.

Fuente: (IPAC, 2015)

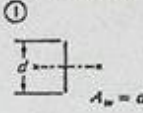
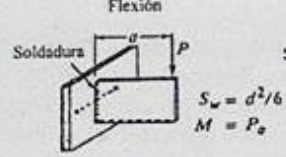
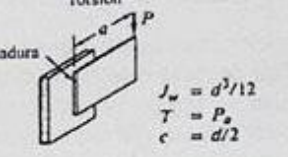
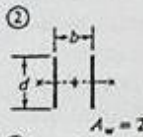
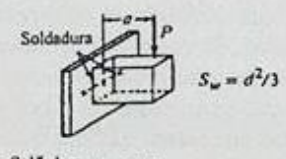
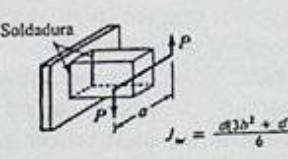
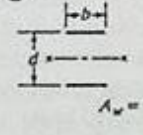
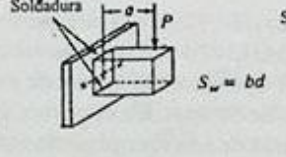
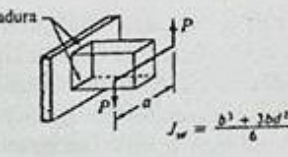
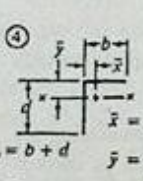
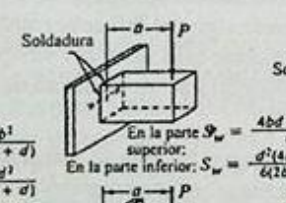
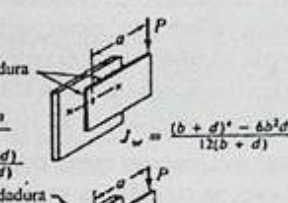
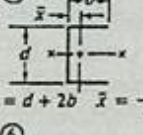
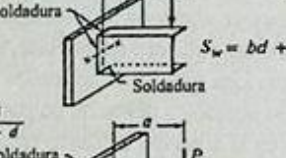
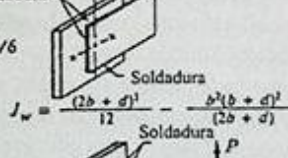
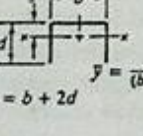
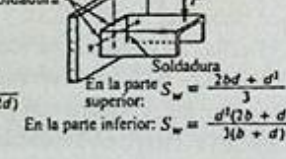
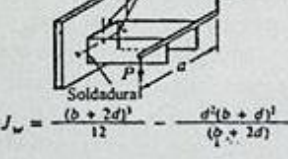
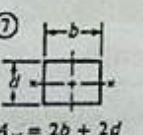
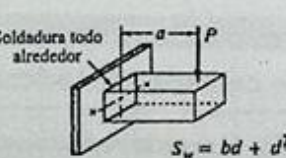
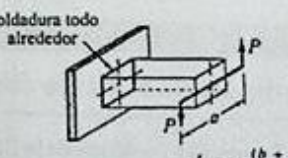
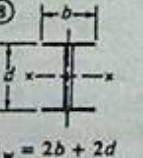
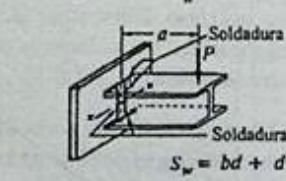
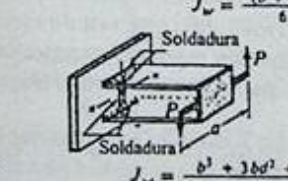
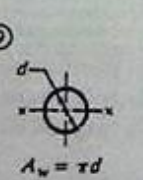
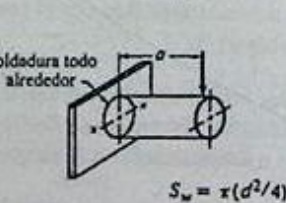
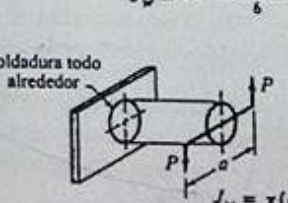
Dimensiones de la soldadura	Flexión	Torsión
①  $A_w = d$	 $S_w = d^2/6$ $M = P_a$	 $J_w = d^3/12$ $T = P_a$ $c = d/2$
②  $A_w = 2d$	 $S_w = d^2/3$	 $J_w = \frac{d(3d^2 + d^2)}{6}$
③  $A_w = 2b$	 $S_w = bd$	 $J_w = \frac{b^3 + 3bd^2}{6}$
④  $A_w = b + d$ $\bar{x} = \frac{b^2}{2(b+d)}$ $\bar{y} = \frac{d^2}{2(b+d)}$	 En la parte superior: $S_w = \frac{4bd + d^2}{6}$ En la parte inferior: $S_w = \frac{d^2(4b + d)}{6(2b + d)}$	 $J_w = \frac{(b+d)^3 - 6b^2d^2}{12(b+d)}$
⑤  $A_w = d + 2b$ $\bar{x} = \frac{b^2}{2b+d}$	 $S_w = bd + d^2/6$	 $J_w = \frac{(2b+d)^3}{12} - \frac{b^2(b+d)^2}{2(b+d)}$
⑥  $A_w = b + 2d$ $\bar{y} = \frac{d^2}{(b+2d)}$	 En la parte superior: $S_w = \frac{2bd + d^2}{3}$ En la parte inferior: $S_w = \frac{d^2(2b + d)}{3(b + d)}$	 $J_w = \frac{(b+2d)^3}{12} - \frac{d^2(b+d)^2}{(b+2d)}$
⑦  $A_w = 2b + 2d$	 $S_w = bd + d^2/3$	 $J_w = \frac{(b+d)^3}{6}$
⑧  $A_w = 2b + 2d$	 $S_w = bd + d^2/3$	 $J_w = \frac{b^3 + 3bd^2 + d^3}{6}$
⑨  $A_w = \pi d$	 $S_w = \pi(d^2/4)$	 $J_w = \pi(d^3/4)$

Tabla 4.2 Factores geométricos para analizar la soldadura como una línea.

Fuente: (Norton, 2011)

TERMOCUPLA °C	J milivolts									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-210	-8.096									
-200	-7.890	-7.912	-7.934	-7.955	-7.976	-7.996	-8.017	-8.037	-8.057	-8.076
-190	-7.659	-7.683	-7.707	-7.731	-7.755	-7.778	-7.801	-7.824	-7.846	-7.868
-180	-7.402	-7.429	-7.455	-7.482	-7.508	-7.533	-7.559	-7.584	-7.609	-7.634
-170	-7.122	-7.151	-7.180	-7.209	-7.237	-7.265	-7.293	-7.321	-7.348	-7.375
-160	-6.821	-6.852	-6.883	-6.914	-6.944	-6.974	-7.004	-7.034	-7.064	-7.093
-150	-6.499	-6.532	-6.565	-6.598	-6.630	-6.663	-6.695	-6.727	-6.758	-6.790
-140	-6.159	-6.194	-6.228	-6.263	-6.297	-6.331	-6.365	-6.399	-6.433	-6.466
-130	-5.801	-5.837	-5.874	-5.910	-5.946	-5.982	-6.018	-6.053	-6.089	-6.124
-120	-5.426	-5.464	-5.502	-5.540	-5.578	-5.615	-5.653	-5.690	-5.727	-5.764
-110	-5.036	-5.076	-5.115	-5.155	-5.194	-5.233	-5.272	-5.311	-5.349	-5.388
-100	-4.632	-4.673	-4.714	-4.755	-4.795	-4.836	-4.876	-4.916	-4.956	-4.996
-90	-4.215	-4.257	-4.299	-4.341	-4.383	-4.425	-4.467	-4.508	-4.550	-4.591
-80	-3.785	-3.829	-3.872	-3.915	-3.958	-4.001	-4.044	-4.087	-4.130	-4.172
-70	-3.344	-3.389	-3.433	-3.478	-3.522	-3.566	-3.610	-3.654	-3.698	-3.742
-60	-2.892	-2.938	-2.984	-3.029	-3.074	-3.120	-3.165	-3.210	-3.255	-3.299
-50	-2.431	-2.478	-2.524	-2.570	-2.617	-2.663	-2.709	-2.755	-2.801	-2.847
-40	-1.960	-2.008	-2.055	-2.102	-2.150	-2.197	-2.244	-2.291	-2.338	-2.384
-30	-1.481	-1.530	-1.578	-1.626	-1.674	-1.722	-1.770	-1.818	-1.865	-1.913
-20	-0.995	-1.044	-1.093	-1.141	-1.190	-1.239	-1.288	-1.336	-1.385	-1.433
-10	-0.501	-0.550	-0.600	-0.650	-0.699	-0.748	-0.798	-0.847	-0.896	-0.945
0	0.000	-0.050	-0.101	-0.151	-0.201	-0.251	-0.301	-0.351	-0.401	-0.451
0	0.000	0.050	0.101	0.151	0.202	0.253	0.303	0.354	0.405	0.456
10	0.507	0.558	0.609	0.660	0.711	0.762	0.813	0.865	0.916	0.967
20	1.019	1.070	1.122	1.174	1.225	1.277	1.329	1.381	1.432	1.484
30	1.536	1.588	1.640	1.693	1.745	1.797	1.849	1.901	1.954	2.006
40	2.058	2.111	2.163	2.216	2.268	2.321	2.374	2.426	2.479	2.532
50	2.585	2.638	2.691	2.743	2.796	2.849	2.902	2.956	3.009	3.062
60	3.115	3.168	3.221	3.275	3.328	3.381	3.435	3.488	3.542	3.595
70	3.649	3.702	3.756	3.809	3.863	3.917	3.971	4.024	4.078	4.132
80	4.186	4.239	4.293	4.347	4.401	4.455	4.509	4.563	4.617	4.671
90	4.725	4.780	4.834	4.888	4.942	4.996	5.050	5.105	5.159	5.213
100	5.268	5.322	5.376	5.431	5.485	5.540	5.594	5.649	5.703	5.758
110	5.812	5.867	5.921	5.976	6.031	6.085	6.140	6.195	6.249	6.304
120	6.359	6.414	6.468	6.523	6.578	6.633	6.688	6.742	6.797	6.852
130	6.907	6.962	7.017	7.072	7.127	7.182	7.237	7.292	7.347	7.402
140	7.457	7.512	7.567	7.622	7.677	7.732	7.787	7.843	7.898	7.953
150	8.008	8.063	8.118	8.174	8.229	8.284	8.339	8.394	8.450	8.505
160	8.560	8.616	8.671	8.726	8.781	8.837	8.892	8.947	9.003	9.058
170	9.113	9.169	9.224	9.279	9.335	9.390	9.446	9.501	9.556	9.612
180	9.667	9.723	9.778	9.834	9.889	9.944	10.000	10.055	10.111	10.166
190	10.222	10.277	10.333	10.388	10.444	10.499	10.555	10.610	10.666	10.721
200	10.777	10.832	10.888	10.943	10.999	11.054	11.110	11.165	11.221	11.276

Tabla 4.3 Tabla de termocupla tipo J.

Fuente: (Arian S.A., 2015)

APÉNDICE B

Cálculos

Cantidad de soldadura

La longitud total de soldadura a utilizar en el banco demostrativo es de 10,8 metros. Teniendo en consideración que el electrodo E6010 se aplicará como base (un solo paso) y el electrodo E7018 se aplicará como recubrimiento (dos pasos), se realizará el cálculo de cantidad de soldadura en kilogramos utilizando la ecuación (11).

$$C = \frac{p*L}{N*d} \quad \text{Ec. (11)}$$

Donde p : Número de pasos.

L : Longitud total de soldadura.

N : Número de electrodos por kilogramo.

d : Longitud que cubre un electrodo.

Para el electrodo E6010 con un paso, se tiene que 1 kilogramo de $1/8$ in son 34 unidades y una unidad cubre 8 cm aproximadamente, por lo tanto la cantidad a utilizar es 3.97 kg; y para el electrodo E7018 con dos pasos, se tiene que 1 kilogramo de $5/32$ in son 27 unidades y una unidad cubre 11 cm aproximadamente, por lo tanto la cantidad a utilizar es 7,27 kg.

Cantidad de pintura

El área que se desea cubrir con pintura se lo obtiene por medio del programa utilizado para modelar el banco demostrativo, donde nos da un valor de $33,2 \text{ m}^2$ sin contar los componentes, y para la bancada nos da un área de 5.7 m^2 . La ecuación (12) nos ayudará a determinar la cantidad de pintura necesaria en litros para cubrir el área especificada.

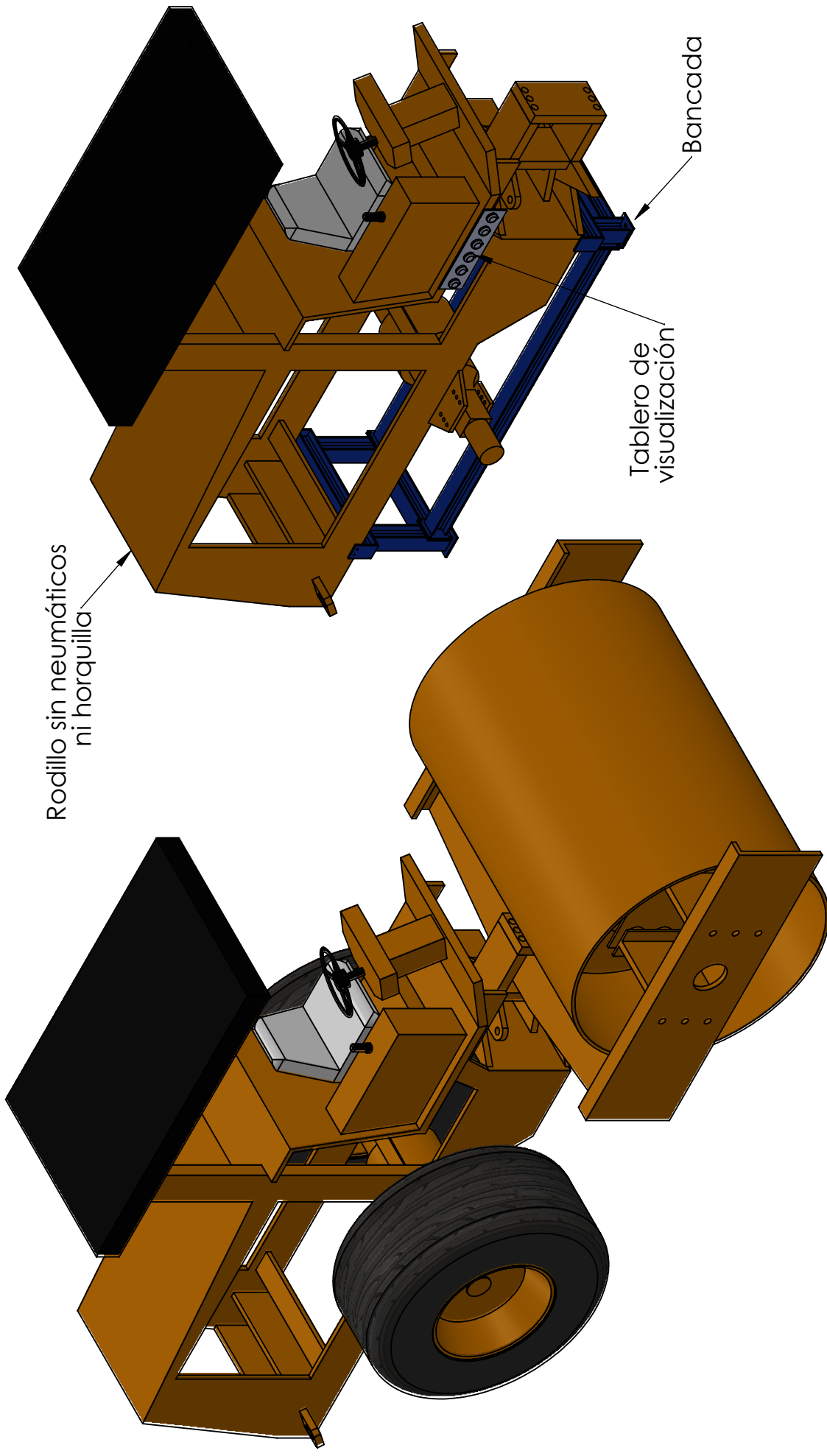
$$\text{Lts. de pintura} = \frac{\text{Superficie total a pintar } \left(\frac{\text{m}^2}{\text{m}^2}\right)}{\text{Rendimiento de pintura } \left(\frac{\text{m}^2}{\text{lts}}\right)} \times \text{Número de capas} \quad \text{Ec. (12)}$$

Antes de pintar el banco demostrativo es importante realizar la eliminación localizada de revestimientos anteriores y la preparación de la superficie (granallado, cepillado, entre otros mencionados en la Norma ISO 8504-2:2000), ya que actualmente el rodillo presenta rugosidades debido a la presencia de óxido y cascarilla de laminación.

Una vez realizado el decapado se puede aplicar las capas de pintura. De acuerdo a las condiciones de trabajo, la pintura seleccionada es un anticorrosivo para metales ferrosos cuyo principal beneficio es proteger la superficie de la corrosión y agentes ambientales creando una barrera entre la misma y el medio ambiente, con el objeto de alargar la vida útil del sustrato (Condor, 2014).

El rendimiento de la pintura anteriormente mencionada es de $13 \text{ m}^2/\text{litro}$ a un espesor de 25.4 micrómetros y dos capas de pintura. Utilizando la ecuación (12), se obtiene que la cantidad de pintura a utilizar en el banco demostrativo es de 5,1 litros, mientras que para la bancada es de 1 litro.

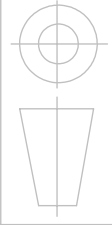
APÉNDICE C
Planos esquemáticos



Rodillo sin neumáticos ni horquilla

Tablero de visualización

Bancada



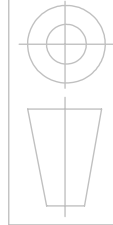
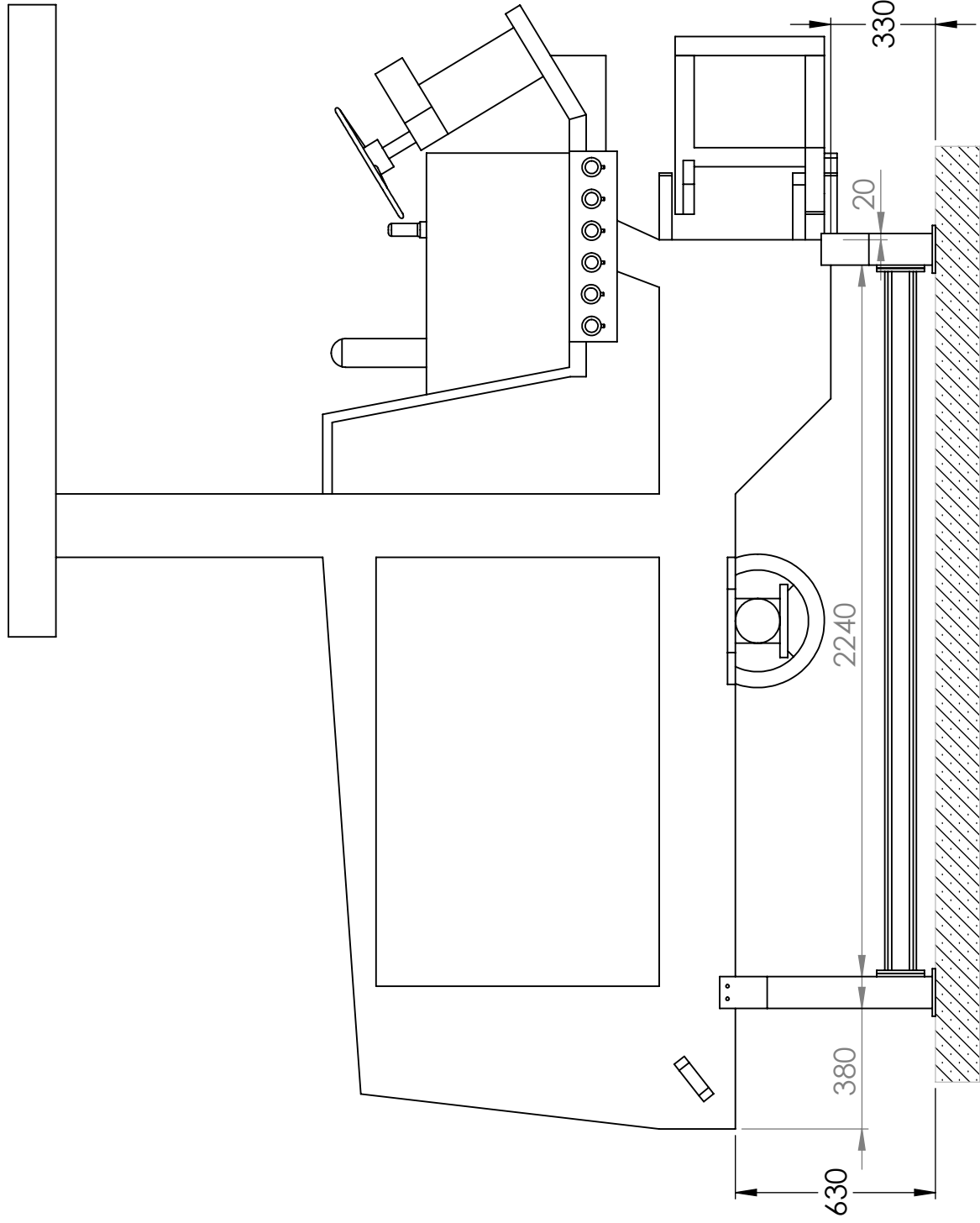
Escala:
1:30

Dibujado por:	Sánchez/Encalada	Nombre	Fecha
Aprobado por:			07/08/2017

E S P O L

Adecuación del rodillo liso vibratorio CS-531C en banco demostrativo

No. 1



Escala:
1: 10

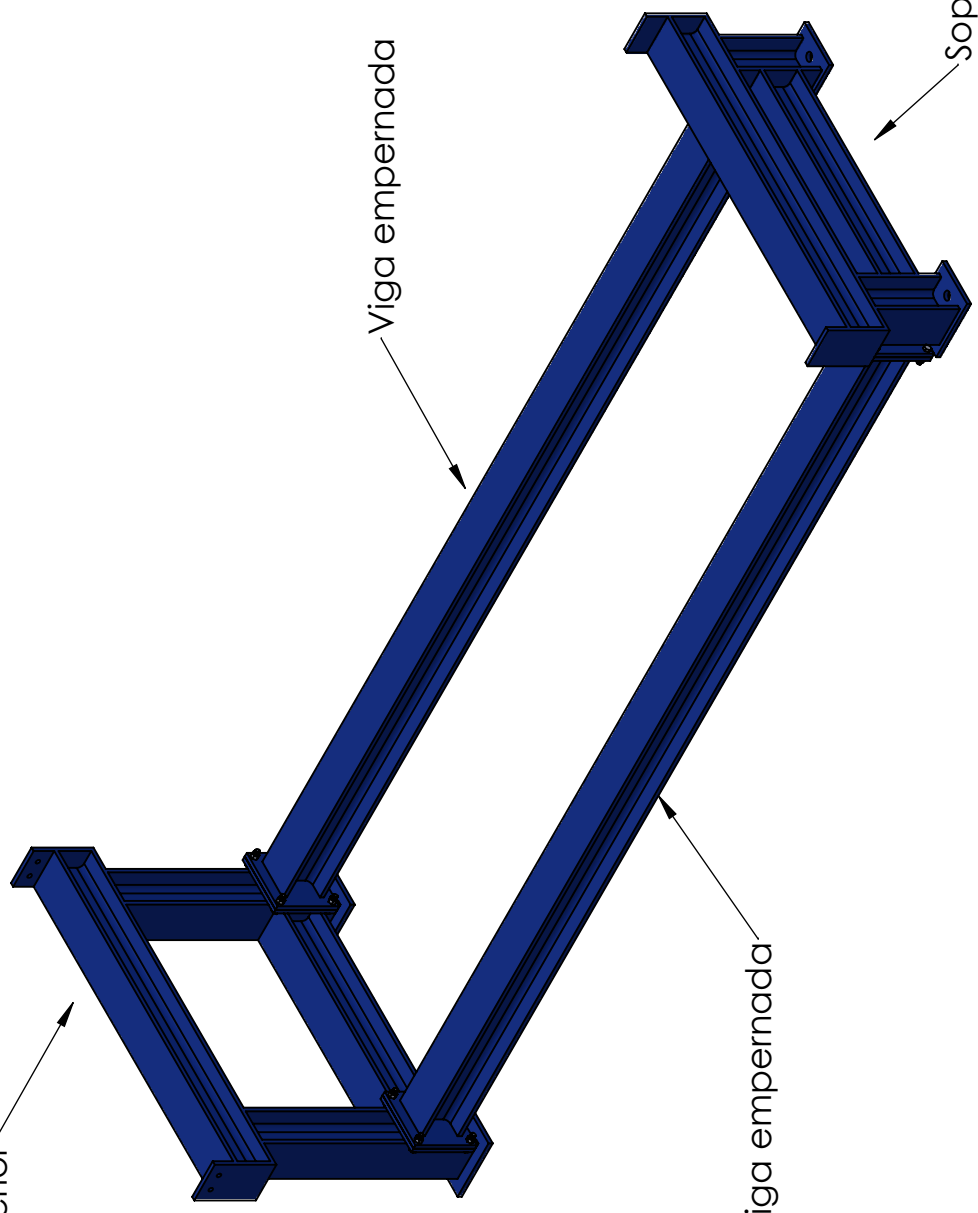
Dibujado por:	Nombre	Fecha
Aprobado por:	Sánchez/Encalada	07/08/2017

E S P O L

Ensamble del rodillo sobre la bancada

No. 2

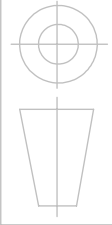
SopORTE posterior



Viga empernada

Viga empernada

SopORTE delantero



Escala:

1: 15

Dibujado por:	Sánchez/Encalada	Nombre	Sánchez/Encalada	Fecha	07/08/2017
Aprobado por:					

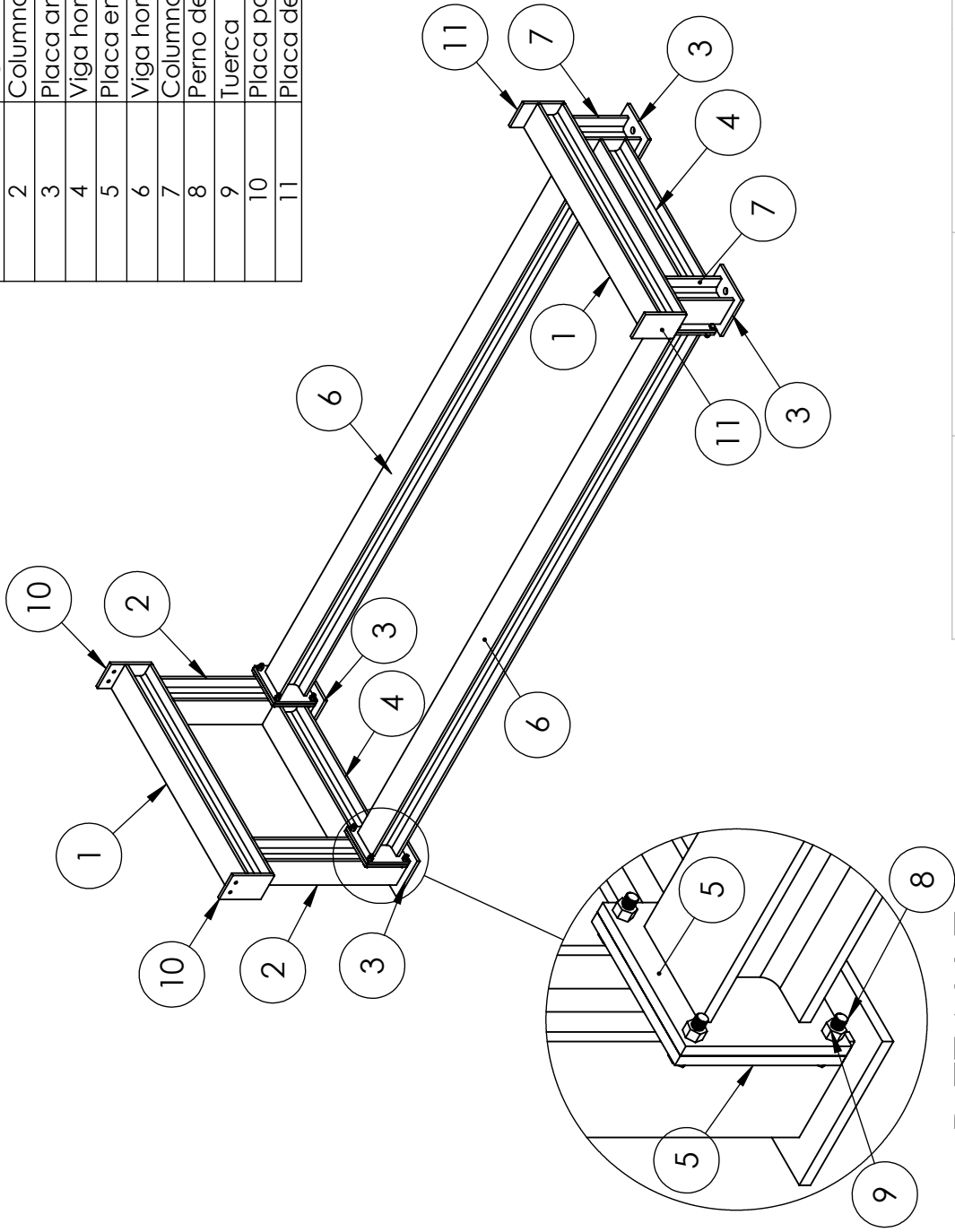
E S P O L

Bancada

No.

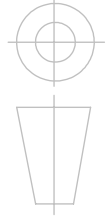
3

N.º DE ELEMENTO	ELEMENTO	CANTIDAD	DETALLE
1	Viga de apoyo	2	HEB 100 L 870 mm
2	Columna posterior	2	HEB 100 L 520 mm
3	Placa anclada	4	150x150x10 mm
4	Viga horizontal 1	2	HEB 100 L 570 mm
5	Placa emperrada	8	150x150x10 mm
6	Viga horizontal 2	2	HEB 100 L 2200 mm
7	Columna delantera	2	HEB 100 L 200 mm
8	Perno de fijacion	16	UNC G5 3/8" x 1-1/2"
9	Tuerca	16	UNC G5 3/8"
10	Placa posterior	2	150x100x10 mm
11	Placa delantera	2	150x100x10 mm



DETALLE A

ESCALA 1:5



Escala:
1:20

Dibujado por:	Nombre	Fecha
Aprobado por:	Sánchez/Encalada	07/08/2017

E S P O L

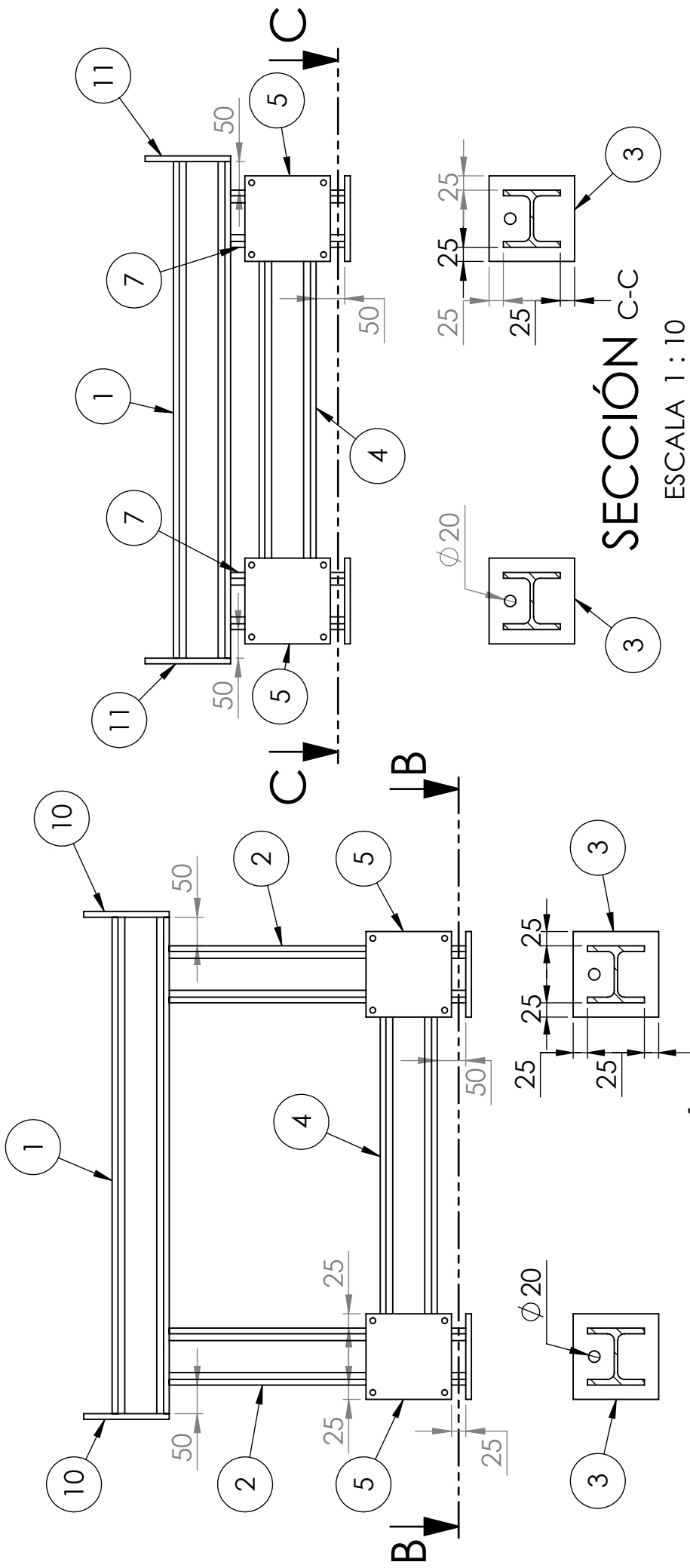
Plano de construcción de la bancada

No.

4

SOPORTE POSTERIOR

SOPORTE DELANTERO

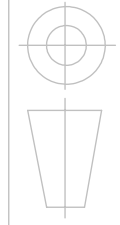


SECCIÓN C-C

ESCALA 1 : 10

SECCIÓN B-B

ESCALA 1 : 10



Escala:
1 : 10

Dibujado por: Aprobado por:	Nombre Sánchez/Encalada	Fecha 07/08/2017
--------------------------------	----------------------------	---------------------

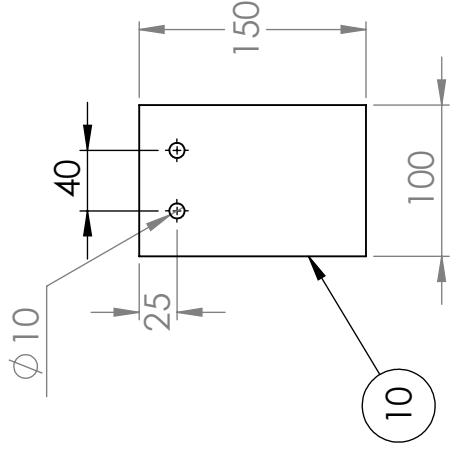
E S P O L

Plano de construcción de la bancada: soportes

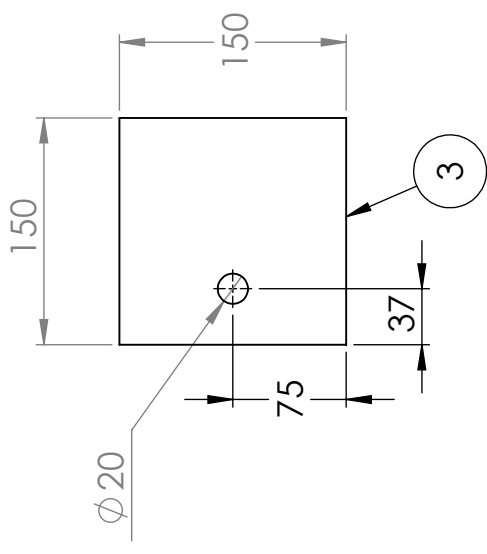
No.

5

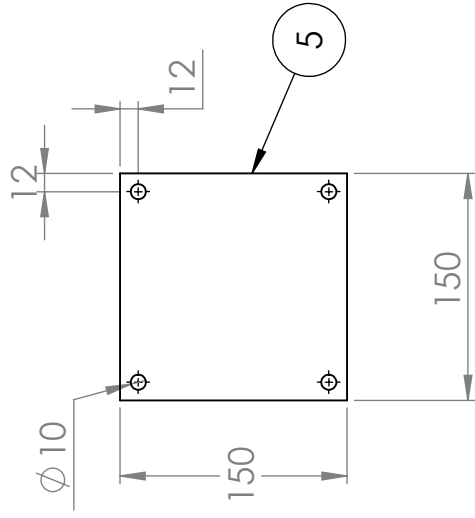
PLACA POSTERIOR



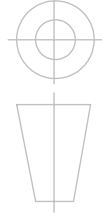
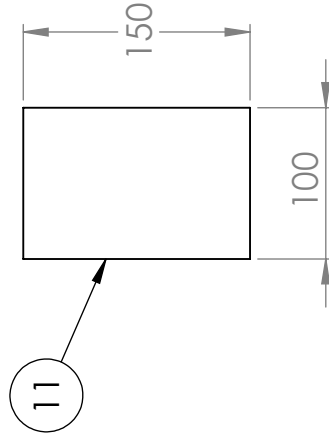
PLACA DE ANCLAJE



PLACA EMPERNADA



PLACA DELANTERA



Escala:

1:5

Dibujado por: Sánchez/Encalada
Aprobado por:

Nombre

Fecha

07/08/2017

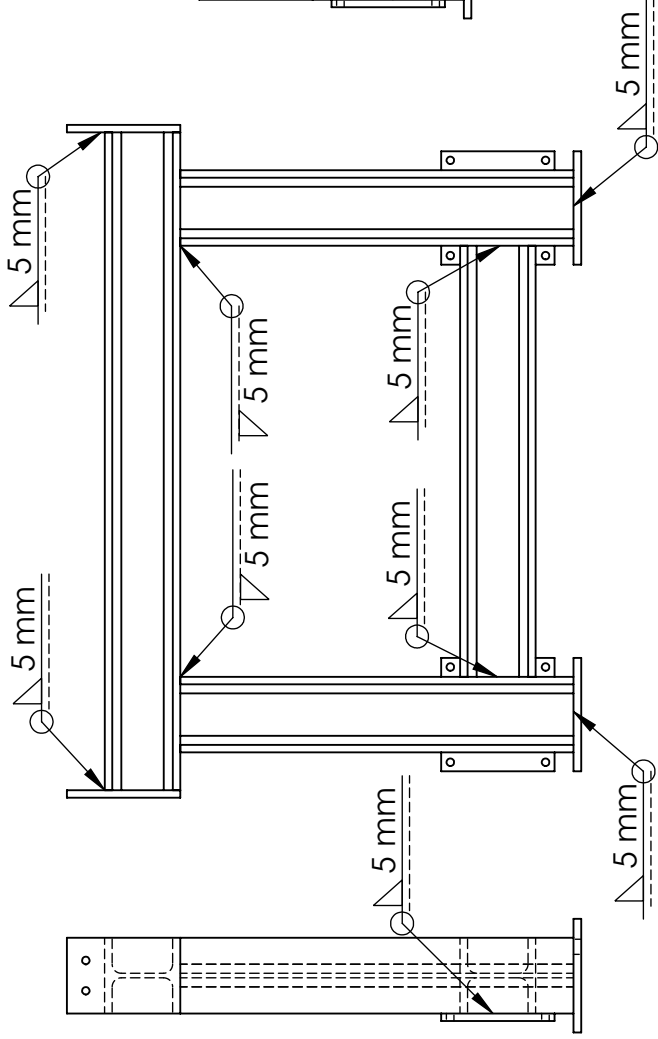
E S P O L

Plano de construcción de la bancada: placas

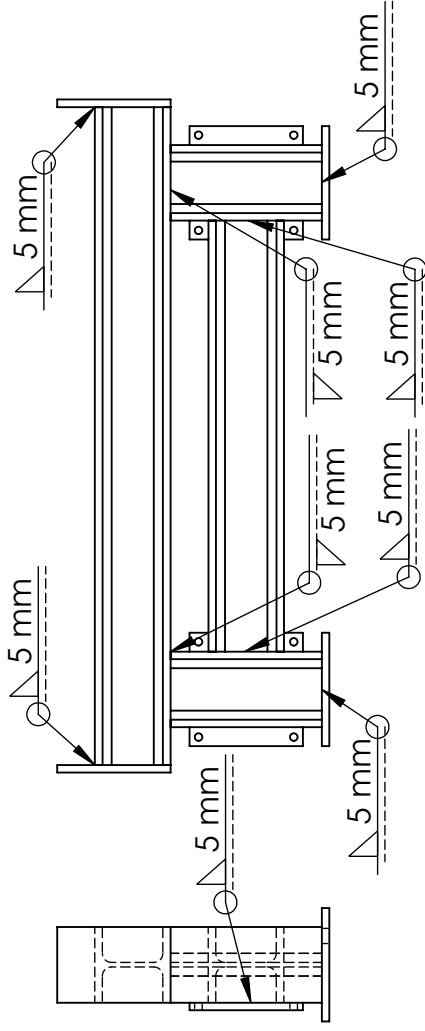
No.

6

SOPORTE POSTERIOR



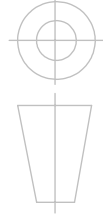
SOPORTE DELANTERO



VIGA HORIZONTAL 2



MATERIAL	
Base	E6010
Recubrimiento	E7018



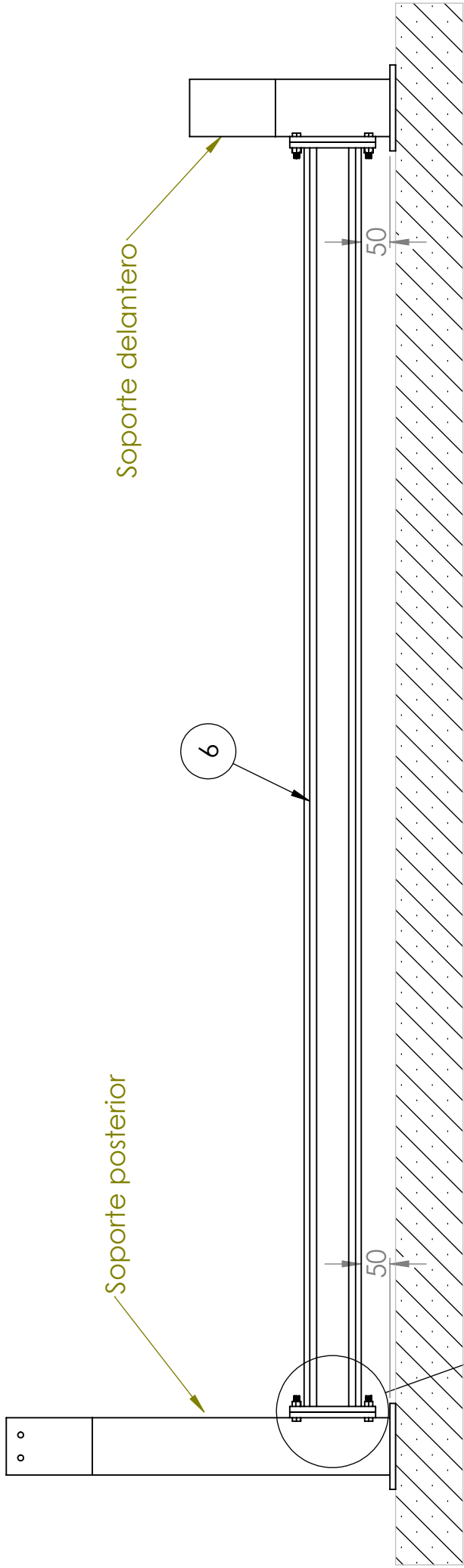
Escala:
1: 10

Dibujado por:	Sánchez/Encalada	Nombre	Sánchez/Encalada	Fecha	07/08/2017
Aprobado por:					

E S P O L

Planos de construcción de la bancada: soldadura

No. 7



Soporte posterior

Soporte delantero

6

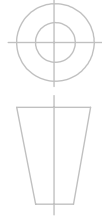
50

50

9

8

DETALLE D
ESCALA 1 : 5



Escala:

1: 10

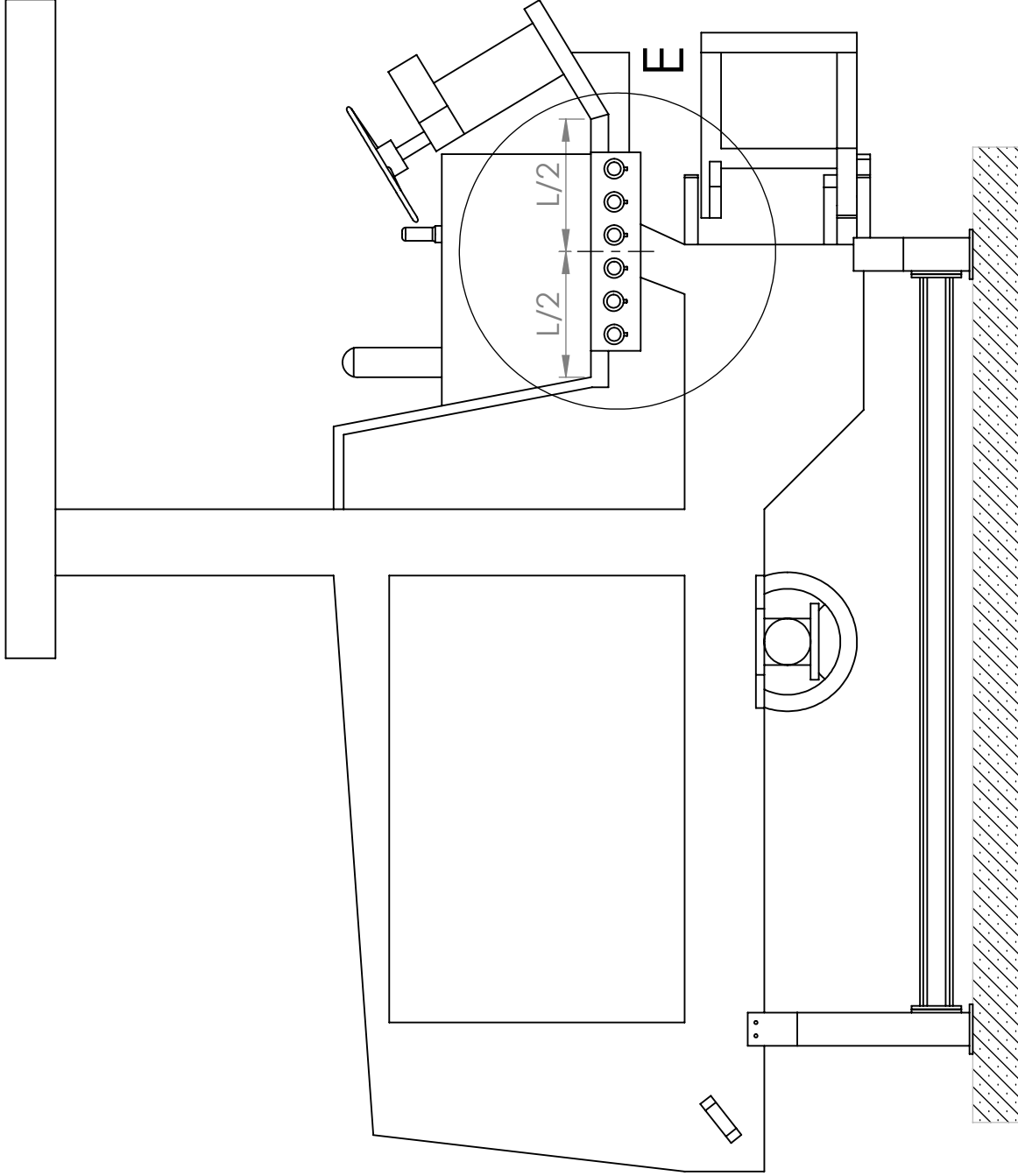
Dibujado por:	Nombre	Fecha
Aprobado por:	Sánchez/Encalada	07/08/2017

E S P O L

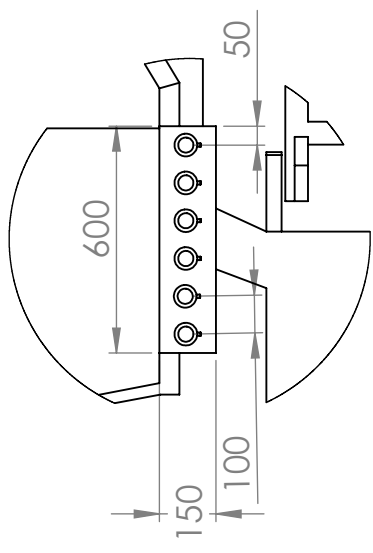
Plano de construcción de la bancada: ensamble

No.

8

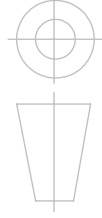


TABLERO DE VISUALIZACIÓN



DETALLE E

ESCALA 1 : 20



Escala:

1 : 10

Dibujado por:	Nombre	Fecha
Aprobado por:	Sánchez/Encalada	07/08/2017

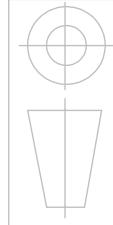
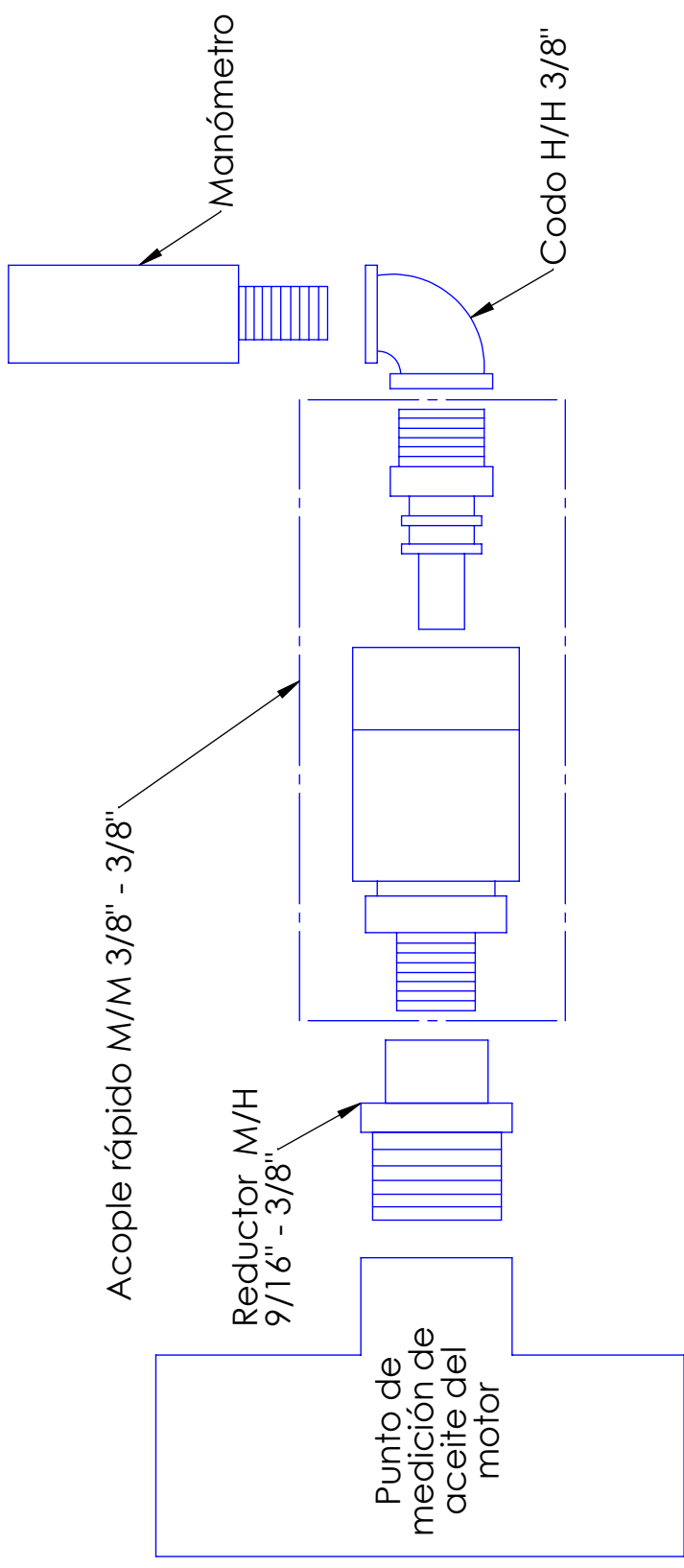
E S P O L

Tablero de visualización

No.

9

Esquema para el punto 10: Medición de presión del aceite del motor.



Escala:
N/A

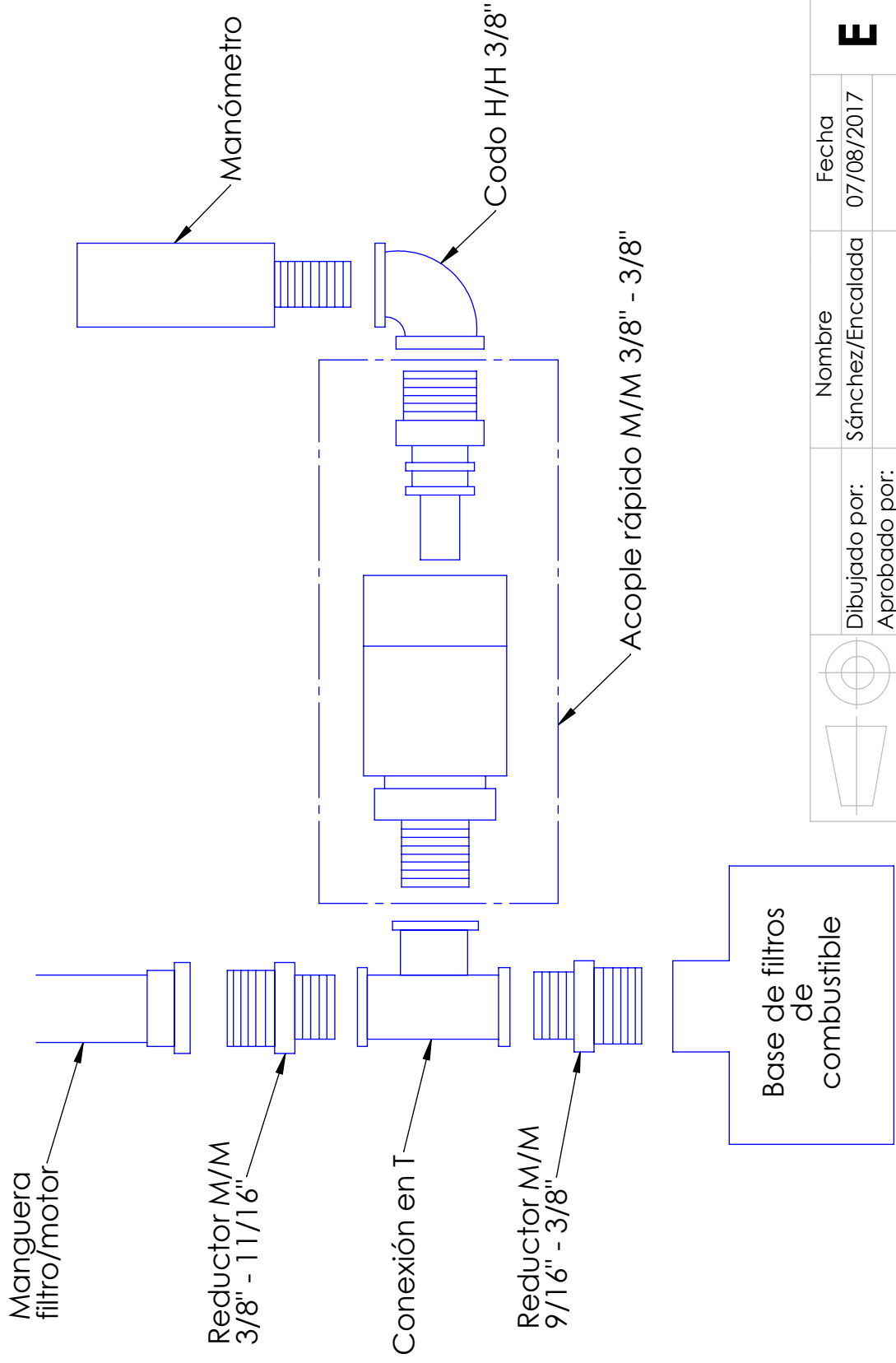
Dibujado por:	Nombre	Fecha
Aprobado por:	Sánchez/Encalada	07/08/2017

E S P O L

Esquema de acoples, accesorios e instrumentos:
componente mecánico

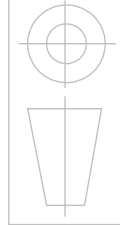
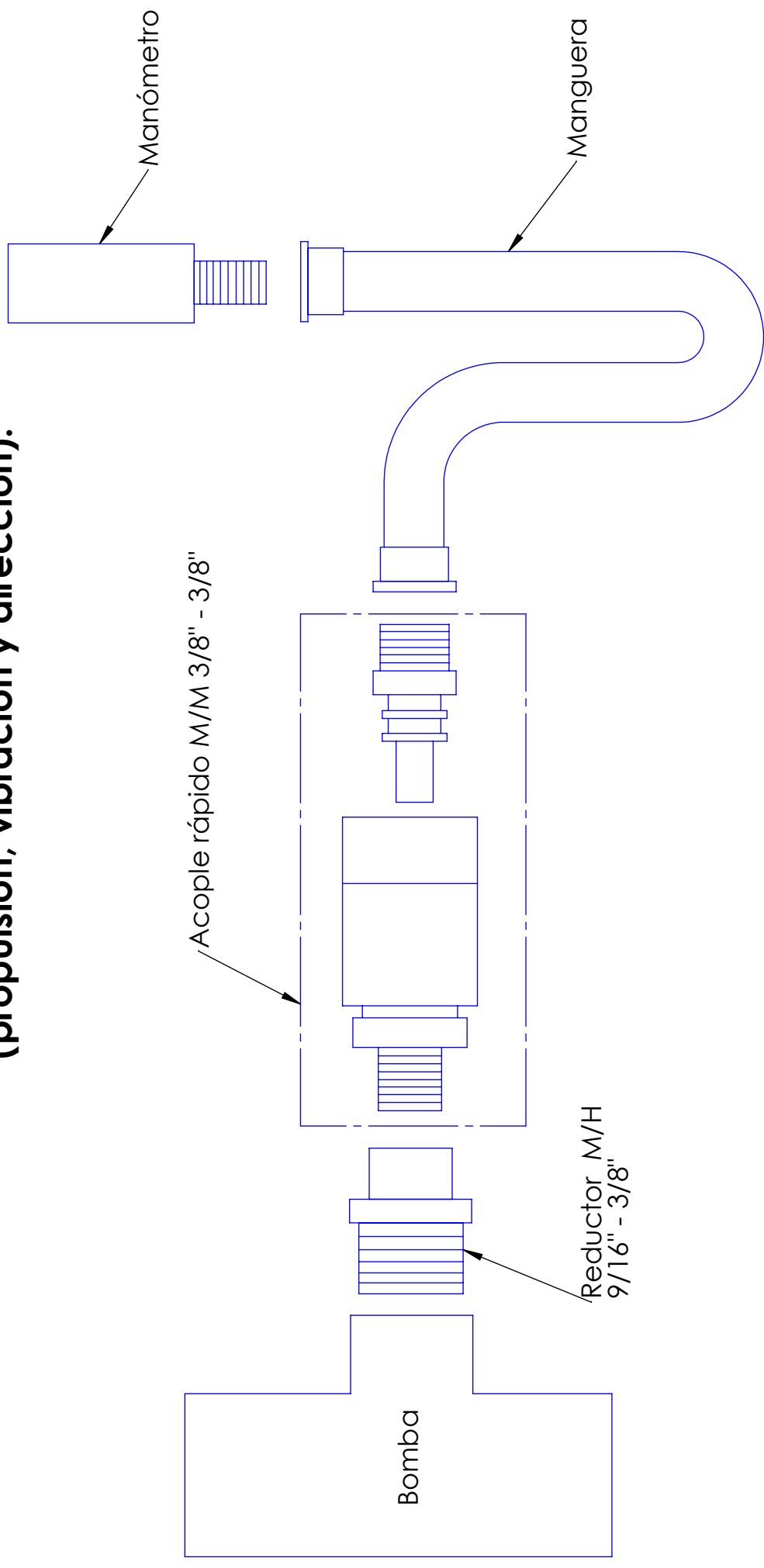
No. 10

Esquema para el punto 9: Medición de presión del combustible.



	Dibujado por:	Nombre	Fecha	E S P O L
	Aprobado por:	Sánchez/Encalada	07/08/2017	
Escala: N/A	Esquema de acoples, accesorios e instrumentos: componente mecánico			No. 11

Esquema para el punto 1, 2, 3, 4, 5 y 6 : Medición de presión de las bombas (propulsión, vibración y dirección).



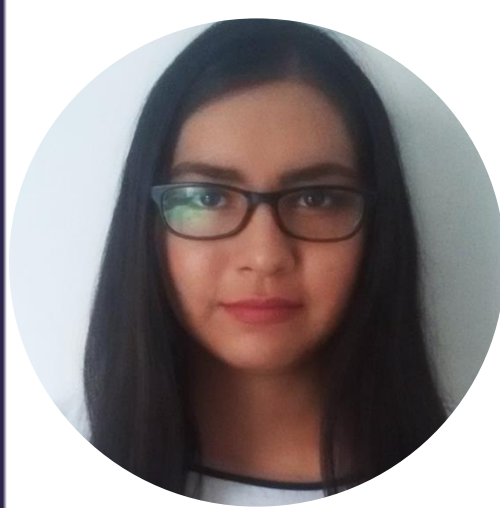
Escala:
N/A

Dibujado por:	Nombre	Fecha
Aprobado por:	Sánchez/Encalada	07/08/2017

E S P O L

Esquema de acoples, accesorios e instrumentos:
componentes hidráulicos

No. 12



Erika Michelle Sánchez Martínez

ermisanc
@espol.edu.ec



Susana Michelle Encalada García

sumienca
@espol.edu.ec

DISEÑO DE UN BANCO DEMOSTRATIVO DE SISTEMAS HIDRÁULICOS Y MECÁNICOS A PARTIR DE UN RODILLO LISO VIBRATORIO

La Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) recibió la donación libre de un rodillo liso vibratorio modelo CS-531C por parte del Muy Ilustre Municipio de la ciudad de Guayaquil. Se plantea diseñar un banco demostrativo/didáctico a partir de sus componentes con el propósito de contribuir a la formación de los estudiantes de Ingeniería Mecánica.



1

Objetivo general

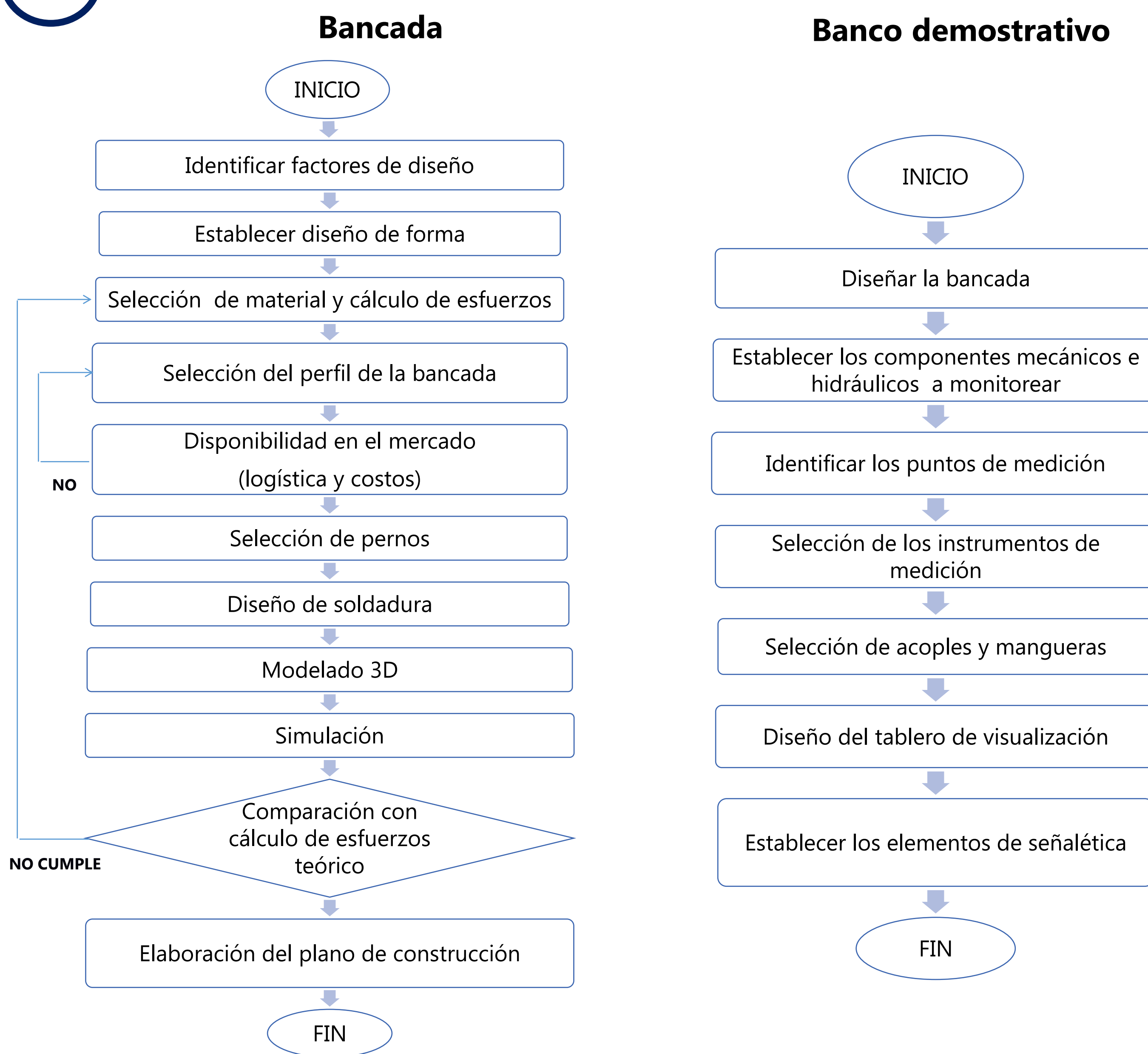
Diseñar un banco demostrativo de sistema hidráulico y motor de combustión a partir de un rodillo liso vibratorio para fines didácticos, con el propósito de contribuir a la formación de los estudiantes de Ingeniería Mecánica.

Objetivos específicos

- Valorar los elementos mecánicos e hidráulicos de la maquinaria.
- Diseñar una bancada que sirva de soporte para el banco demostrativo.
- Seleccionar instrumentos o medidores para la observación de los parámetros básicos del funcionamiento del banco demostrativo.
- Diseñar los elementos de señalética para la descripción del funcionamiento.
- Establecer las necesidades técnicas, logísticas y económicas para la adecuación de la maquinaria como banco demostrativo.

2

Metodología de diseño



3

Resultados

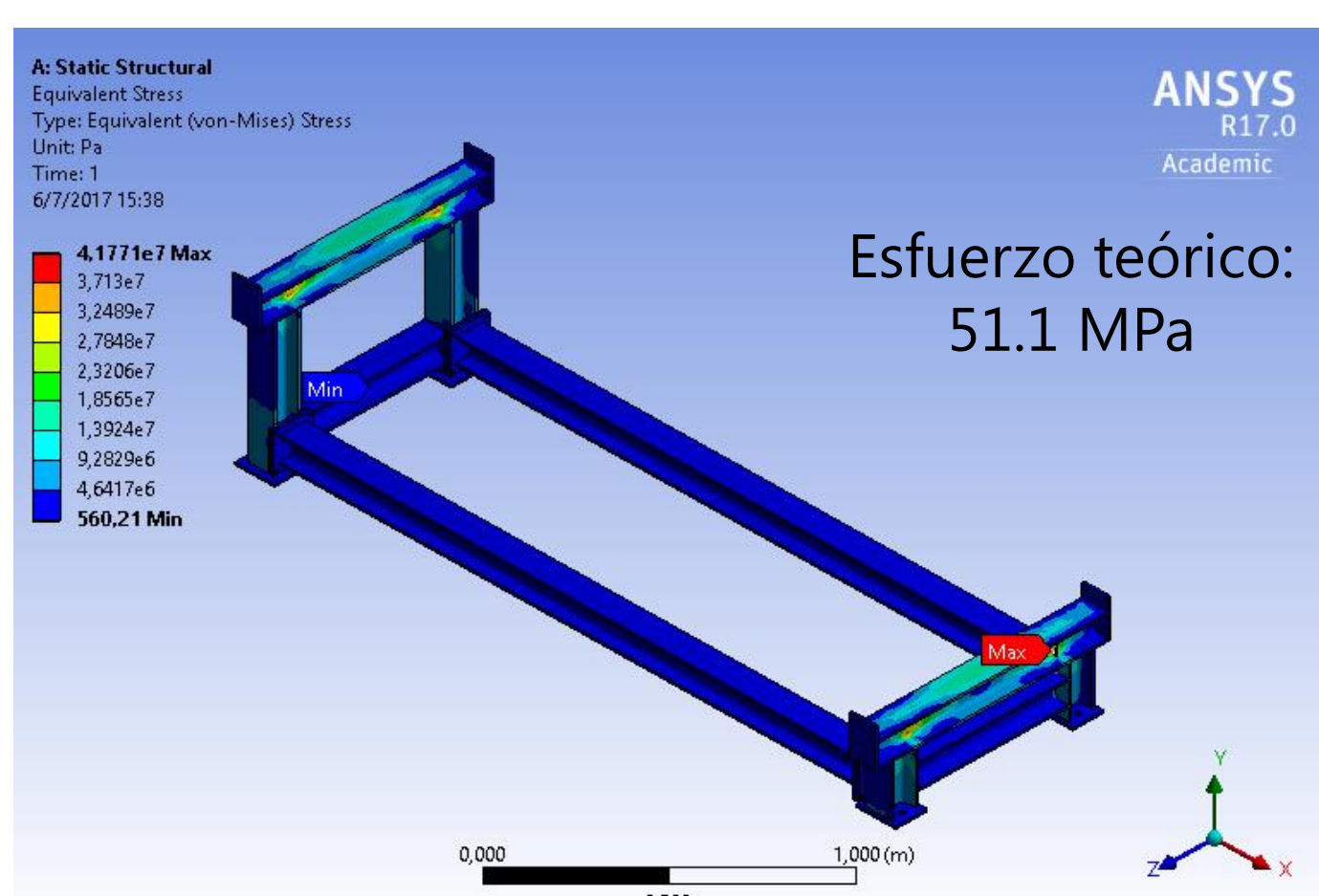
Puntos de medición



- Bomba de propulsión: 1 y 2
- Bomba de vibración: 3, 4 y 5
- Bomba de dirección: 6
- Refrigerante: 7 y 8
- Aceite del motor: 9
- Combustible: 10



Simulación estructural

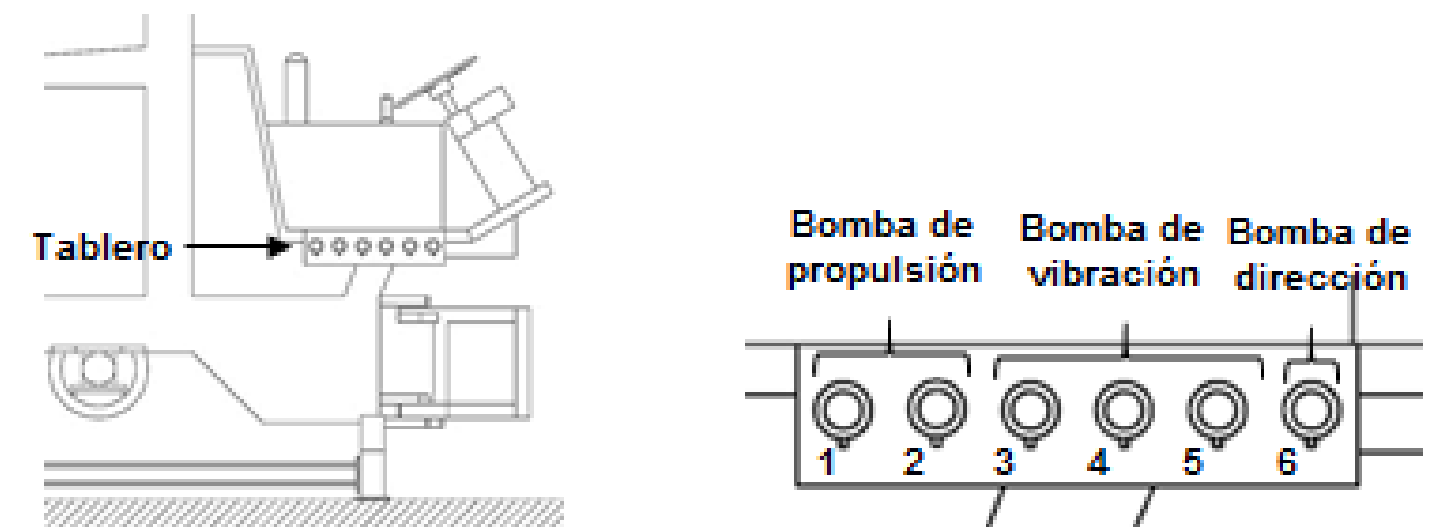


Simulación modal

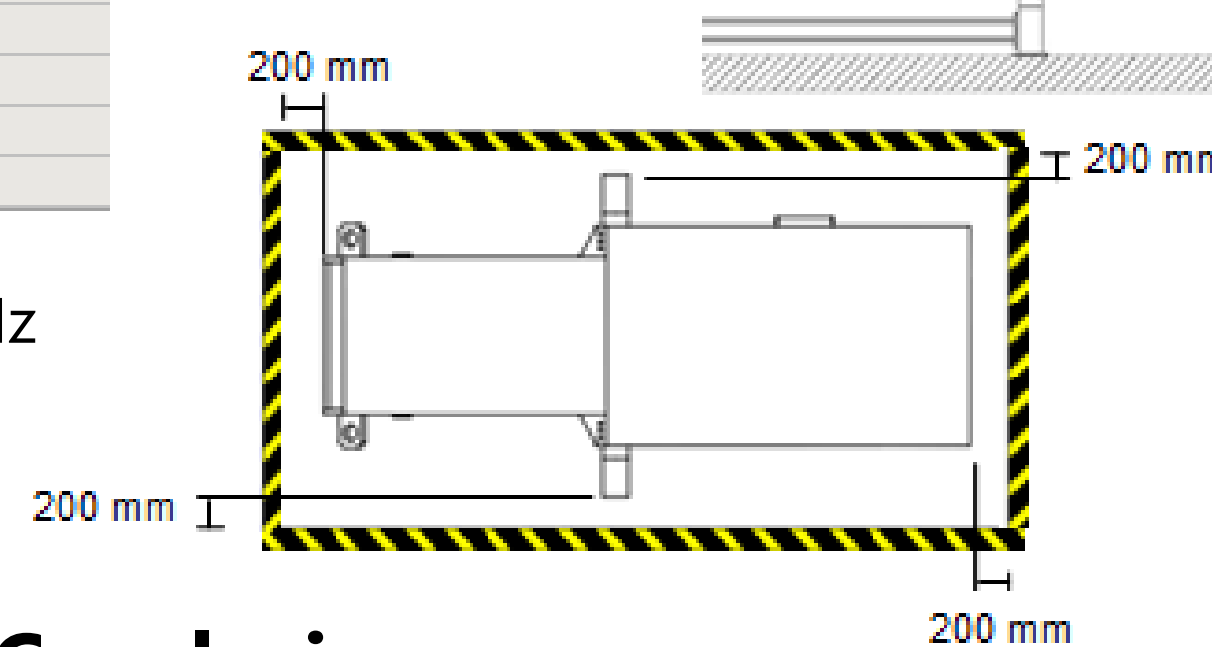
Mode	Frequency [Hz]
1	80,067
2	81,818
3	105,77
4	109,62
5	123,42
6	123,55
7	130,56
8	157,29
9	216,77
10	222,13

Motor@36.7Hz

Tablero de visualización

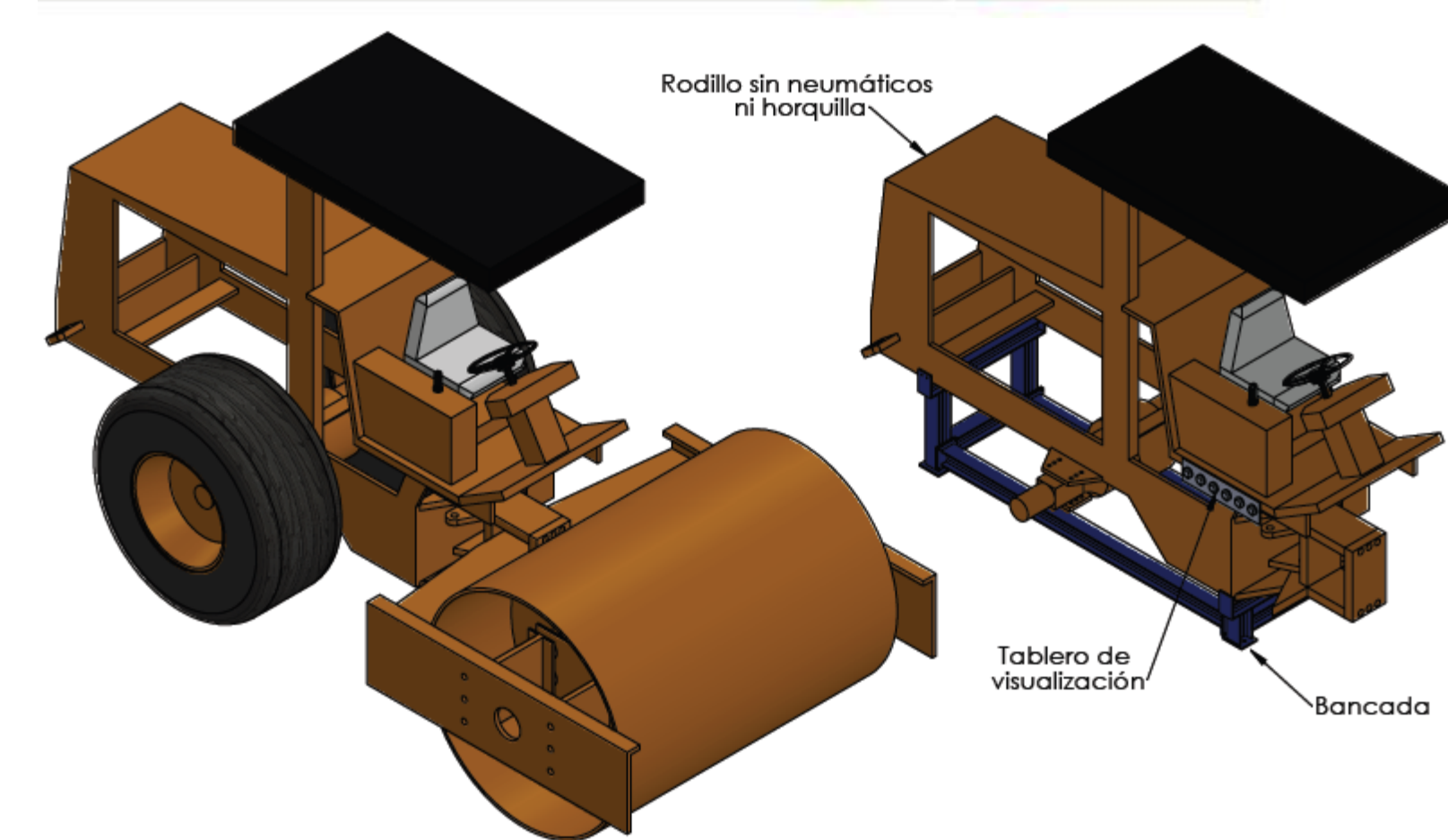
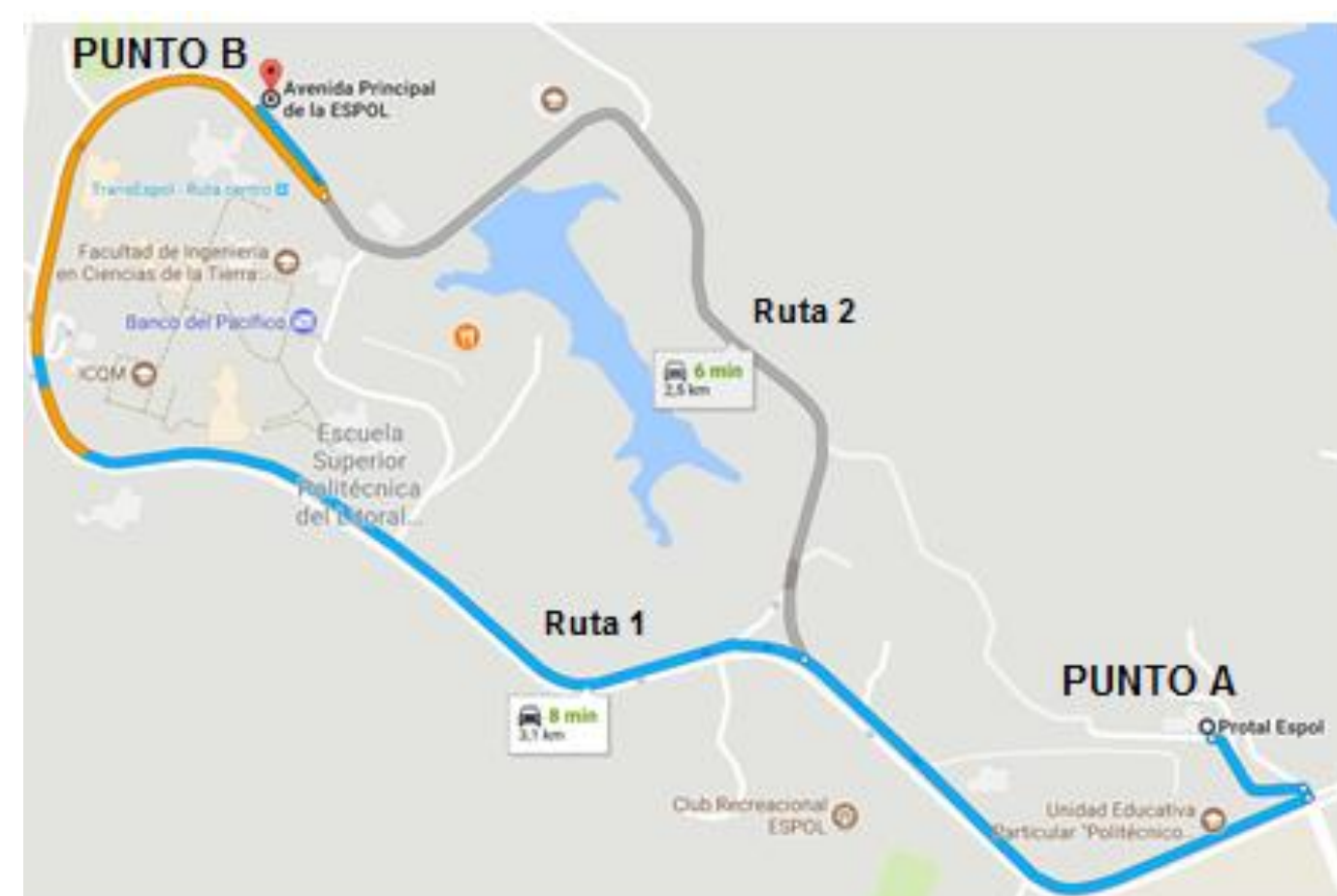


Señalética



MOTOR

Logística



4

Conclusiones

- De acuerdo a la valoración mecánica e hidráulica del rodillo, se concluye que se puede realizar la adecuación de la maquinaria en un banco demostrativo.
- Se determinó que la bancada tiene una baja probabilidad de falla ya que todos los factores de seguridad obtenidos son mayores a 1.
- Se determinó que no existía resonancia entre el motor y la bancada.
- Se seleccionaron manómetros y termocuplas para la lectura de los parámetros de presión y temperatura de los componentes mecánicos e hidráulicos a monitorear.
- El costo aproximado para la adecuación de la maquinaria como banco demostrativo sin considerar las herramientas ni los equipos para su montaje es de \$2000. En caso de que el rodillo no posea la suficiente tracción para su correspondiente movilización o no pueda ser operado, el costo se elevará a \$2600.