

**BANCO DE PRUEBAS DE MOTORES PARA EL
LABORATORIO DE MÁQUINAS TÉRMICAS
ALTERNATIVAS, DISEÑO DEL PUESTO DE TRABAJO Y
PROPUESTA DE MODERNIZACIÓN DEL LABORATORIO**

LUIS ALFREDO NIÑO

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

2.006

**BANCO DE PRUEBAS DE MOTORES PARA EL
LABORATORIO DE MÁQUINAS TÉRMICAS
ALTERNATIVAS, DISEÑO DEL PUESTO DE TRABAJO Y
PROPUESTA DE MODERNIZACIÓN DEL LABORATORIO**

LUIS ALFREDO NIÑO

**Trabajo de Grado para optar al título de
Diseñador Industrial e Ingeniero Mecánico**

Director

JORGE LUIS CHACON VELASCO

Ingeniero Mecánico

Codirector

EDUARDO S. GUEVARA

Diseñador Industrial

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

2.006

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Bucaramanga, 9 de Febrero del 2.006

DEDICATORIA

A mi hermana y amiga Maria del Carmen Sánchez Niño, gracias a ella soy lo que soy y tengo lo que tengo; su apoyo y comprensión han sido muchos más que oportunos.

A mi madre.

Luís Alfredo Niño.

AGRADECIMIENTOS

A Jorge Luís Chacón Velasco, ingeniero mecánico, y a Eduardo Guevara, diseñador industrial, director y codirector del proyecto respectivamente, por su respaldo, confianza y colaboración oportuna.

El autor da gracias a todo el profesorado de la Escuela de Diseño Industrial y de Ingeniería Mecánica por haberme permitido adquirir todo el conocimiento y experiencia que poseen.

A todos mis compañeros de clase ya que fueron un apoyo permanente durante mi estadía en la universidad.

A toda la sociedad Colombiana que me permitieron adquirir una preparación profesional en una universidad que gracias a ellos existe y que admiro y amo.

TABLA DE CONTENIDO

<u>INTRODUCCIÓN.....</u>	<u>19</u>
<u>1. PRELIMINARES</u>	<u>21</u>
1.1 IDENTIFICACION DEL PROBLEMA	21
1.2 JUSTIFICACION PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA	22
1.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO.....	22
1.3.1 OBJETIVOS GENERALES.....	22
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
<u>2. LABORATORIO DE MAQUINAS TERMICAS ALTERNATIVAS.....</u>	<u>25</u>
2.1 GENERALIDADES DE UNA SALA DE ENSAYOS PARA MCIA	25
2.1.1 INTRODUCCIÓN	25
2.1.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES.....	28
2.1.3 PRUEBAS DE LABORATORIO A REALIZAR EN EL BANCO DE ENSAYOS DE MCIA	31
2.2 PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS MOTORES DE COMBUSTION INTERNA ALTERNATIVOS (MCIA)	32
2.2.1 INTRODUCCIÓN A LOS MCIA	32
2.2.2 PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS MCIA.....	33
2.3 ERGONOMIA EN EL LABORATORIO DE MCIA.....	33
2.3.1 DISEÑO DEL SISTEMA DE TRABAJO	33
2.3.2 FACTORES RELACIONADOS CON EL ESPACIO DE TRABAJO	34
2.3.3 FACTORES RELACIONADOS CON EL MEDIO DE TRABAJO	35
2.3.4 FACTORES RELACIONADOS CON EL PROCESO DE TRABAJO	35

2.4	DIAGNOSTICO DEL ESTADO ACTUAL DEL LMTA	37
2.4.1	CONFORMACIÓN GENERAL DEL LABORATORIO	37
2.4.2	DISPOSICIÓN DE LOS ELEMENTOS DE SOPORTE DEL LABORATORIO.....	38
2.4.3	BANCOS DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO	41
2.4.4	SALA DE CONTROL.....	43
2.4.5	SALA DE PRUEBAS DE MOTORES	44
2.4.6	ELABORACIÓN DE LA MATRIZ DOFA DEL LABORATORIO.....	47
3.	<u>SISTEMAS BASICOS DE LA SALA DE ENSAYOS PARA MCIA</u>	51
3.1	SELECCIÓN DEL DINAMOMETRO	52
3.1.1	DESCRIPCIÓN DE LOS TIPOS DE DINAMÓMETROS	52
3.1.2	SOLUCIÓN ADOPTADA SEGÚN LA SALA DE ENSAYOS.....	53
3.2	SELECCIÓN DEL EQUIPO AUXILIAR	55
3.2.1	SISTEMA DE VENTILACIÓN Y ASPIRACIÓN DE GASES	55
3.2.2	SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE	58
3.2.3	SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DEL MOTOR.....	59
3.2.4	SUMINISTRO ELÉCTRICO	60
3.2.5	SISTEMA DE SEGURIDAD	61
3.2.6	ANÁLISIS DE EMISIONES CONTAMINANTES.....	64
3.3	FACTORES ERGONOMICOS	66
3.3.1	ANTROPOMETRÍA Y ESPACIO DE TRABAJO.....	66
3.3.2	DISTRIBUCIÓN DEL ESPACIO DE TRABAJO	68
3.3.3	ORGANIZACIÓN DEL ENTORNO	69
3.4	FACTORES DE INFRAESTRUCTURA (CIVILES)	70
3.4.1	FUNDAMENTOS DE FUENTES DE VIBRACIONES	70
3.4.2	MUROS, PUERTAS Y VENTANAS	73
3.4.3	SUELO, CIMIENTOS Y TECHO	74
3.4.4	POLIPASTO Y VIGA.....	74
3.4.5	BANCADA.....	75
3.4.6	FOSO.....	81

4. REDISEÑO DE LA PLANTA FÍSICA DEL LMTA 82

4.1 LOCALIZACIÓN 82

4.2 DIAGRAMA DE LA DISTRIBUCIÓN DE PLANTA 84

4.2.1 DETERMINACIÓN DEL FLUJO 84

4.2.2 DIAGRAMA DE RELACIONES 85

4.2.3 REQUERIMIENTOS DE ESPACIO 86

4.2.4 PROPUESTA DE DISTRIBUCIÓN DE PLANTA 88

4.3 DIAGRAMA ELÉCTRICO 92

4.4 PRESUPUESTO NECESARIO 92

5. DISEÑO Y FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO PARA EL PROYECTO

DIAGMA D-100 93

5.1 PROCESO DE DISEÑO 93

5.1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA 94

5.1.2 CLARIFICACIÓN DE OBJETIVOS 95

5.1.3 ESTABLECIMIENTO DE FUNCIONES 95

5.1.4 ANÁLISIS DE SOLUCIONES EXISTENTES 95

5.1.5 5. REQUERIMIENTOS DE DISEÑO 98

5.2 PRESENTACION Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS 101

5.2.1 PRIMERA ALTERNATIVA 101

5.2.2 SEGUNDA ALTERNATIVA 104

5.2.3 TERCERA ALTERNATIVA 107

5.2.4 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS 110

5.3 PROCESO DE PRODUCCION 115

5.4 EXPERIMENTACION ERGONÓMICA 121

6. PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DEL BANCO DE PRUEBAS DE MCIA..... **122**

6.1 ESTADO INICIAL DEL BANCO DE PRUEBAS DE MCIA.....	122
6.1.1 CONFORMACIÓN GENERAL DEL BANCO DE PRUEBAS	122
6.1.2 DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL.....	122
6.1.3 MATRIZ DOFA	125
6.2 SOLUCIONES DESARROLLADAS	126
6.2.1 PUESTA EN MARCHA DEL MOTOR.....	126
6.2.2 RECONEXIÓN DEL KIT DE CONVERSIÓN GNV	126
6.2.3 REVISIÓN, SELECCIÓN E INSTALACIÓN DE SENSORES Y ACTUADORES	127
6.2.4 SISTEMA DAQ Y SOFTWARE.....	130
6.2.5 SUMINISTRO ELÉCTRICO PROPIO.....	131
6.2.6 REDISEÑO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DEL MOTOR	133

7. MANUAL DE PRUEBAS DE LABORATORIO PARA EL BANCO DE PRUEBAS DE MCIA..... **135**

7.1 POTENCIA AL FRENO	135
7.2 PRUEBA N° 1: PAR DE ROTACION Y VELOCIDAD CON EL ACELERADOR TOTALMENTE ABIERTO.....	136
7.2.1 PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA	138
7.3 PRUEBA N° 2: PAR DE ROTACION A VELOCIDAD CONSTANTE Y APERTURA VARIABLE DEL ACELERADOR	139
7.3.1 PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA	139
7.4 PRUEBA N° 3: PAR DE ROTACION, CONSUMO DE AIRE Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE CON ACELERADOR TOTALMENTE ABIERTO Y VELOCIDAD VARIABLE	140
7.4.1 RELACIÓN AIRE COMBUSTIBLE	140
7.4.2 CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE (CEC).....	140
7.4.3 EFICIENCIA TÉRMICA (H)	141

7.4.4	PRESIÓN MEDIA EFECTIVA AL FRENO (PMEF).....	141
7.4.5	EFICIENCIA VOLUMÉTRICA.....	142
7.4.6	PROCEDIMIENTO	142
7.5	PRUEBA N° 4: PAR DE ROTACION, CONSUMO DE AIRE Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE A VELOCIDAD CONSTANTE Y APERTURA VARIABLE DEL ACELERADOR	144
7.5.1	PROCEDIMIENTO	144
7.6	CORRELACION DE LA POTENCIA OBSERVADA SEGÚN NORMA SAE J1349	145
8.	<u>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</u>	148
9.	<u>BIBLIOGRAFÍA.....</u>	150
10.	<u>ANEXOS.....</u>	151

LISTADO DE FIGURAS

FIGURA 1. FLUIDOS QUE INTERVIENEN EN UNA SALA DE ENSAYOS	26
FIGURA 2. DIAGRAMA DE PESCAO MOSTRANDO LAS 4 FACETAS QUE BUSCA COMO OBJETIVO LA CONFORMACIÓN DEL LMTA	34
FIGURA 3. DIAGRAMA DE PESCAO PARA EL DISEÑAR EL ESPACIO DE TRABAJO Y SU EQUIPO	35
FIGURA 4. DIAGRAMA DE PESCAO PARA LOS FACTORES RELACIONADOS CON EL MEDIO DE TRABAJO	36
FIGURA 5. DIAGRAMA DE PESCAO DE LOS FACTORES QUE BUSCA GARANTIZAR LA SEGURIDAD DE LAS PERSONAS.....	36
FIGURA 6. ILUSTRACIÓN GENERAL DEL LMTA, MOSTRANDO SUS TRES SECCIONES	38
FIGURA 7. UBICACIÓN Y FOTOGRAFÍA DE LOS ESTANTES PARA PARTES DE MÁQUINA.....	39
FIGURA 8. DISPONIBILIDAD DE HERRAMIENTAS, SE OBSERVA LA INASISTENCIA DE UNA COHERENCIA INTERFIGURAL	39
FIGURA 9. UBICACIÓN DE LA BIBLIOTECA Y EL ESCRITORIO, JUNTO CON LA SILLA	40
FIGURA 10. EN A) SE MUESTRA EL MOTOR TOYOTA F110 Y SU ARMARIO, Y EN B) EL BANCO DE PRUEBA DE INYECCIÓN EN MECH	41
FIGURA 11. EN A) MOTOR RENAULT 4 Y EN B) MOTOR CUMMINS NTC 350 EN CORTE CON DOS CILINDROS	42
FIGURA 12. MESA AUXILIAR PARA EL DESARME Y ARMADO DE MOTORES Y SUS SUBSISTEMAS, LA PLANTA ELÉCTRICA (GRUPO ELECTRÓGENOS) EN A) Y EL MOTOR KIA 2.2 LITROS EN B).....	43
FIGURA 13. VISTA SUPERIOR DEL LABORATORIO Y DETALLES DEL SALÓN DE CONTROL	45
FIGURA 14. VISTA GENERAL DEL BANCO DE PRUEBAS DE MCIA	45
FIGURA 15. ELEMENTOS PRINCIPALES DEL BANCO DE PRUEBAS DE MCIA.....	46
FIGURA 16A. UBICACIÓN DE SENSORES EN EL BANCO DE PRUEBAS	46
FIGURA 17. DETALLES DE LA GRUA, EL EXTRACTOR DE AIRE, LAS REJILLAS PARA CORRIENTES DE AIRE Y MESON	48
FIGURA 18. CARTA DE CAPACIDADES DE DINAMÓMETRO DE CORRIENTES DE EDDY DE FROUDE CONSINE.....	53

FIGURA 19. DINAMÓMETRO DE CORRIENTES DE EDDY DEL FABRICANTE FROUDE CONSINE .	54
FIGURA 20. CONFIGURACIÓN GENERAL DE LA CELDA DE PRUEBAS PARA MOTORES DE DOS TIEMPOS DEL FABRICANTE AVL.....	56
FIGURA 21. SEÑALES DE SEGURIDAD A USAR EN EL LABORATORIO	64
FIGURA 22. ANALIZADOR DE GASES DE ESCAPE MEXA-7100DEGR DE LA MARCA HORIBA	65
FIGURA 23 DIMENSIONES PARA ALGUNOS ESPACIOS DE TRABAJO SEGÚN RIGBY, COOPER Y SPICKARD	67
FIGURA 24 DIMENSIONES DE ÁREAS DE TRABAJO NORMAL Y MÁXIMA EN UN PLANO HORIZONTAL	68
FIGURA 25. MCI CON SUS EJES DE LIBERTAD (A) Y LA FUERZA RECIPROCANTE F EN EL MECANISMO BIELA-CIGÜEÑAL (B).....	71
FIGURA 26. FUERZAS DE PRIMER Y SEGUNDO ORDEN EN MOTORES DE MÚLTIPLES CILINDROS	72
FIGURA 27 CARRO MANUAL DE EMPUJE PARA 2 TONELADAS DE LA FIRMA SETIC S.L.....	75
FIGURA 28 DISEÑO ACTUAL DE LA BANCADA FABRICADA MEDIANTE SOLDADURA DE PERFILES EN ACERO ESTRUCTURAL A36	76
FIGURA 29. ESQUEMATIZACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS DE UN GRADO DE LIBERTAD (A) Y DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DEL SISTEMA (B).	77
FIGURA 30. RELACIÓN ENTRE TRANSMISIBILIDAD Y FRECUENCIA	79
FIGURA 31. UBICACIÓN DEL SISTEMA DE ABSORCIÓN DE VIBRACIONES EN LA BANCADA	81
FIGURA 32. UBICACIÓN DEL LMTA RESPECTO A LOS OTROS LABORATORIOS DE LA ESCUELA DE ING. MECÁNICA.	83
FIGURA 33. PLANO DEL LABORATORIO DE MOTORES.....	84
FIGURA 34. DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL LABORATORIO	85
FIGURA 35. DIAGRAMA DE RELACIONES PARA TODAS LAS SECCIONES DEL LABORATORIO	86
FIGURA 36. VISTA DE PLANTA DEL CIMIENTO PARA EL LABORATORIO.	88
FIGURA 37. DISTRIBUCIÓN DE PLANTA DEL PRIMER PISO Y LA DESIGNACIÓN DE ESPACIOS (A) Y EN (B) LA UBICACIÓN DE BANCOS Y MOBILIARIO CORRESPONDIENTE.	89
FIGURA 38. DISTRIBUCIÓN DE PLANTA DEL SEGUNDO PISO MOSTRANDO LA DESIGNACIÓN DE ESPACIOS.	90
FIGURA 39. DISTRIBUCIÓN DE PLANTA DEL SEGUNDO PISO MOSTRANDO EL MOBILIARIO UTILIZADO.....	91
FIGURA 40. FACHADA DE LA PROPUESTA DE MODERNIZACIÓN DEL LMTA.	91

FIGURA 41. PROCESO DE DISEÑO APLICADO EN EL DESARROLLO DEL PROTOTIPO	93
FIGURA 42. DIAGRAMA DE PESCADEO DE LAS TÉCNICAS A REALIZAR EN EL DIAGMA D-100 .	95
FIGURA 43. ÁRBOL DE OBJETIVOS	96
FIGURA 44. DIAGRAMA DE FUNCIONES DEL EQUIPO	97
FIGURA 45. A LA IZQUIERDA EL EQUIPO DE ANÁLISIS DE MOTORES DE AVL Y A LA DERECHA EL DE BOSH.....	97
FIGURA 46. VISTA GENERAL DEL EQUIPO	102
FIGURA 47. CONFORMACIÓN ESTRUCTURAL	103
FIGURA 48. DETALLES DE OPERACIÓN DE LA LÁMPARA Y EL COMPUTADOR PORTÁTIL	104
FIGURA 49. VISTA GENERAL Y ORGANIZACIÓN DE COMPONENTES.....	105
FIGURA 50 VISTA GENERAL DEL EQUIPO	108
FIGURA 51. ORGANIZACIÓN DE COMPONENTES	109
FIGURA 52. VALORES PONDERADOS ASIGNADOS AL ÁRBOL DE OBJETIVOS	113
FIGURA 53. DIAGRAMA DE PRODUCCIÓN	116
FIGURA 54. PROCESO DE PRODUCCIÓN DE LAS PIEZAS DEL PROTOTIPO	117
FIGURA 55. CIRCUITO ELÉCTRICO DE CONEXIÓN DEL KIT DE CONVERSIÓN A GNV	127
FIGURA 56. DINAMÓMETRO DEL LABORATORIO DE MOTORES DE LA UIS	128
FIGURA 57. CELDA DE CARGA PARA TENSIÓN INSTALADA EN EL BRAZO DEL DINAMÓMETRO	129
FIGURA 58. SENSOR INDUCTIVO DEL MOTOR R21 Y SU SEÑAL DE SALIDA.....	130
FIGURA 59. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS FeILDPOINT	131
FIGURA 60. PROPUESTA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA NECESARIA EN EL LABORATORIO	132
FIGURA 61. LABORES DESARROLLADAS EN LA INSTALACIÓN DE UNA RED ELÉCTRICA PARA EL LMTA	132
FIGURA 62. ARRIBA RADIADOR USADO PARA ENFRIAMIENTO DEL AGUA DEL MOTOR R21, ABAJO PROPUESTA DE USO DE INTERCAMBIADOR DE CALOR	134
FIGURA 63 PRINCIPIO DE OPERACIÓN DEL DINAMÓMETRO	135

LISTADO DE TABLAS

TABLA 1. ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL DEL LMTA	49
TABLA 2. MATRIZ DOFA DEL LMTA	50
TABLA 3. CALOR TRANSFERIDO EN UNA CELDA DE ENSAYOS DE MCIA AL SISTEMA DE VENTILACIÓN	58
TABLA 4. RESULTADOS DEL DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR MOTOR DE 350 BHP ..	60
TABLA 5. CÓDIGO DE COLORES DE SEGURIDAD SEGÚN NFPA 704	63
TABLA 6. ESPECIFICACIONES DE ESPACIO PARA LA DISTRIBUCIÓN DE PLANTA DEL LMTA	87
TABLA 7. PRESUPUESTO GENERAL PARA LA PROPUESTA DE MODERNIZACION DEL LMTA	92
TABLA 8. COSTOS ESTIMADOS DE LA PRIMERA ALTERNATIVA.....	104
TABLA 9. COSTOS ESTIMADOS DE LA SEGUNDA ALTERNATIVA.....	107
TABLA 10 ESTIMACIÓN DE COSTOS DE LA TERCERA ALTERNATIVA	109
TABLA 11. ESCALA PARA LOS PARÁMETROS DE RENDIMIENTO	112
TABLA 12. EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS	114
TABLA 13 MATRIZ DOFA DEL BANCO DE PRUEBAS DE MOTORES.....	125

LISTADO DE ANEXOS

ANEXO A.	FRENOS DIMAMÓMETRICOS PARA MOTORES DE COMBUSTION INTERNA	153
ANEXO B.	DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA EL SISTEMA DE ENFRIAMEINTO DEL MCIA DEL LMTA	161
ANEXO C.	COTIZACION DE EQUIPOS NECESARIOS PARA LA PROPUESTA DE MODERNIZACION DEL LMTA	172
ANEXO D.	PLANOS DE LA PROPUESTA DE MODERNIZACION DE LABORARORIO DE MAQUINAS TERMICAS ALTERNATIVAS.....	182
ANEXO E.	PLANOS DE CONTRUCCION DEL PROTOTIPO DEL EQUIPO DIAGMA D-100	197
ANEXO F.	EXPERIMENTACION ERGONOMICA PARA EL PROTOTIPO DEL EQUIPO DIAGMA D-100	225

RESUMEN

TITULO*: BANCO DE PRUEBAS DE MOTORES PARA EL LABORATORIO DE MÁQUINAS TÉRMICAS ALTERNATIVAS, DISEÑO DEL PUESTO DE TRABAJO Y PROPUESTA DE MODERNIZACIÓN DEL LABORATORIO

AUTOR

Luis Alfredo Niño**

PALABRAS CLAVES

Banco de pruebas, motores de combustión interna, ergonomía, puesto de trabajo

RESUMEN

Con la presente tesis se busca que la Escuela de Ingeniería Mecánica de la **Universidad Industrial de Santander** disponga de un laboratorio de motores alternativos que permita, además de una optima preparación de sus estudiantes, ofrecer un servicio a la empresa local y nacional en cuanto la determinación del estado de funcionamiento de estas máquinas.

El desarrollo del proyecto se orienta hacia tres facetas, todas relacionadas con el LABORATORIO DE MAQUINAS TERMICAS ALTERNATIVAS (LMTA); por una parte realiza un estudio y posterior propuesta de modernización del laboratorio. En segundo lugar desarrolla el puesto de trabajo para el equipo DIAGMA D-100 que corresponde a un proyecto de investigación bajo convenio COLCIENCIAS-CINTEL y por último desarrolla actividades encaminadas a poner en funcionamiento el BANCO DE PRUEBAS DE MOTORES.

Al dar inicio al proyecto de grado el LMTA se encontraba con varias partes funcionando a media marcha y otras fuera de operación, las actividades se encaminaron a realizar un análisis del estado actual, con base a ésta y a las necesidades normativas, técnicas y del usuario, se propone un nuevo diseño del laboratorio; tanto en la parte de equipos como en obras civiles. La parte central del LMTA es el Banco de Pruebas de Motores el cual se encuentra fuera de funcionamiento, durante la tesis se desarrollaron actividades para que el banco funcione en términos mecánicos y se orienta a otros proyectos para la automatización del mismo.

* Tesis de grado.

** Escuela de Diseño Industrial e Ingeniería Mecánica. Facultad de Ingenierías Físicomecánicas. Director: Ph.D Jorge Luís Chacón Velasco, Codirector: Eduardo Guevara.

SUMMARY

TITLE*: ALTERNATIVE INTERNAL COMBUSTION ENGINE'S LAB TEST CELL,
WORK PLACE DESIGN AND LAB'S MODERNIZATION PROPOSAL.

AUTHOR**:

Luis Alfredo Niño

KEY WORDS:

Test cell, Internal Combustion Engines, Ergonomic, workstation

DESCRIPTION:

With the present thesis is looking that the School of Mechanical Engineering from **Universidad Industrial de Santander** have an alternative combustion engine lab that permit, besides an optimal preparation from their students, to offer a service to the local and national enterprises about to find the performance of this machines.

The development of the project shows a trend towards three facets, all of them with the LABORATORIO DE MAQUINAS TERMICAS ALTERNATIVAS (LMTA); on the one hand it accomplishes a study and later proposal of modernization of the laboratory. It develops the workstation for the equipment DIAGMA D-100 in the second place, which corresponds to an investigation project hushed agreement COLCIENCIAS-CINTEL; and finally it develops activities put on the right road to put the TESTING BENCH OF MOTORS into operation

At the beginning of the project the LMTA was finding several parts working to half running and others out of operation, the activities headed toward accomplishing a present-day statement analysis, with base to this one and to the normative, techniques and user needs a laboratory's new design is proposed; both in the equipments part like in civil works. The LMTA's central side is the Testing Bench of Motors which was finding out of functioning, activities in order that the bench work in mechanical terms and it guides another projects for the automatization of the same one itself developed during the thesis.

* Thesis of degree

** School of Industrial Design and Mechanical Engineering. Faculty of Physical Mechanical Engineerings. Director: Ph.D Jorge Luís Chacón Velasco, Codirector: Eduardo Guevara.

INTRODUCCIÓN

Debido a los altos costos que la fuente energética para los Motores de Combustión Interna Alternativos (MCIA) esta alcanzando actualmente y a los cambios en la legislación ambientales, se hace necesario implementar medios a nivel local que permitan el estudio de estas máquinas desde el punto de vista de la ingeniería, y así ofrecer soluciones a la industria en cuanto la forma de operarlos y al gobierno en cuanto a la forma de supervisarlos.

En el Edificio de Ingeniería Mecánica, de la Universidad Industrial de Santander, existe el **Laboratorio de Motores** que si se adecua técnica y metodológicamente puede ofrecer a la comunidad en general soluciones a los problemas generados por el uso de MCIA, éste actualmente no ofrece todas las posibilidades y garantías que requiere este campo, como es la posibilidad de contar con bancos de pruebas automatizados, posibilidades de estudios de investigación sobre motores Diesel, a gasolina, de cuatro y dos tiempos y espacios para el estudio teórico y el análisis científico.

Por estas razones se ha desarrollado el presente proyecto de grado cuyas memorias se han organizado de la siguiente forma:

El capítulo 1 se orienta a establecer los objetivos del proyecto de grado según lo establecido en el plan de proyecto. En el capítulo 2 esta dirigido a establecer las generalidades de un banco de pruebas de MCIA, desde la parte netamente mecánica hasta la relacionada con factores de convivencia para los usuarios del laboratorio, también se especifica el estado en que fue encontrado dicho lugar. El

capítulo 3 es la parte central del proyecto ya que define los sistemas básicos en que comprende un banco de pruebas de motores, realizando la selección de los equipos fundamentales y la forma de estructural la edificación. Con base al capítulo anterior se realiza el rediseño de la distribución del planta de los bancos de pruebas y el laboratorio en general, lo cual se ha desarrollado en el capítulo 4.

El capítulo 5 se encamina a mostrar el diseño y fabricación del prototipo para el equipo de diagnóstico de motores DIESEL bajo pruebas no intrusivas, proyecto realizado bajo convenio CINTEL-COLCIENCIAS el cual fue denominado DIAGMA D-100. En el capítulo 6 muestra las labores realizadas para la puesta en funcionamiento del banco de pruebas de motores existente en el laboratorio, esto incluye el manual de prácticas para las salas de ensayos lo cual aparece en el capítulo 7.

Se ha incluido en la sección de anexos un resumen de teoría sobre dinamómetros, el diseño del intercambiador de calor para el sistema de enfriamiento del motor de combustión interna, la cotización de los equipos para la propuesta de modernización de laboratorio junto con sus respectivos planos; y por último los planos de producción del equipo DIAGMA D-100.

1. PRELIMINARES

1.1 IDENTIFICACION DEL PROBLEMA

El campo de utilización de los Motores de Combustión Interna Alternativos (MCIA), como el motor DIESEL y el motor a gasolina, esta evolucionando ampliamente, el cual va desde su utilización en automotores hasta aplicaciones industriales. Por tal motivo se hace indispensable un mejor aprovechamiento energético y el control del impacto ambiental producido por éstos. Para poder satisfacer estas necesidades se debe contar con laboratorios tecnificados que permitan disponer de herramientas metodológicas propias para evaluar el desempeño de estas máquinas, determinando sus parámetros efectivos de funcionamiento (Potencia, par y consumo específico de combustible) además de análisis de emisiones, y así poder proponer mejoras en su forma de operación.

En el desarrollo del programa académico de la carrera Ingeniería Mecánica, en la Universidad Industrial de Santander, se establece el laboratorio para la materia Máquinas Térmicas Alternativas, por esta razón la Escuela de Ingeniería Mecánica cuenta con una instalación física orientada al desarrollo de dicha tarea; en el estado actual el Laboratorio de Máquinas Térmicas no ofrece todas las garantías necesarias y esperadas por el estudiantado, profesorado y comunidad en general, que permita la profundización del conocimiento mediante la realización de pruebas experimentales y el ofrecimiento de un entorno vital en términos de factores humanos adecuados.

El laboratorio en mención cuenta con un banco para la prueba de motores a gasolina, pero al inicio del presente proyecto no se encontraba en operación debido a varios factores, que van desde el no funcionamiento del motor disponible

en el banco, hasta la imposibilidad de toma de datos porque la cadena de medición estaba fuera de uso.

1.2 JUSTIFICACION PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA

En aras que la Universidad Industrial de Santander, y específicamente la Escuela de Ingeniería Mecánica, continúe en el proceso de modernización de sus programas educativos, tal como lo establece el Programa de Acreditación del gobierno central; se quiere, no solo modernizar las instalaciones del Laboratorio de Máquinas Térmicas, sino que éste realmente ofrezca la posibilidad, a estudiantes de pregrado, posgrado y profesores, de profundizar sus conocimientos y experimentar en el campo de las Máquinas Térmicas en un ambiente cordial y que dignifique su calidad humana.

Además la Escuela de Ingeniería Mecánicas, orientada por la política universitaria de ofrecer soluciones a la sociedad circundante, busca disponer de un laboratorio para pruebas de MCIA que ofrezca la posibilidad al gobierno, industria y gremios del transporte regional y nacional del desarrollo de estudios investigativos, con el objeto de satisfacer las normatividades ambientales y mejorar el funcionamiento de estas máquinas; también quedaría disponible la transferencia de conocimiento y herramientas metodológicas para nuevas líneas de investigación a entidades internas a la universidad como por ejemplo el Grupo de Investigación en Energía y Medio ambiente, GIEMA.

1.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO

1.3.1 *Objetivos generales*

- ✓ Presentar una propuesta de modernización del Laboratorio de Máquinas Térmicas Alternativas ubicado en el Edificio de Ingeniería Mecánica, de la UIS.
- ✓ Poner en operación el Banco de Pruebas para Motores de Combustión

Interna Alternativos (MCIA) que existe actualmente en la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la UIS.

1.3.2 Objetivos específicos

- ✓ Realizar un diagnóstico del estado actual del Laboratorio de Maquinas Térmicas Alternativas, en términos generales; y en términos específicos del Banco de pruebas de Motores Alternativos, ubicado en el mismo laboratorio.
- ✓ Elaborar un proyecto de inversión para el Laboratorio de Máquinas Térmicas Alternativas, encaminado a la modernización de dicho laboratorio; cobijando las siguientes posibilidades:
 - ❖ Celda de pruebas para motores Diesel de potencia máxima 350 BHP (261 kW), torque alcanzable de 1175 lb.ft (1593 N.m) y velocidad máxima de 2100 RPM.
 - ❖ Celda de pruebas para motores de encendido por chispa de potencia máxima 200 BHP (149 kW), torque alcanzable de 142 lb.ft (193 N.m) y velocidad hasta 7400 RPM.
 - ❖ Celda de pruebas motores monocilíndricos correspondientes al siguiente tamaño:
 - Pistón de 65 a 100 mm
 - Carrera de 60 a 95 mm
 - Máximas RPM: 8000
 - Máxima presión en el cilindro: 130 bar.
 - ❖ Celda de pruebas experimentales para el análisis de emisiones.
 - ❖ Laboratorio del sistema de inyección Diesel.
 - ❖ Banco de encendido convencional y electrónico de MECH
 - ❖ Banco de desarme de motores y sus subsistemas.
 - ❖ Banco Planta Generadora de electricidad.
 - ❖ Banco partes del motor Diesel.

- ✓ Presentar el diseño y configuración aproximada de la nueva planta física (obras civiles, eléctricas y mobiliario).
- ✓ Poner en funcionamiento el Banco de pruebas de Motores de Combustión Interna Alternativos, de forma tal que, permita realizar las pruebas necesarias para definir los parámetros efectivos que influye en el funcionamiento de las máquinas térmicas alternativos, como son la potencia y torque efectivo, y consumo específico de combustible.
- ✓ Diseñar un manual de pruebas de experimentos para motores de combustión interna alternativos.

2. LABORATORIO DE MAQUINAS TERMICAS ALTERNATIVAS

2.1 GENERALIDADES DE UNA SALA DE ENSAYOS PARA MCIA

2.1.1 *Introducción*

Un laboratorio de máquinas térmicas esta conformado por varias salas de ensayos ya sean con propósitos académicos, investigativos o comerciales; en este capítulo se describe los aspectos generales de las salas ensayos para motores, los parámetros a medir que es el objeto de la sala, los aspectos ergonómicos que se debe destacar en su diseño y el estado actual del laboratorio de motores de la escuela de Ingeniería Mecánica.

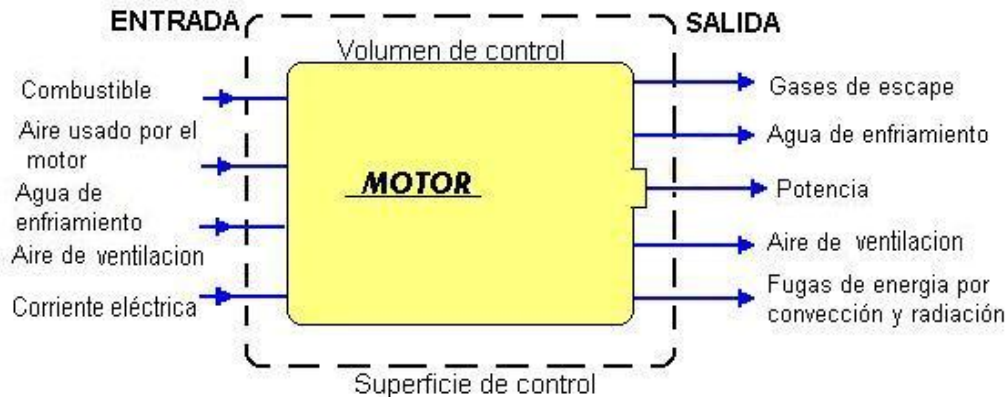
En la actualidad hay varios tipos de celdas de ensayo, destacando principalmente dos tipos de salas en función de los ensayos que en ellas se realizan, como son:

- ❖ **Ensayos en Bancada portátil.** En el que todo el sistema va montado sobre una base móvil para realizar ensayos concretos y durante un periodo de tiempo relativamente corto.
- ❖ **Ensayos en Celdas de ensayo:** Para estudio de motores y sus parámetros en laboratorios independientes, donde un mismo motor permanecerá un periodo de tiempo relativamente largo, donde se pueden realizar ensayos de calidad, producción etc.

Este tipo de celdas son, principalmente, un sistemas abierto de energía; en el que una serie de fluidos entran, siendo transformados en otros que salen, siendo la suma de energías térmicas de todo el conjunto igual a cero, es decir, no es más que una balanza energética entre los fluidos que intervienen, de entre los cuales

se pueden nombrar algunos de ellos mostrados en la figura 1:

Figura 1. Fluidos que intervienen en una sala de ensayos



Fuente: PLINT Michael. Engine Testing Theory and practice. Inglaterra. Butterworth Heinemann. 1995. p 2

Midiendo la energía térmica de los fluidos que intervienen se puede obtener la eficiencia térmica del motor:

$$\eta = \frac{\text{Potencia}}{\text{Poder calorífico combustible}}$$

Por otro lado, definido el motor y los ensayos a realizar, se puede definir el freno adecuado para la instalación. Con ello se podrá diseñar la bancada, el espacio requerido por la sala, y conocer los sistemas de instrumentación, control, y regulación necesarios.

Para diseñar y montar una sala de ensayo, en primer lugar, se debe saber qué es una sala de ensayo y, de igual modo, conocer su función. Por otro lado, antes de empezar el diseño e instalación de la misma, sería oportuno realizar una serie de preguntas que permitiera predefinir como va a ser, por ejemplo:

- ❖ ¿Que propósitos se persiguen con la sala?
- ❖ ¿Es la confidencialidad una consideración importante?
- ❖ ¿Puede haber un futuro requerimiento para instalar equipos adicionales que impliquen requerimientos de espacio y otros servicios?

- ❖ ¿Cómo manipular los motores en el montaje?
- ❖ ¿Como se realiza el transporte de los equipos en las salas?
- ❖ ¿Cuántos combustibles diferentes se prueban para el uso regular?
- ❖ ¿Que demanda de agua y suministro eléctrico existe?
- ❖ ¿La calidad del agua?
- ❖ ¿El suministro eléctrico es de regeneración?
- ❖ ¿Cuál es el efecto o impacto sobre el medio ambiental?
- ❖ ¿El ruido presenta un problema?

Las salas de ensayos de motores son un ambiente de trabajo peligroso debido a su diseño o la operación que se debe realizar, son calientes, ruidosas, con pisos resbaladizos y un espacio de trabajo lleno de elementos mecánicos y eléctricos que pueden producir accidentes, la atenuación del ruido entre el área de control y la sala debe ser suficiente para tener suficiente audición de los posibles fallos de la instalación.

La capacidad de inflamación de los combustibles en tal ambiente es claramente un peligro, y las regulaciones locales de incendio deben cumplirse de acuerdo con las autoridades pertinentes a la etapa de diseño.

Para el caso del presente proyecto el laboratorio estará conformado por tres salas o celdas de ensayos del tipo ***Celdas de ensayos para estudio de motores y sus parámetros***, además por una sala de mantenimiento, otra de propósito académico con orientación teórica y otra con orientación práctica.

Las salas suelen tener una puerta de acceso por la que tiene paso los motores y diferentes equipos, mientras que el operador puede entrar por una puerta anexa. Hay un doble cristal sellado en las ventanas frente a la mesa de control. Estas mesas o armarios están junto a la pared y montan la instrumentación, registradores de los diferentes instrumentos de control y medida, etc.

Las señales recibidas a través de los diversos transductores del motor (presión, temperatura, par de rotación, revoluciones etc.) son reflejadas en los aparatos de registro y control que se alojan generalmente en unos armarios de control, mediante una serie de cables que comunican con la unidad de adquisición de datos. En salas de más de 150 kW es usual instalar un carril de grúa ubicado encima de la bancada de ensayos con un polipasto de capacidad suficiente para soportar los pesos de motores y dinamómetros.

Las salas suelen disponer de un piso rodeado por un foso para conducir tubos y cables desde el motor, esto permite la conducción permanente hacia el motor y desde el motor. Cada salida de descarga debería incluir una válvula de mariposa para el control de presión posterior de la descarga.

El sistema de control asociado con una sala general puede variar ampliamente en el grado de complejidad, dependiendo del tipo de ensayos para que la sala se destine. Los detalles por supuesto varían apreciablemente, pero este esquema general puede verse en millares de instalaciones globales.

La sala debe ser versátil para poder adaptar una amplia gama de motores, tener instalaciones de salas adyacentes para poder compartir armarios de control y otros recursos, tener una buena visibilidad y facilitar el mantenimiento y observación de esta.

Debe contar con un sistema de refrigeración y extracción de gases adicional además de un sistema de control para la seguridad general de la sala o salas en general.

2.1.2 Características generales

Una sala de ensayos del tipo de instalación a la que se refiere el presente proyecto debe cumplir una serie de características en función de los ensayos que se van a realizar en ella reguladas por la normativa publicada al respecto y su

diseño y buen funcionamiento de esta se deberá a buena parte de dichas características, entre las cuales podemos mencionar:

- ❖ Las salas de motores delimitadas por paredes y muros deben disponer al menos de una salida directa y lo más corta posible hacia un área abierta. Las puertas serán de considerable espesor (macizas o huecas), metálicas y se abrirán hacia el exterior. Para su apertura, ha de bastar en lo posible con empujar o tirar de la misma levemente (según se esté dentro o fuera, respectivamente).
- ❖ Con el fin de evitar la transmisión de vibraciones a través del suelo de la sala, tanto la bancada del freno como la del motor deben descansar sobre materiales elásticos.
- ❖ Las paredes deben ser de fácil limpieza y con colores que no reflejen la luz.
- ❖ Sus dimensiones deben de ser suficientes no solo para el montaje de todos los elementos, sino también para los acoplamientos de futuros equipos no previstos en el diseño inicial.
- ❖ Alrededor de la bancada el espacio permitido debe ser de al menos 1 metro, no colocando nada que impida la colocación de los brazos de calibración del freno. Además la altura debe contemplar la apertura de la tapa del freno, la colocación sobre él y sobre el motor de una viga con su “Polipasto”, y el elemento más alto.
- ❖ La seguridad de la sala ha de ser máxima, ya sea por el peligro de trabajar con combustible potencialmente explosivos, por las altas temperaturas que se alcanzan o por los gases que desprende la máquina térmica.
- ❖ Se debe contar con un eficaz sistema de extracción de gases procedentes del sistema de escape del motor hacia el exterior, una renovación continua de aire del interior de la sala, para completar este ciclo de aire se debe

disponer de un sistema de impulsión de aire, que además ayuda a obtener una temperatura estable en el interior de la sala.

- ❖ Insonorización acústica de la sala con el exterior para amortiguar el nivel de ruido generado en este tipo de ensayos. Esta insonorización debe incluir tanto a la puerta o puertas de acceso como a las ventanas de control exterior. En el área de control se debe poder hablar con normalidad, para así poder pedir auxilio si fuera necesario.
- ❖ Instalación de redes de electricidad, agua, desagüe, aire comprimido y combustible; para el funcionamiento del motor, freno y de los elementos auxiliares que lo necesiten.
- ❖ Que el suministro de agua sea de suficiente calidad y que la presión de todos los fluidos sea suficiente.
- ❖ La iluminación no ha de provocar sombras ni reflejos, debe ser de calidad y suficiente, los focos deben ser de fácil limpieza y estar sujetos firmemente.
- ❖ Que el suministro eléctrico sea suficiente e incluso si es necesario por poseer una maquina asíncrona, y preparar la devolución de corriente eléctrica.
- ❖ Protección con alarmas visuales y acústicas de presencia de gases tóxicos como son: Monóxido de carbono procedente de la combustión y de metano por la presencia de combustible.
- ❖ Instalación de sistema contra incendios establecida por la normativa vigente, que permita una rápida extinción en caso de accidente.
- ❖ Se debe de contar con un depósito de combustible exterior a la sala, el depósito de combustible será ubicado por razones de seguridad lejos de la sala, pero éste ha de llegar con la suficiente presión al motor.

- ❖ Además las conducciones de combustible se deberán etiquetar, de tal manera que una rápida visualización sirva para reconocerlas. Para ello se utilizarán franjas de colores que serán: 2 franjas marrones y una roja para las de gasolina y 2 marrones y 1 amarilla para las de DIESEL.
- ❖ El diseño de la sala debe permitir el control de las instalaciones desde el exterior de la misma. Este hecho obliga a instalar todos los armarios de control en el exterior de la misma y disponer de al menos una ventana que permita un control visual de la instalación en todo momento.
- ❖ La sala debe poseer uno o más conductos, para realizar la conexión del cableado procedente del interior de la sala y cuyo destino son los armarios de control situados en el exterior de la sala.
- ❖ Fácil manejo, montaje y desmontaje de motores y frenos o de algún elemento del mismo. Tener en cuenta el impacto ambiental que pueda provocar la sala o algún componente o fluido de la misma.
- ❖ Además, la disposición de todos los elementos de la instalación se debe realizar bajo algunos criterios, como son: evitar la masificación y las longitudes excesivas de cables y conductos, librar de focos de calor la instalación eléctrica y de instrumentación; las cuales deben ir separadas para evitar interferencias en las señales.

2.1.3 Pruebas de laboratorio a realizar en el banco de ensayos de MCIA

En un banco de ensayos de MCIA se realizan esencialmente cinco tipo de pruebas, las cuales se describirán en el capítulo 7; todas ellas se realizan de acuerdo a la norma SAE J1349 o posteriores la cual especifica una base para la medición de potencia de motores de encendido por chispa de cuatro tiempos, de dos tiempos y DIESEL, naturalmente aspirados y sobrecargados, con y sin enfriamiento de aire.

2.2 PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS MOTORES DE COMBUSTION INTERNA ALTERNATIVOS (MCIA)

2.2.1 Introducción a los MCIA

Los MCIA son aquellos motores térmicos en los que las variaciones del estado térmico se producen en el propio fluido del motor generando un trabajo global positivo. Este trabajo se transmite mediante el desplazamiento lineal de un embolo, transformándolo en un movimiento rotativo que arrastra a su vez a un cigüeñal, mediante el mecanismo biela – manivela. De esta manera se consigue transformar mediante un proceso de combustión la energía química almacenada en un combustible en energía mecánica, base de todo motor térmico.

Las principales clasificaciones se realizan según sea el proceso de combustión o según el modo de realizar el ciclo. Según la primera los motores pueden ser de encendido provocado (MEP) o de encendido por compresión (MEC). El motor MEP o de OTTO se basa en la inflamación por un frente de llama, producido por una chispa, de una mezcla de aire y combustible comprimida. Los MEC o de DIESEL son aquellos en los que se comprime fuertemente una masa de aire hasta tal punto que se garantice la auto inflamación al inyectar el combustible.

La segunda clasificación se realiza según sean los motores de 4 tiempos o de 2 tiempos, de acuerdo al número de carreras del embolo en cada uno de los ciclos de funcionamiento de dichos motores.

El desempeño de este tipo de motores es definido con mayor precisión mediante:

- ❖ La máxima potencia (o el máximo par) disponible a cada velocidad dentro del rango de operación del motor.
- ❖ El rango de velocidad y potencia sobre la cual la operación de un motor es satisfactoria.

2.2.2 Parámetros de funcionamiento de los MCIA

Normalmente cuando se habla de motores se comenta sobre las revoluciones desarrolladas, el par y la potencia que es capaz de alcanzar, estos tres parámetros proporcionan una idea razonable sobre las características de operación del motor; no obstante la información es mucho más precisa si son medidas las cantidades de aire y combustibles tomadas por el motor.

Conocidos estos dos últimos valores se puede determinar otros parámetros de funcionamiento del motor como la eficiencia volumétrica, el consumo específico de combustible (CEC), la presión media efectiva al freno (PMEF) y la eficiencia térmica. A partir de estos factores se obtiene la información completa sobre las características totales de operación de un motor. Todos estos parámetros serán desarrollados más adelante en el capítulo 7 numeral 7.4

2.3 ERGONOMIA EN EL LABORATORIO DE MCIA

A continuación se establecen los fundamentos ergonómicos básicos que se tuvieron en cuenta en el diseño del laboratorio visto desde el punto de vista de un sistema de trabajo, estos fundamentos están orientados al diseño de las condiciones óptimas de trabajo para mantener la salud, seguridad y bienestar humano; teniendo presente la eficiencia tecnológica y económica.

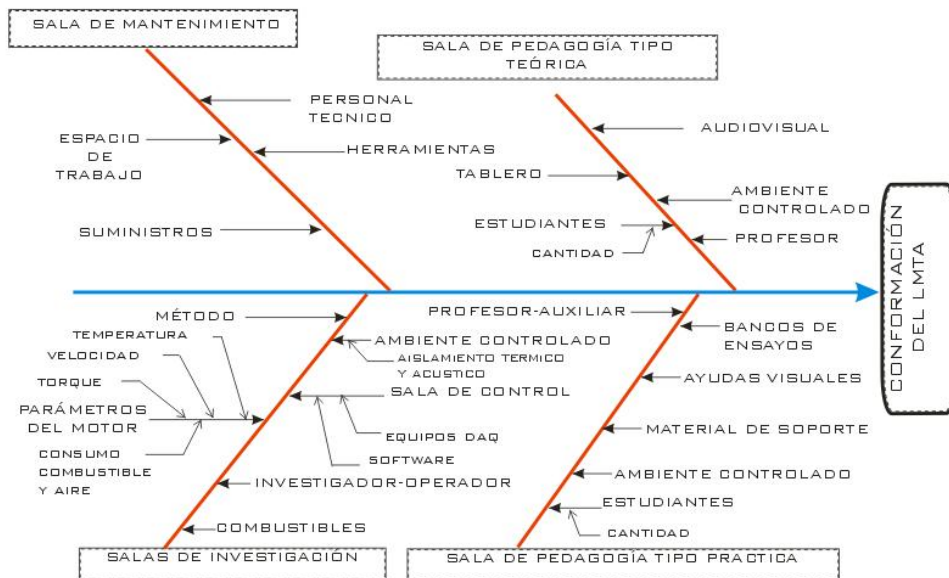
Para el desarrollo del presente proyecto además de los fundamentos ergonómicos se tiene en cuenta la aplicación de la norma colombiana ICONTEC1819 (Factores humanos, Fundamentos ergonómicos para el diseño de sistemas de trabajo) y la norma técnica colombiana NTC-ISO-IEC 17025 (Requisitos generales de competencia de laboratorios de ensayo y calibración).

2.3.1 Diseño del sistema de trabajo

La conformación del LMTA que se sitió anteriormente involucra, como todo sistema de trabajo, a personas y equipos actuando en un proceso de trabajo, pero con

diferentes tareas y por ende con condiciones de trabajo diferentes. En el diagrama de pescado de la figura 2 se establece la 4 facetas generales en que conforma el LMTA, así como sus niveles de importancia.

Figura 2. Diagrama de pescado mostrando las 4 facetas que busca como objetivo la conformación del LMTA

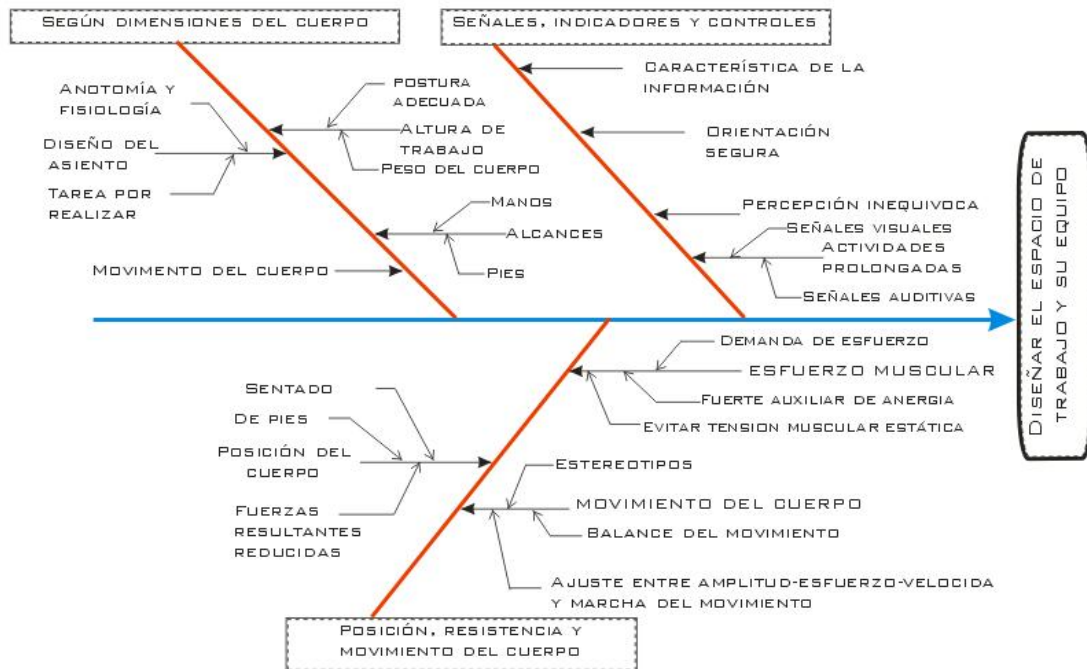


Fuente: El autor.

2.3.2 Factores relacionados con el espacio de trabajo

En éste aspecto en el laboratorio se esta manejando diferentes situaciones que deben ser respetadas en cuanto el proceso de trabajo, pero que deben considerar las limitaciones impuestas por las dimensiones y la movilidad del cuerpo, su resistencia, esfuerzo muscular y su percepción humana; buscando que sea el espacio de trabajo el que se adapte al operador, estudiante, auxiliar o profesor, según sea el caso. En la figura 3 se representa los aspectos a considerar en el caso del diseño del espacio de trabajo cumpliendo con los requerimientos antes mencionados.

Figura 3. Diagrama de pescado para el diseñar el espacio de trabajo y su equipo



Fuente: El autor.

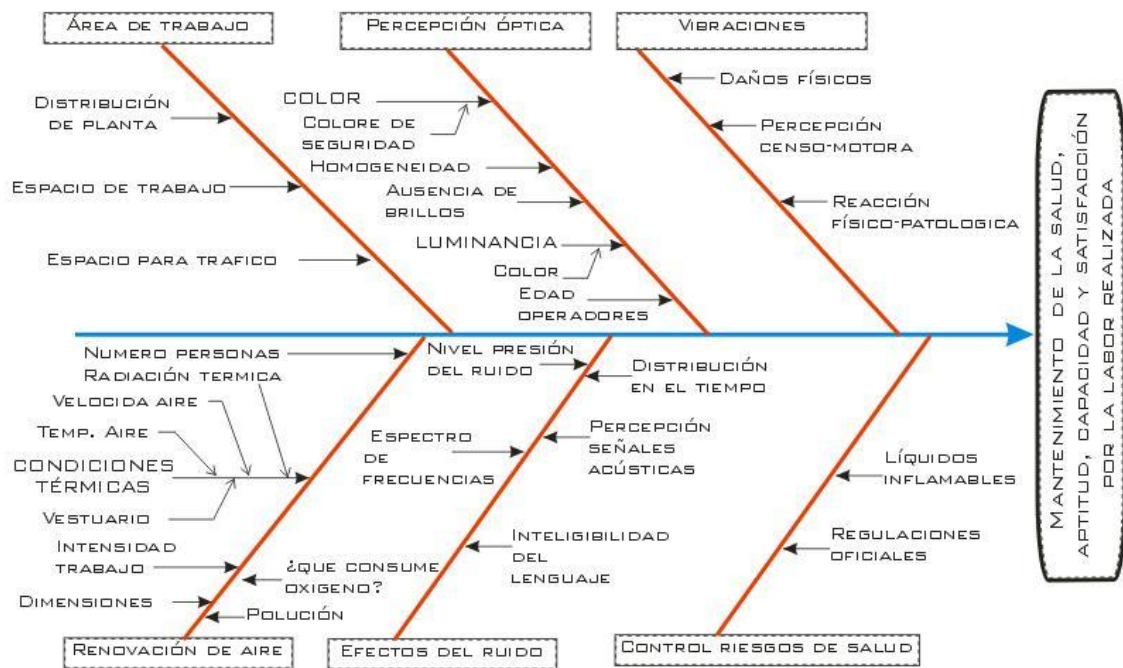
2.3.3 Factores relacionados con el medio de trabajo

Las condiciones del medio de trabajo tales como físicas, químicas y biológicas no deben presentar ningún efecto nocivo sobre las personas, en lo posible se debe implantar la medición de fenómenos objetivamente para poder realizar un control sobre ellos, como por ejemplo la presencia de humo o incendio en las salas de pruebas. La figura 4 especifica los diferentes aspectos de los cuales se prestará una especial atención.

2.3.4 Factores relacionados con el proceso de trabajo

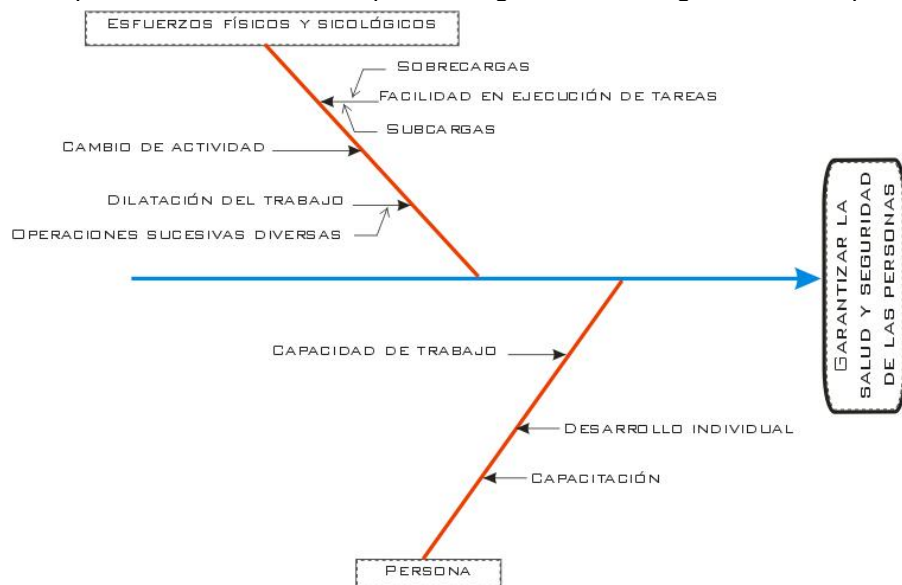
El proceso de trabajo debe estimular el bienestar y la facilidad de ejecución de las tareas, evitando condiciones de monotonía, fatiga y disminución de la vigilancia mediante la no existencia de sobrecargas y subcargas. El proceso de trabajo está orientado a tener un carácter dinámico buscando un mejoramiento continuo de la calidad del proceso de trabajo, figura 5.

Figura 4. Diagrama de pescado para los factores relacionados con el medio de trabajo



Fuente: El autor.

Figura 5. Diagrama de pescado de los factores que busca garantizar la seguridad de las personas



Fuente: El autor.

2.4 DIAGNOSTICO DEL ESTADO ACTUAL DEL LMTA

2.4.1 Conformación general del laboratorio

El Laboratorio de Máquinas Térmicas Alternativas se encuentra adjunto al edificio de Ingeniería Mecánica, junto con los laboratorio de sistemas oleoneumáticos, transferencia de calor, mecanismos, mecánica de fluidos, turbomáquinas hidráulicas y CNC.

Comprende una instalación de un solo piso, con un área de 138 m², con estructura en concreto; paredes de color ladrillo y blanco y piso en cemento sin recubrimiento. Está dividido en tres áreas que son (ver figura 6):

- ❖ Área general, para la ubicación de los banco de propósitos generales utilizados durante el desarrollo de los laboratorios necesarios en el desarrollo de la materia Máquinas Térmicas Alternativas.
- ❖ Cuarto de Banco de Pruebas, donde se encuentra ubicado la celda de pruebas de MCIA; compuesto por el motor equipado, un dinamómetro, y los sensores y actuadores necesarios para realizar las pruebas, pero sin un sistema de adquisición de datos ni una adecuada ubicación e instalación.
- ❖ Salón de Control, de donde se había estimado, en proyectos de grados anteriores, que se controlaría las prueba necesarias a MCIA; además en este cuarto se ubica la instrumentación necesaria para el laboratorio.

En la figura 6 se aprecia la vista frontal del laboratorio, con sus dimensiones principales; no hay presencia de ventanas y la única posibilidad de corriente de aire es con los orificios de la parte alta y la puerta principal que es de corredera.

En los siguientes apartados se sustenta la siguiente afirmación: se puede indicar que el laboratorio no tiene una identidad propia, todos sus elementos constitutivos parecen estar colocados al azar, mostrando un espacio desordenado; no se aprecia la existencia de un sistema persona-maquina ya que muchos aspectos

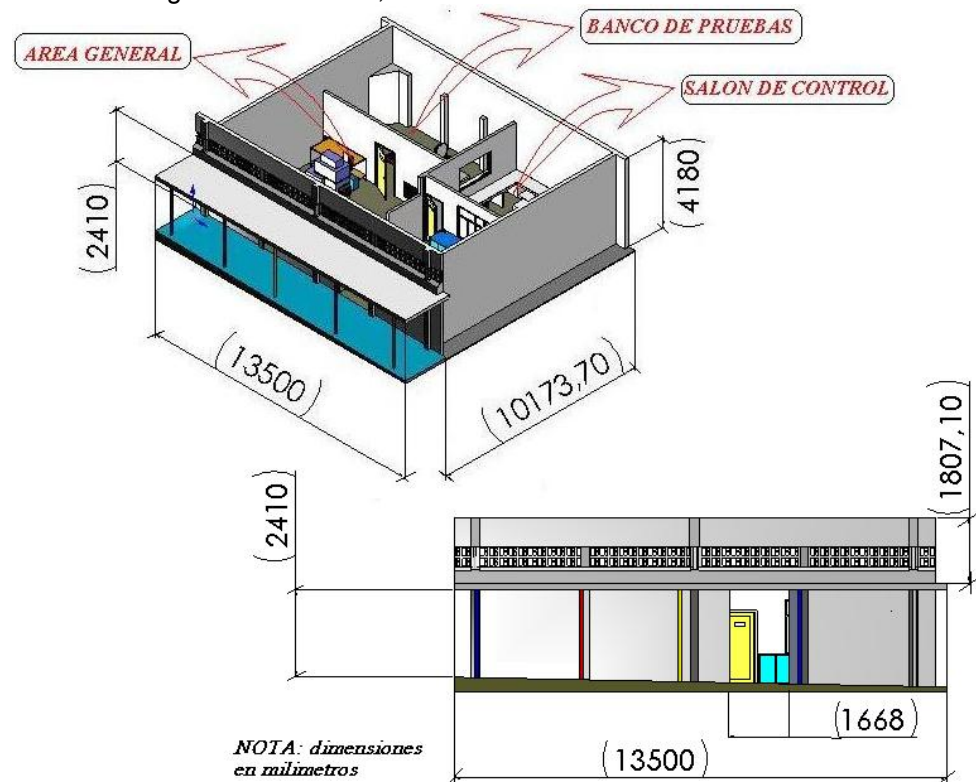
ergonómicos y antropométricos no existen, careciendo de relaciones dimensionales, informativas y de control.

2.4.2 Disposición de los elementos de soporte del laboratorio

Iniciando por los **estantes**, estos son utilizados para la ubicación de partes de maquinas necesarios en el desarrollo de los laboratorios de la materia MTA. Están fabricados en madera la cual se encuentra muy deteriorada, fueron pintados de azul, sin guardar ninguna relación con el resto del laboratorio (figura 7).

La **ubicación de herramientas** se encuentra en tres sitios diferentes, ver figura 8, lo cual además de no presentar coherencia formal, genera una dispersión de las herramientas disponibles y una dificultad a la hora de concretar su ubicación.

Figura 6. Ilustración general del LMTA, mostrando sus tres secciones



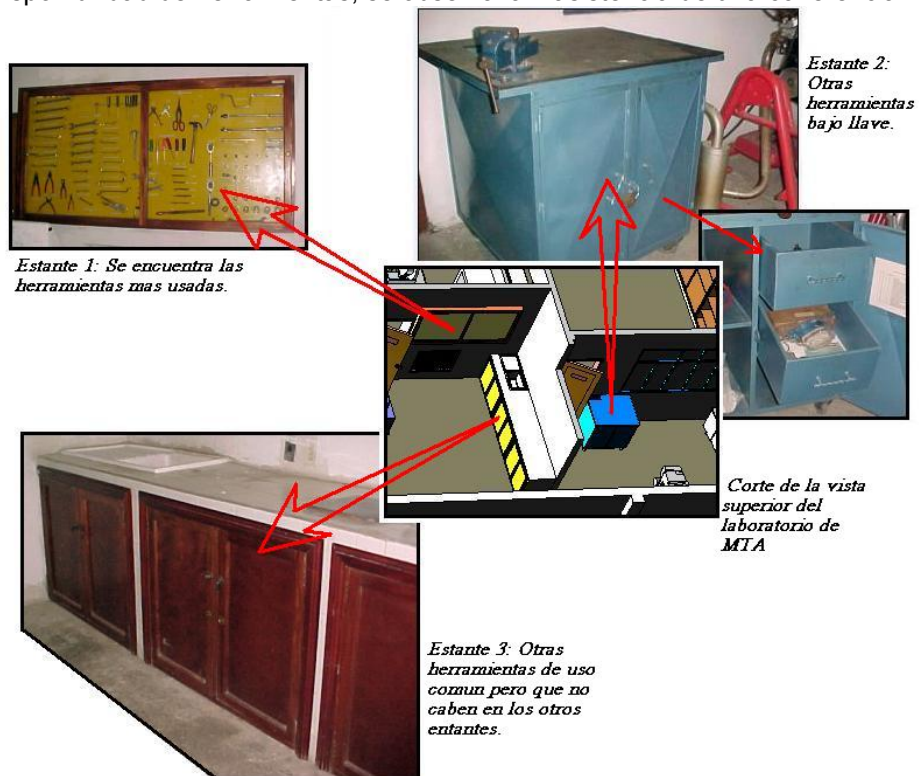
Fuente: Presentación realizada en el software SOLID WORKS 2005 por el autor.

Figura 7. Ubicación y fotografía de los estantes para partes de máquina



Fuente: El autor.

Figura 8. Disponibilidad de herramientas, se observa la inasistencia de una coherencia interfigural

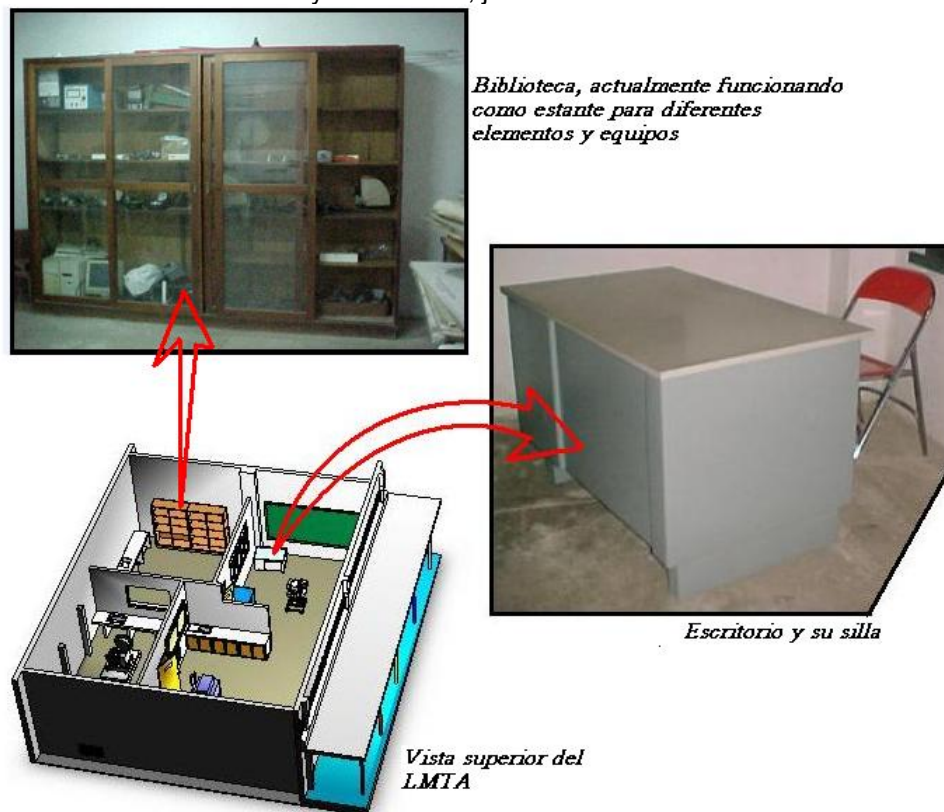


Fuente: El autor.

Se encuentra una variedad de herramientas necesarias para labores de desarme, armado y mantenimiento de motores y sus subsistemas, así como para el montaje de los bancos, pero hace falta adquirir nueva como micrómetros de interiores, comparadores de carátula, copas fijas para pequeños diámetros.

En cuanto al **escritorio**, o sitio de ubicación de los libros de primera mano y papelería auxiliar para el laboratorio, no presenta una ubicación diseñada para esta función, ver figura 9; más bien pareciera que fue ubicado allí porque no había más espacio, además esta expuesto a goteras. La silla no es la adecuada para el tipo de necesidad. En la misma figura se aprecia la **biblioteca**, que debido a su mal estado y a las condiciones de humedad presentes no se ubican libros en este lugar, sirve de estante para algunos equipos utilizados en el pasado en el laboratorio y de elementos no correlacionados.

Figura 9. Ubicación de la biblioteca y el escritorio, junto con la silla



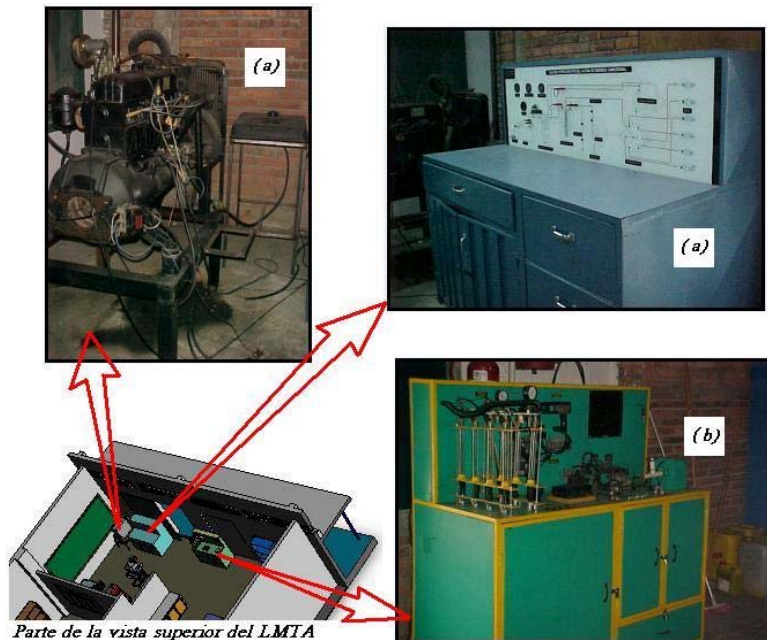
Fuente: El autor.

2.4.3 Bancos de prácticas de laboratorio

A continuación se muestra el estado de los bancos utilizados para las prácticas y que se encuentra en el área general del LMTA, empezando por el **banco de encendido convencional**, figura 10a, el cual esta compuesto por un motor Toyota F110 y un armario donde gráficamente se muestra el circuito eléctrico de un motor alternativo de encendido por chispa, además de uno cajones de los cuales no se tiene claridad su uso. El banco, en general, no presenta elementos correlacionales ni en lo formar ni en lo funcional; las aristas del armario son muy agudas y carecen de un estudio funcional e interfigural.

Para el **banco de pruebas de inyección**, figura 10b, se ha presentado un total alejamiento con los otros elementos del laboratorio, en especial en las relaciones de color; formalmente presenta una estructura demasiado rígida con lo cual genera una situación de rechazo por parte del usuario.

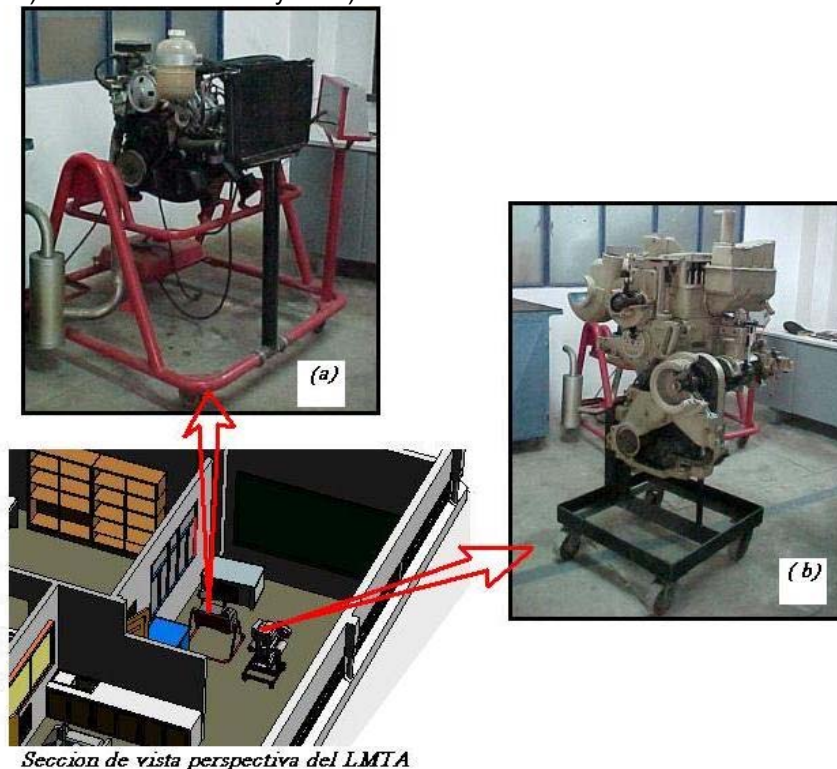
Figura 10. En a) se muestra el motor TOYOTA F110 y su armario, y en b) el banco de prueba de inyección en MECH



Fuente: El autor.

Para el **laboratorio de partes de los motores** se utiliza un motor Diesel Cummins NTC 350 en corte con dos cilindros, figura 11b, ofrece una disposición tal que permite a los estudiantes visualizar todas las partes de interés. Otro motor que se encuentra en uso en los laboratorios el un motor Renault 4, figura 11a, el cual esta operando normalmente y donde se pueden realizar prácticas de evaluación del sistema eléctrico del motor; en éste se puede apreciar la discordancia que existe entre los diferentes bancos, tanto en lo formal como en relaciones de color y la integración como una única familia.

Figura 11. En a) motor RENAULT 4 y en b) motor CUMMINS NTC 350 en corte con dos cilindros



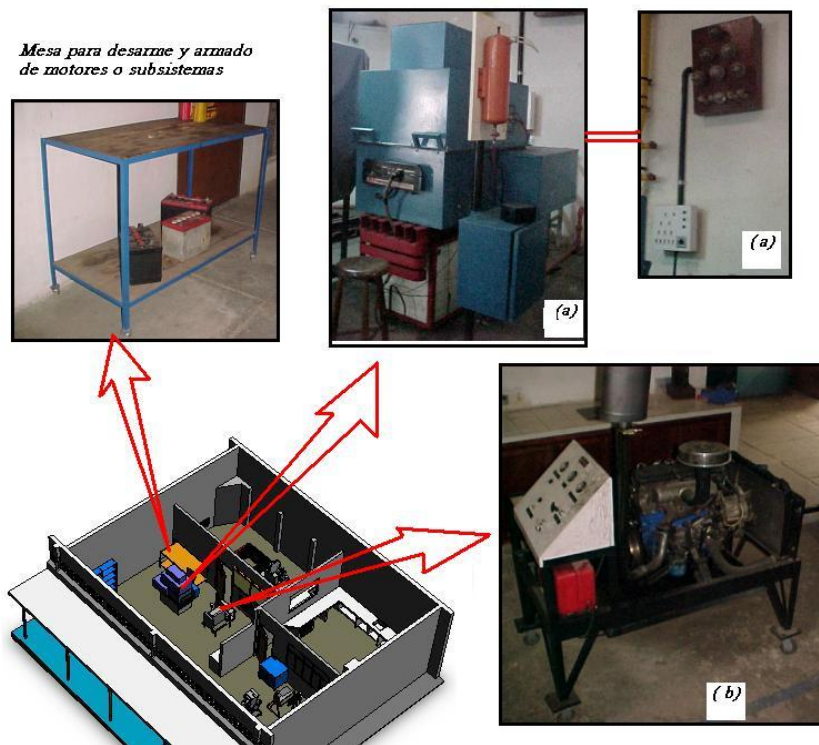
Fuente: El autor.

También se dispone del **laboratorio grupo electrógenos**, figura 12a, el cual esta compuesto por la planta de generación Coleman Powermate 7000 con una cubierta para disminuir las vibraciones y el ruido; esta planta funciona con gas natural y gasolina, se dispone de un juego de bombillos para simular la carga eléctrica a la planta. El color utilizado en este caso fue el azul claro. Por último

esta el **banco de desarme**, figura 12b, compuesto por un motor Diesel marca KIA 2.2 litros; para esta oportunidad se utilizó el color negro sin importar coordinación con los otros bancos del laboratorio.

Como ayuda metodológica para la realización de los laboratorios se dispone de láminas de apoyo, éstas se están deteriorando por su exposición a malas condiciones ambientales; se deberían enmarcar y reubicar en el laboratorio.

Figura 12. Mesa auxiliar para el desarme y armado de motores y sus subsistemas, la planta eléctrica (grupo electrógenos) en a) y el motor KIA 2.2 Litros en b)



Fuente: El autor.

2.4.4 Sala de control

Actualmente no se encuentra desempeñando esta función ya que no existen las condiciones necesarias, como por ejemplo la existencia de goteras; se aprecia en las fotografías de la figura 13 la existencia de un mesón en forma de L de fabricación y diseño antiguo y que no fueron diseñadas propiamente para labores laboratorio, ni por funcionalidad ni por ergonomía. Además de la biblioteca se

encuentra una vitrina, láminas de dibujos en corte de MCI y sus subsistemas, y por último el banco para las pruebas de la planta de generación, el cual no posee una ubicación fija.

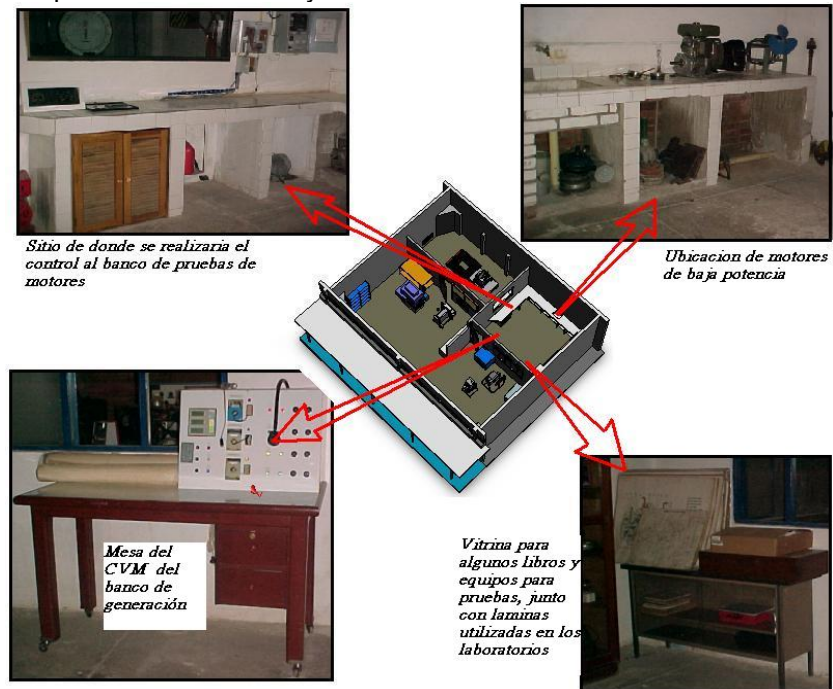
2.4.5 Sala de pruebas de motores

El propósito de *Banco de pruebas de motores alternativos* es el de determinar el par efectivo, el consumo específico de combustible y la eficiencia del MCIA en estado de velocidad constante o variable del motor, para tal fin se han realizado tres proyectos de grado gracias a la existencia de un dinamómetro en el laboratorio; en la figura 14, donde se observa el dinamómetro, la instalación del motor y el kit de conversión a gas natural como combustible.

Como resultado de estos proyectos de grado el laboratorio cuenta con una bancada para el soporte del motor de combustión interna, el dinamómetro compuesto por un freno Prony y un freno hidráulico, un depósito de agua para el dinamómetro, un depósito de gasolina, y los conductos para entrada de aire y salida de los gases de escape; como se observa en la figura 15.

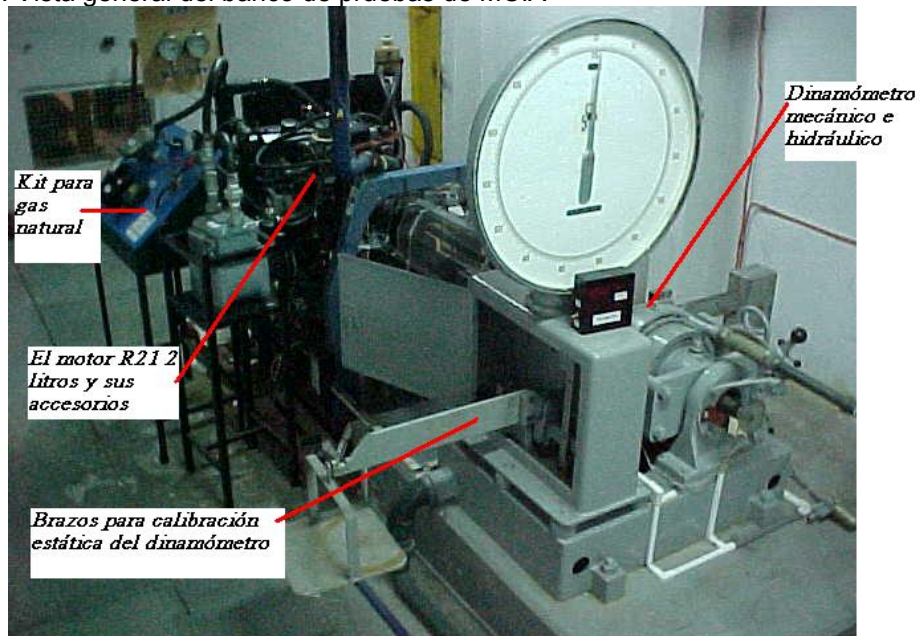
Además de lo anterior cuenta con sensores que son: 4 termocuplas tipo J, un sensor de velocidad del aire de admisión, un microcaudalímetro, un encoder; un motor paso a paso y dos sensores de velocidad para el eje del motor y del dinamómetro, ver figura 16a y b. El inconveniente por el cual no se pueden realizar las prácticas es la inexistencia de un sistema de adquisición de datos, pero además se necesita reestructurar el sistema, estandarizándolo en sus componentes y aplicando factores ergonómicos y antropométricos; como también remediar inconvenientes como es el caso de la necesidad de mantener estable las condiciones de temperatura del sistema de enfriamiento, estado que no es posible con el radiador actual.

Figura 13. Vista superior del laboratorio y detalles del salón de control



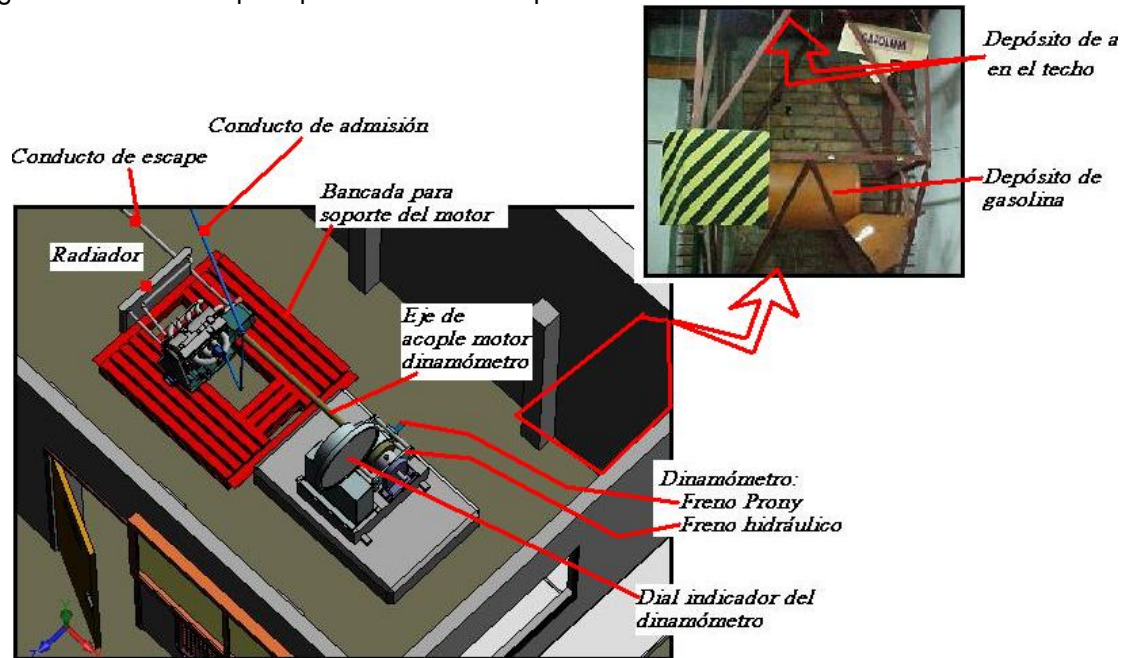
Fuente: El autor.

Figura 14. Vista general del banco de pruebas de MCIA



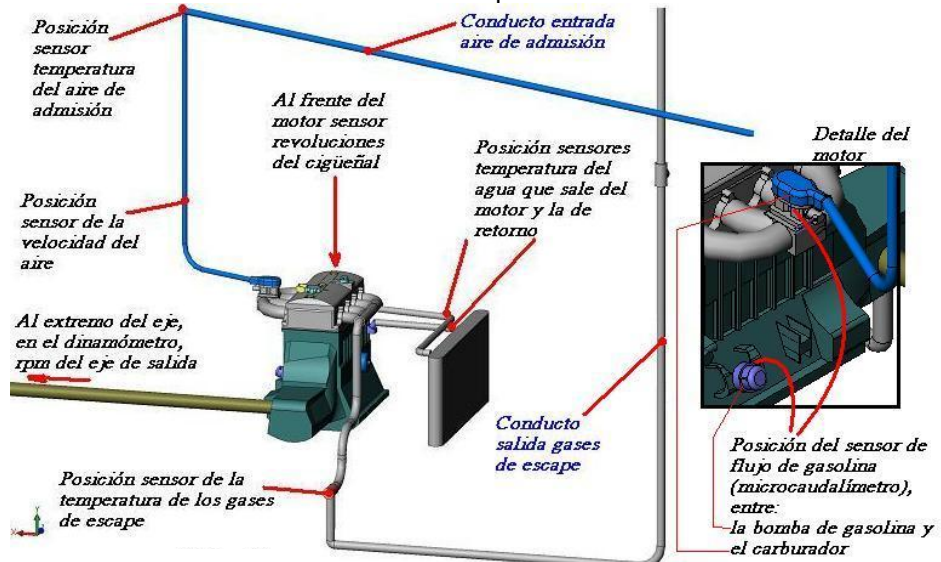
Fuente: El autor.

Figura 15. Elementos principales del Banco de pruebas de MCIA



Fuente: El autor.

Figura 16a. Ubicación de sensores en el banco de pruebas



Fuente: El autor.

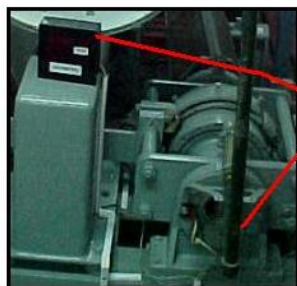
Sensor e indicador de la temperatura del agua de salida y entrada al motor



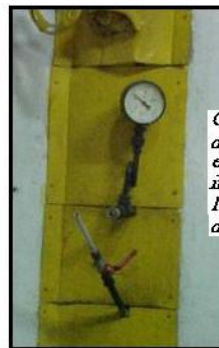
Sensor flujo de aire

Sensor consumo de gas natural

Indicador rpm del cigüeñal



Indicador y sensor de las rpm de la salida del eje, en el dinamómetro



Cubierta ducto de gases de escape y sensor indicador de las condiciones de los mismos



Una de las formas de medir el consumo de combustible

Fuente: El autor.

En esta sala también existe un mesón, una grúa de riel y el sistema de extractores de aire, tal como se muestra en la figura 17.

En esta sala se aprecia la falta de planificación en la función a realizar, es muy caliente dificultando las actividades de un operador; igualmente existe una desorganización en el manejo eléctrico (cables no identificados y esparcidos por diferentes lados).

2.4.6 Elaboración de la matriz DOFA del laboratorio.

Con el objeto de establecer las estrategias a seguir en la propuesta de modernización del laboratorio se realizó un análisis de amenazas, fortalezas, oportunidades y debilidades del LMTA (tabla 1) para culminar con una matriz DOFA (tabla 2):

Figura 17. Detalles de la grua, el extractor de aire, las rejillas para corrientes de aire y meson



Fuente: El autor.

Tabla 1. Análisis del estado actual del LMTA

DEBILIDADES	No presenta una unidad entre todos sus elementos, mostrando desorganización
	Sistema de circulación de aire inexistente o inadecuado, existe un extractor de aire ubicado en el <i>Banco de pruebas de motores</i> pero requiere un rediseño.
	Alta inconformidad por parte de los estudiantes debido a las malas condiciones ambientales, como son ruido, calor, goteras y humo.
	Se presenta una desorientación en la circulación de personas, debido en gran parte a que los bancos han sido colocados aleatoriamente.
	El laboratorio presenta una apariencia de antiguo, por tal efecto da la idea de inservible, inseguro y no fiable las labores realizadas allí.
OPORTUNIDADES	La Universidad requiere de laboratorios competitivos, que ofrezcan soluciones a problemas de la sociedad actual, por lo tanto mantiene un interés en su mejoramiento
	El laboratorio cuenta con instalaciones básicas de agua y gas natural, los cuales son muy necesarios en labores de desarrollo e investigación
	Actualmente se están desarrollando labores de mejoramiento en otros laboratorios de la Escuela, por lo tanto, es el momento de proponer mejoras en el laboratorio en cuestión
FORTALEZAS	Posee un buen abastecimiento en herramientas
	Gracias al desarrollo de anteriores proyectos de grado se cuenta con un soporte en estudio y conocimientos para nuevos proyectos
	Cuenta con motores y sensores adecuados para desarrollar buenas prácticas de laboratorio, ya sean de tipo académicas o de investigación
	Se posee un espacio físico y una infraestructura, que organizada adecuadamente, ofrece la posibilidad de realizar labores de investigación
AMENAZAS	Debido a la inatención en su mantenimiento no se pueden desarrollar en su totalidad los laboratorios programados
	El almacenamiento de gasolina no presenta ningún sistema de seguridad, se le agrega a esto que en el <i>Banco de pruebas de motores</i> la temperatura se incrementa varios grados por encima de la ambiental
	Se genera confusión en cuanto que herramienta dispone el laboratorio, debido a que éstas se encuentran en diferentes sitios
	El estudiante no sabe que puede y que no debería tocar ya que no existen relaciones informativas, de control ni de organización
	El inadecuado estado de los sitios de almacenamiento de partes de máquinas, influenciado por las malas condiciones de la protección contra condiciones ambientales, expresa la posibilidad de accidentes o de deterioro de los elementos contenidos en éstos

Tabla 2. Matriz DOFA del LMTA

		FACTORES INTERNOS	
		FORTALEZAS:	DEBILIDADES:
		Se cuenta con un desarrollo en investigación por anteriores proyectos de grado al igual que en equipos y herramientas	Las condiciones ambientales no son las más adecuadas y se presenta desorganización en su instalación.
FACTORES EXTERNOS	OPORTUNIDADES:	ESTRATEGIA F-O: Desarrollar un proyecto de mejoramiento de las instalaciones del laboratorio en toda su infraestructura, que permita llevarse a estudio arquitectónico y civil para luego ponerse en marcha.	ESTRATEGIA D-O: Implementar en las nuevas instalaciones el control de las condiciones ambientales y organización de todos los elementos constituyentes del laboratorio.
	AMENAZAS:	ESTRATEGIA F-A: Buscar relaciones inter figúrales entre los diferentes bancos y la instalación, con el objeto de establecer una identidad del laboratorio.	ESTRATEGIA D-A: Realizar una propuesta de organización de forma tal que se aplique sistemas de seguridad e informativos.

Fuente: El autor.

3. SISTEMAS BASICOS DE LA SALA DE ENSAYOS PARA MCIA

Para obtener las curvas de funcionamiento de un motor es necesario instalarlo en un banco de pruebas o de ensayos, este consta básicamente de los siguientes elementos:

- ❖ Una cimentación que absorba las vibraciones que se producen debido a la existencia en el motor de fuerzas de inercia no equilibradas.
- ❖ Bancada, cuya misión es soportar el motor.
- ❖ Soportes para montar y fijar el motor en la bancada, así como regular la altura y alinear el motor con el freno.
- ❖ Freno dinamométrico que absorba la potencia desarrollada por el motor, ofreciendo una resistencia al giro de éste, y que esté provisto de un dispositivo para medir el par motor.
- ❖ Transmisión que permita la conexión freno-motor con una cierta elasticidad y capacidad de absorber desalineaciones.
- ❖ Sistema de alimentación de combustible al motor con instrumentos de medición de consumo.
- ❖ Sistema de suministro de aire con instrumentos de medición de consumo.
- ❖ Sistema de refrigeración del motor.
- ❖ Red de agua, que elimina la energía absorbida por el dinamómetro.
- ❖ Sistema de evacuación de los gases de escape.
- ❖ Sistema de ventilación de la sala.

A continuación se detalla cada uno de estos subsistemas, estableciendo los requerimientos de diseño en base al estándar **NFPA 37** (Standard for the Installation and Use of Stationary Combustión Engines and Gas Turbines), , y el libro **Engine Testing** de Michael Plint y Anthony Martyr; entre otras fuentes.

3.1 SELECCIÓN DEL DINAMOMETRO

La función que cumple un dinamómetro es la de ser un medio para poder medir la cantidad de trabajo, potencia y características principales realizadas por las maquinas generadoras de potencia. Esta medición es posible realizarla por métodos directos o por indirectos, en el primer caso se le acopla un elemento capaz de absorber y disipar la energía entregada por el motor, por lo que, para ello, debe de oponer un par resistente o par de frenado, el cual, en condiciones normales de funcionamiento estable será igual al producido por el motor. Para el caso del método indirecto presentan la ventaja de no necesitar instalaciones complejas para ejecutar la medida, pudiéndose hacerse ésta sobre el motor en funcionamiento habitual, instrumentando el eje de transmisión entre el motor y el elemento resistente o con métodos extensiométricos o bien con métodos torsimétricos; estos métodos indirectos son menos precisos que los directos.

3.1.1 Descripción de los tipos de dinamómetros

Los dinamómetros se clasifican principalmente por su principio de funcionamiento, de lo cual se obtiene seis grupos, que son:

- ❖ Dinamómetros de fricción.
- ❖ Dinamómetros Hidráulicos:
- ❖ Dinamómetros eléctricos.
- ❖ Dinamómetro oleohidráulico.
- ❖ Dinamómetro de polvo magnético.
- ❖ Otros:
 - Frenos aerodinámicos.
 - Frenos de inercia.
 - Frenos de banco de rodillos.

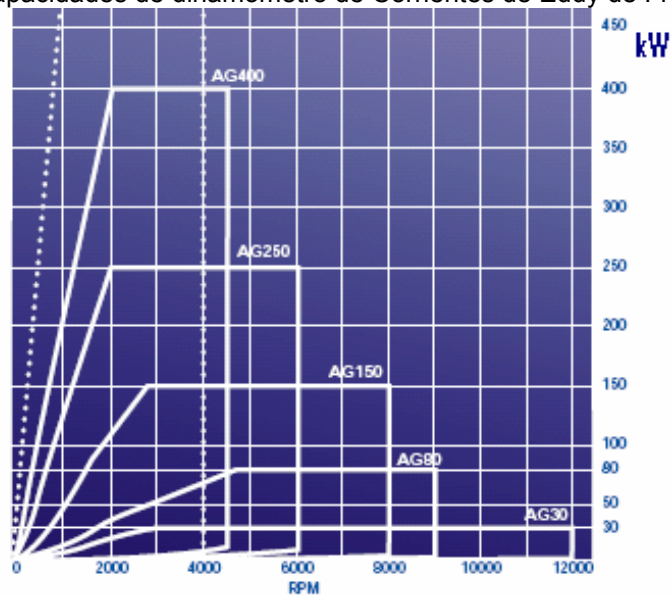
Una descripción detallada sobre los dinamómetro se ha incluido en el Anexo A.

3.1.2 Solución adoptada según la sala de ensayos

Atendiendo a la información mencionada en el Anexo A se procede a la elección de un freno eléctrico, ya que son más fáciles de automatizar y regular que los hidráulicos, aparte de ser más precisos. De entre los tipos de dinamómetros eléctricos los mas opcionados son el **freno A.C. o de corriente alterna** y el de **corrientes de Eddy**. En términos de automatización el freno A:C. es mejor que los de corriente de Foucault y además no necesitan suministro de agua para refrigerarse y permitan hacer ensayos en régimen transitorio como los segundos; pero en términos de costos los de corrientes de Eddy son mucho mas económicos: según información suministrada por **Froude Consine** un dinamómetro de corrientes de Eddy es un 18% mas económico que los primeros.

El mapa de utilización de estos dinamómetros se observa en la figura 18, en la cual indica que la línea de mínimo par se presenta a más de 4000 RPM, la potencia máxima que puede absorber el freno será constante para velocidades altas.

Figura 18. Carta de capacidades de dinamómetro de Corrientes de Eddy de Froude Consine



Fuente: Tomado de Catalogo de AG Range Eddy Current Dynamometers de Froude Consine

Además puede trabajar en los cuatro cuadrantes de operación, es decir que puede trabajar tanto absorbiendo par como generándolo y tanto en uno como en otro sentido de giro.

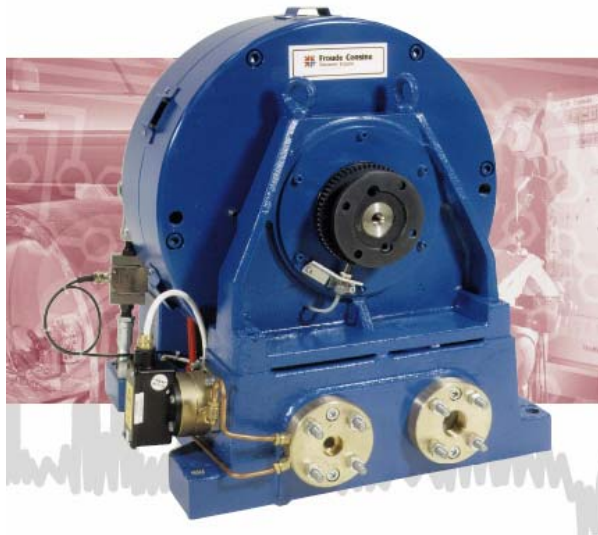
a) Selección para banco de pruebas de motores DIESEL

La propuesta de este proyecto de grado es la de diseñar una celda de pruebas para motores DIESEL de potencia máxima 350 BHP (261 kW), torque alcanzable de 1175 lb.ft (1593 N.m) y velocidad máxima de 2100 RPM. Según la carta de funcionamiento de los dinamómetros de tipo corrientes de Eddy, figura 19, se selecciona el AG400 cuyo equipo completo suministrado por el fabricante se ve en la Anexo C.1.

b) Selección para banco de pruebas de motores de encendido por chispa

Se propone el diseño de una celda de pruebas para motores de encendido por chispa de potencia máxima 200 BHP (149 kW), torque alcanzable de 142 lb.ft (193 N.m) y velocidad hasta 7400 RPM. Igualmente se ha seleccionado de la carta de Froude Consine, y se selecciono el AG150. Equipo completo en Anexo C.1.

Figura 19. Dinamómetro de Corrientes de Eddy del fabricante Froude Consine



Fuente: Tomado de Catalogo de AG Range Eddy Current Dynamometers de Froude Consine

c) Selección para banco de pruebas de motores monocilindricos

Las características de una celda de pruebas para motores monocilíndricos correspondientes al siguiente tamaño:

- Pistón de 65 a 100 mm
- Carrera de 60 a 95 mm
- Máximas RPM: 8000
- Máxima presión en el cilindro: 130 bar.

Para este tipo de motores los fabricantes ofrecen unidades compactas con todos los equipos necesarios para el estudio del motor, como es el sistema de soporte de todos los equipos, el dinamómetro, el equipo indicador, el sistema de acondicionamiento de aire de admisión y de consumo de combustible, el suministro de aceite y la instrumentación adicional.

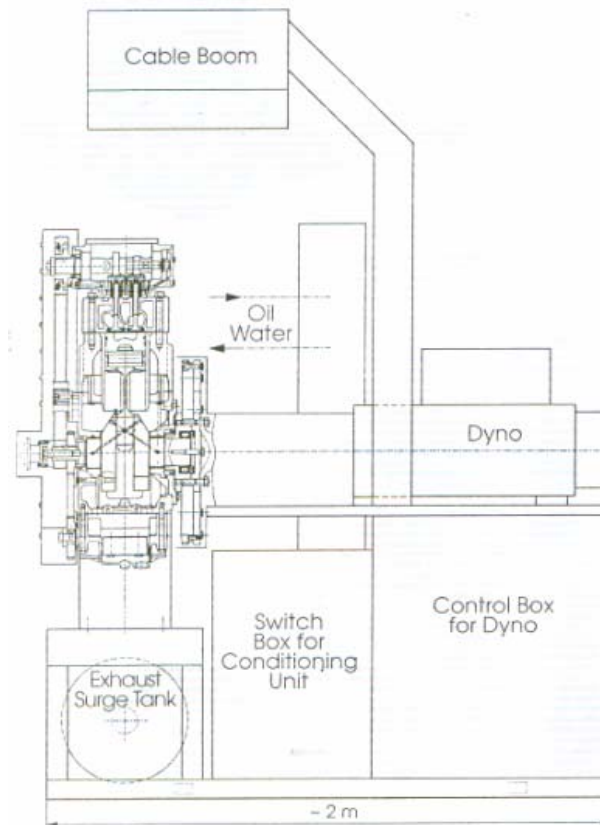
Tal es el caso de la empresa **AVL** en Austria, que ofrece el equipo compacto **Tipo 5402**, figura 20, que posee como características un dinamómetro asíncrono de torque nominal 110 N.m desde 0 a 3000 RPM, enfriado por agua; con una cabina de control del dinamómetro externa que puede ser ubicada en una sala de control. La circulación de agua y aceite es lograda por bombas con control en forma eléctrico.

3.2 SELECCIÓN DEL EQUIPO AUXILIAR

3.2.1 Sistema de ventilación y aspiración de gases

En una sala de ensayos se requiere de un sistema de ventilación que se encargue de mantener un flujo constante del caudal de aire necesario para conseguir una correcta refrigeración de la sala y a su vez extraer todo tipo de gases nocivos que se crea dentro de su funcionamiento normal; así existirá un ambiente limpio, sin gases peligrosos, con presión, humedad y temperatura adecuada, y la refrigeración de las máquinas que trabajan en la celda.

Figura 20. Configuración general de la celda de pruebas para motores de dos tiempos del fabricante AVL.



Fuente: Tomado de Catalogo Single Cylinder Engine Test Bed de la empresa AVL

El sistema abierto que conforma la sala de ensayos se tiene diferentes fuentes generadoras de calor, las dos principales son el motor y el dinamómetro, pero existen otros elementos del sistema de la sala que también son focos de calor, aunque de menor intensidad que los anteriores, por todo ello, si no se elimina de la atmósfera este calor, será más difícil refrigerar las máquinas y esto llevaría al fallo final del sistema a través de los fallos producidos por el resto de los elementos. Debido a este problema hay que controlar el sistema de ventilación de la sala y conseguir un caudal de aire suficiente para conseguir el correcto funcionamiento de esta, por esta razón, se calcula dicho caudal de aire que en un principio es el mínimo que debe de suministrar el sistema de ventilación.

Se necesita determinar la densidad del aire para condiciones normales de presión y temperatura en el interior de la sala, para ello se utiliza la ecuación 1 que es la ecuación fundamental de los gases;

$$p_a \times 10^5 = \rho \times R(t_a + 273) \quad \text{Ecuación 1}$$

- $p_a = 1.01325 \text{ bar}$; presión atmosférica.
- $R = 287 \text{ J / kgK}$; constante de los gases para el aire.
- $t_a = 25^\circ \text{ C} = 25 + 273 = 298^\circ \text{ K}$; Temperatura del aire.
- $\rho = \text{kg/m}^3$; densidad del aire

Siendo la densidad y el calor específico: :

$$\rho = \frac{1.01325 \times 10^5}{287 \times 298} = 1.185 \text{ kg / m}^3 \quad C_p \cong 1.01 \text{ kJ / kgK}$$

El flujo del aire, calculado con la ecuación 2, necesario para que no varíe más de 10° C la temperatura de la sala debido al calor generado en su interior por 1kW es:

$$\dot{m} = \frac{Q}{C_p \times \Delta T} = \text{en } \text{m}^3 / \text{s} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$\dot{m} = \frac{1}{1.01 \times 10} = 0.099 \text{ kg / s} = 0.084 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Ahora es necesario precisar las potencias caloríficas generadas por todas y cada una de las principales fuentes de calor de la sala, estas potencias, son para cada foco, suministrada por varios investigadores en este campo, entre ellos se encuentra Michael Plint y Anthony Martyr que lo resumen en una tabla publicada en su libro Engine Testing y que se muestra en la tabla 3.

La carga total de calor (H_L) se determina según la potencia máxima de la sala:

$$H_L = (0.1+0.3+0.05)350 \text{ kW} = 157.5 \text{ kW}$$

Multiplicando este valor por el flujo másico de aire se determina el caudal de aire necesario para la variación de la temperatura sea menor de 10 °C en la sala.

$$Q_A = 0.084 \times 157.5 \times 3600 = 47628 \text{ m}^3 / \text{hora}$$

Tabla 3. Calor transferido en una celda de ensayos de MCIA al sistema de ventilación

FUENTES DE CALOR	kW / kW DE POTENCIA DE SALIDA
Motor enfriado por agua	0.1
Sistema de escape (múltiple y silenciador)	0.3
Dinamómetro de Corrientes de Eddy	0.05

Fuente: PLINT Michael. Engine Testing Theory and practice. Inglaterra. Butterworth Heinemann. 1995. p 38

3.2.2 Suministro de combustible

De acuerdo a las diferentes salas de ensayos de MCIA se necesita el suministro de tres tipos de combustible, DIESEL, gasolina y gas natural; este tipo de suministro esta regulado por el estandar NFPA 37: *Standard for the Installation and Use of Stationary Combustion Engine and Gas Turbines*, en su capítulo 5.

Por condiciones de seguridad se instala dos tipos de depósitos para cada combustible, un externo al laboratorio en forma subterránea de 100 galones y uno de suministro diario de 5 galones para cada sala, pero ubicados fuera de ellas y en forma elevada. Este tanque debe ser de acero integral con juntas soldadas de mínimo calibre 16.

Para el transporte del combustible desde el tanque externo a de suministro diario se realiza mediante una bomba de impulsión de combustible controlada por un sistema de control general, sube el combustible siempre que el nivel de estos depósitos baje por debajo de un valor determinado; con este sistema se garantiza que la bomba solo trabajará cuando sea estrictamente necesario, estos depósitos deben estar bajo un techo que lo protegerá del sol.

3.2.3 Sistema de refrigeración del motor

El motor vehicular dispone del sistema de refrigeración, el cual entre otros elementos cuenta con un radiador y ventilador para reducir la temperatura del agua saliente del motor, después de pasar por el termostato; en el montaje sobre el vehículo este sistema cuenta además con la ayuda de una corriente de aire en dirección contraria al movimiento del radiador, facilitando en gran medida el enfriamiento del agua.

Para el caso de la celda de pruebas que se diseña, el motor se encuentra estacionario y en un recinto cerrado, por lo tanto no se posee corrientes de aire y el sistema radiador – ventilador no cumple los requerimientos en cuanto de disponer de un intervalo constante de temperatura en el agua de enfriamiento, por lo que es imposible realizar la prueba a temperatura constante.

Por la tanto se diseño un intercambiador de calor (I.C) de casco y tubo para lo cual se ha basado en tres estándares internacionales, la primera es la ***British Standard Specification for Tubular Heat Exchangers for General purposes*** la cual ha sido desarrollada bajo la autoridad del la *Mechanical Engineering Industry Standards Comité* de Inglaterra; este estándar aplica para el diseño mecánico, construcción, inspección y prueba de los cascos y placas porta tubos. La segunda es ***The Standard of the Tubular Heat Exchanger Manufactures' Association (T.E.M.A)*** la cual es de amplio uso y aceptación internacional, ésta aplica no solo para los mismos aspecto del anterior estándar sino que también involucra el diseño térmico. Por último el libro ***Guidebook for the design of ASME SECTION VIII pressure vessels***, el cual es una referencia para diseñadores de recipientes a presión e intercambiadores de calor.

El desarrollo matemático del cálculo implantado en el presente proyecto se encuentra en el anexo B cuyos resultados se presentan en la tabla 4.

Tabla 4. Resultados del diseño del intercambiador de calor motor de 350 bhp

POTENCIA DEL MOTOR: 350 BHP					
Fluido agua del motor	Temp. Entrada	90	Tubería de longitud 0.7m	D. externo	7.94 mm
	Temp. Salida	80		D. interno	6.32 mm
	NPT	2		Numero total de tubos	112
Fluido agua fria	Temp. Entrada	23	Distribución de tubería	Dotl	136 mm
	Temp. Salida	36		D. int. Casco	148 mm
	NPC	2		D. ext. casco	155 mm

Fuente: El autor

3.2.4 Suministro eléctrico

El laboratorio debe contar de una red principal de suministro eléctrico que comprenderá los siguientes elementos: un armario de control de cada uno de los sistemas eléctricos instalados en el interior de las salas, la red debe disponer de una línea de 120 V y de 240 V. Se organiza diferentes circuitos de acuerdo a características comunes, llegando a los siguientes circuitos principales:

- ❖ Circuito de alumbrado: Cobija todas las lámparas con línea de 120V.
- ❖ Circuito para computadores: Alimentación eléctrica a 120V para los computadores de control de cada sala de pruebas
- ❖ Circuito de línea de 220V: para servicios especiales en una zona de la sala de control y de mantenimiento.
- ❖ Circuito para equipos de control y adquisición de datos: Se instalará una línea especial de 120V para la alimentación de equipos de control y adquisición de datos de las salas de ensayos.
- ❖ Circuito de propósito general: Son líneas a 120V

En lo referente a la iluminación se hará uso de lámpara fluorescentes de 40 vatios, las cuales ofrecen un flujo luminoso de 2500 lumens, los valores típicos para lugares como oficinas, laboratorios, salón de lectura o salón de clase debe ser de 750 luxes. De la definición de iluminación (E), ecuación 3, se determina el número de lámparas a instalar en cada sala, estableciendo en área de cada uno de ellos.

$$E = \text{Flujo luminoso} / \text{superficie} = \Phi / S \quad \textbf{Ecuación 3}$$

Las instalaciones eléctricas deben tener en cuenta la normatividad vigente para evitar cualquier daño a cualquier persona ni ser causa de cualquier otro percance, por lo tanto hay que tener en cuenta las causales que ocasionarían incendios:

- ❖ Sobrecalentamiento de cables y equipos debido a sobrecarga de los conductores
- ❖ Sobrecalentamiento debido a fallos en los termostatos o en los equipos de corte de temperatura.
- ❖ Fugas debidas a fallos de aislamiento
- ❖ Auto ignición debida a sobrecalentamiento de materiales inflamables ubicados cerca o dentro de equipos bajo tensión, cuando en operación normal pueden llegar a estar calientes
- ❖ Ignición de materiales por chispa o arco.

3.2.5 Sistema de seguridad

Los factores de seguridad que se deben tener en cuenta en la instalación de las salas de pruebas, y en general en el laboratorio, se relacionan por un lado en la selección adecuada del personal a realizar las obras civiles y de montaje de equipos y por el otro en el uso de la adecuada señalización con el objeto de identificar y advertir condiciones de riesgos físicos, identificar y advertir peligros,

identificar equipos y materiales, demarcar superficies de trabajo y áreas de tránsito e identificar y localizar los equipos de emergencia.

El Código NFPA 704 establece la normatividad de seguridad industrial, la función de los colores y las señales de seguridad es atraer la atención sobre lugares, objetos o situaciones que puedan provocar accidentes u originar riesgos a la salud, así como indicar la ubicación de dispositivos o equipos que tengan importancia desde el punto de vista de la seguridad.

Para evitar la presencia de accidentes se sugiere la instalación de letreros utilizando colores y señales de seguridad e higiene, en forma de resumen en el laboratorio se aplicara los mostrados en la tabla 5.

- ❖ Los depósitos de combustible subterráneos deben ser etiquetados con la descripción “Tanque subterráneo para líquido inflamable”
- ❖ Tubería de combustibles: Como es de diámetro pequeño (1/2”) se pintará toda de amarillo con una flecha en negro indicando la dirección de flujo y un letrero colgante en forma de triangulo equilátero de borde negro y fondo amarillo con un texto en negro que dice: “GASOLINA”, “COMBUSTIBLE DIESEL”, “GAS NATURAL”; o el mostrado en la figura 21a.
- ❖ La tubería de agua: Toda debe ir pintada de verde y con una flecha en blanco indicando dirección de flujo, con un letrero colgante de forma rectangular de fondo verde y en letras blancas con la siguiente etiqueta: “AGUA”.
- ❖ Demarcación del piso: en este caso se usa bandas de 80 mm de espesor de los siguientes colores: verde para zonas de almacenamiento, azul que es un color de advertencia para zonas de trabajo pero se debe tener precaución y amarillo para zonas de alto peligro.

- ❖ Los polipastos y pasamanos se pintan de color amarillo, que es el color

utilizado por equipos de transporte de materiales por su mayor visibilidad.

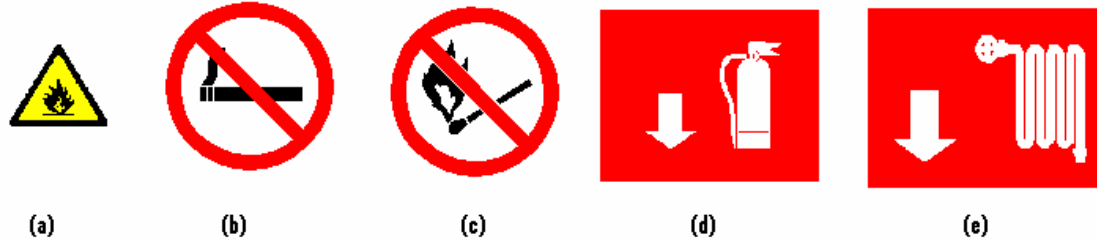
- ❖ La ubicación de equipos de primeros auxiliaos se pinta de verde.
- ❖ En cuanto a señales de prohibición en cada sala deberá existir un prohibido fumar, Figura 21b, y prohibido generar llama abierta e introducir objetos incandescentes, Figura 21c; a una altura de 1700 mm del piso respectivo.
- ❖ En los sitios de ubicación de sistema contra incendio debe estar la señal respectiva, Figura 21d,

Tabla 5. Código de colores de seguridad según NFPA 704

COLOR DE SEGURIDAD	SIGNIFICADO	APLICACION	FORMATO Y COLOR DE LA SEÑAL	COLOR DEL SIMBOLO	COLOR DE CONTRASTE
ROJO	Pararse, Prohibición, Elementos contra incendios	Señal de detención, dispositivos de parada de emergencia, señal de prohibición	Corona circular con una barra transversal superpuesta al símbolo	Negro	Blanco
AMARILLO	Precaución	Indicación de riesgo (incendio, explosión)	Triángulo de contorno negro	Negro	Amarillo
	Advertencia	Indicación de desniveles, pasos bajos, obstáculos	Banda amarilla combinada con bandas de negro		
VERDE	Condición segura, señal informativa	Indicación de rutas de escape, salida de emergencia, estación de rescate primeros auxilios	Cuadrado o rectángulo sin contorno	Blanco	Verde
AZUL	Obligatoriedad	De usar equipos de protección personal	Circulo de color azul sin contorno	Blanco	Azul

Fuente: Tomado de la norma NFPA 704 suministrado en su página de INTERNET

Figura 21. Señales de seguridad a usar en el laboratorio



3.2.6 *Análisis de emisiones contaminantes*

Mundialmente se están desarrollando normatividades relacionadas sobre la contaminación producida por los vehículos, por lo que se quieren conseguir unas tasas de emisiones de contaminantes y contenido de humos lo más bajas posibles. Esto obliga a un objetivo adicional de la instalación de la sala de ensayos a la que el proyecto hace referencia y es el estudio y evaluación de emisión de contaminantes producidas por el motor instalado en ella. Existen comercialmente muchas soluciones en cuanto equipo para realizar dichas pruebas, uno de los más destacados lo ofrece el Sistema MEXA, Figura 23, que es un analizador de gases de escape, cuyo funcionamiento se basa en la toma de muestras de gas emitido por el motor, mediante una sonda situada en el conducto de escape del motor.

Este analizador de gases es un sistema de cierta complejidad controlado por un ordenador de control y una serie de complejos sistemas de análisis y descomposición de gases a través de filtros y gases químicos que sirven para realizar la descomposición de la muestra recogida en los diferentes gases de los que se quiere obtener información. El ordenador muestra en la pantalla la descomposición de la muestra en los diferentes gases al igual que las magnitudes en las que son medidos cada uno de los gases.

Los gases que puede medir son los que se muestran a continuación y las magnitudes en las que los mide son partes por millón (ppm) de gas analizado y en tanto por cien de muestra evaluada.

❖ Monóxido de carbono

- ❖ Dióxido de carbono,
- ❖ Propano,
- ❖ Oxígeno
- ❖ Óxido de nitrógeno.

De acuerdo a información suministrada por la marca HORIBA, vía Internet se ha seleccionado el equipo MEXA-7100DEGR, el cual permite el análisis de motores a gasolina, DIESEL, y a gas natural; este mismo equipo se puede utilizar para dos salas de ensayos al adquirir en forma adicional una segunda unidad de toma de muestras. En el anexo C.2 se presenta la información suministrada por la empresa HORIBA.

Figura 22. Analizador de gases de escape MEXA-7100DEGR de la marca HORIBA



Fuente: Tomada de la página <http://www.horiba.com>

3.3 FACTORES ERGONOMICOS

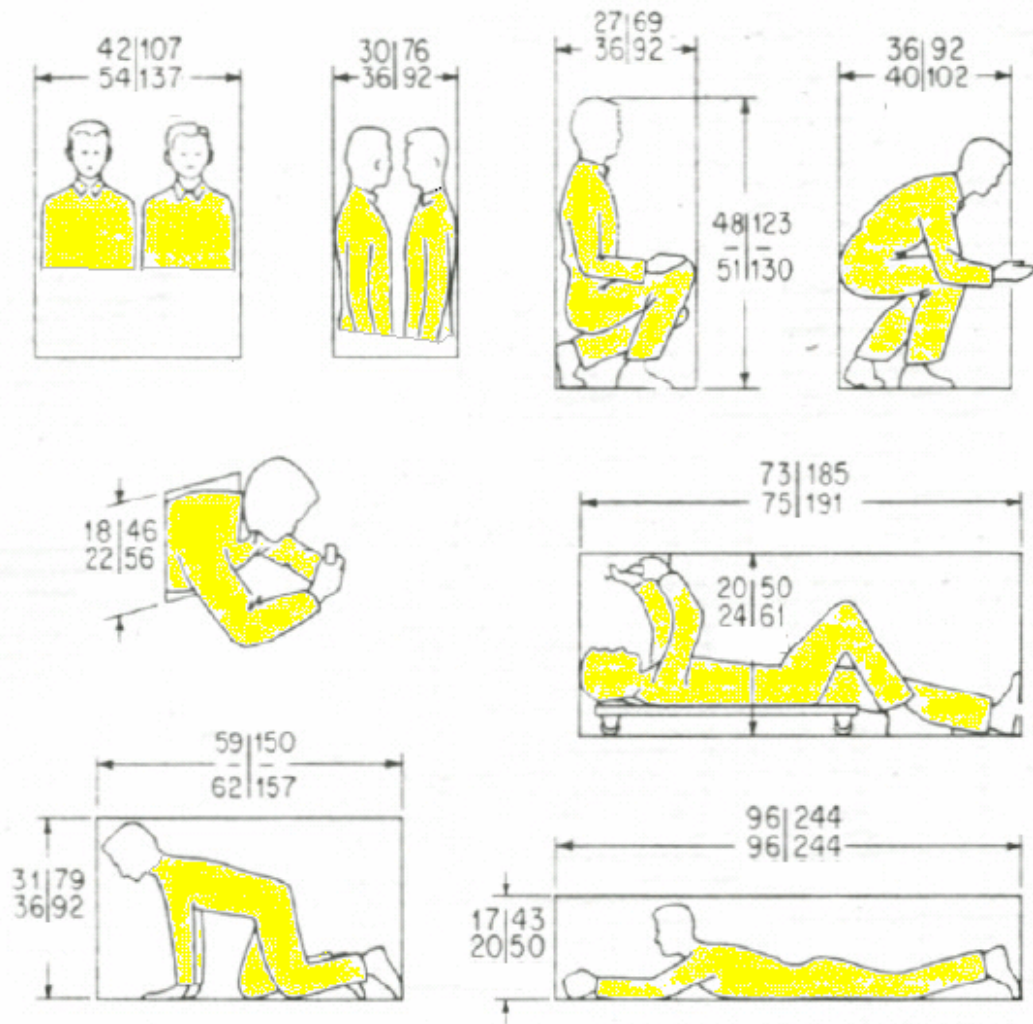
Una sala de ensayos de motores es un sistema de trabajo con todos sus componentes, y el más importante es el ser humano que interactúa con el resto del sistema, por lo tanto, este sistema debe de cumplir todos los requerimientos ergonómicos que emanan de un sistema de trabajo. Además de los aspectos antropométricos, se encuentran aquellos que se deben a la exposición laboral a agentes físicos como son la energía mecánica, en forma de ruido y vibraciones; la energía calorífica, en forma de calor o frío y la energía electromagnética, en forma de radiaciones.

3.3.1 Antropometría y espacio de trabajo

El laboratorio, ya sea en las salas de ensayos o en otras salas, va a ser operado y asistido por personas adultas (mayores de 16 años) ya sean hombres o mujeres, con una estatura promedio a nivel de Colombia (entre 160 a 170 cm), y con una preparación académica de tipo técnico o profesional. En todo momento se debe buscar las condiciones mínimas para que toda persona pueda tener acceso ya sea en alcances o en espacios libres de tránsito, en tal sentido en el caso de alcances se utilizara el percentil 5° y para espacios libres un percentil 50°. En las figura 23 y 24 se muestran dimensiones mínimas y el promedio para espacios y superficies de trabajo, se adoptan estas condiciones ya que dichas dimensiones se han establecido bajo antropometría dinámica que será la condición mas segura que se presente en las salas de ensayos de motores (las personas se encuentran trabajando o en movimiento a través de espacios restringidos).

Se puede presentar dos situaciones con respecto a la altura de la superficie de trabajo, que la persona este sentada o de pie; en el caso de estar sentado la altura de superficie de trabajo esta relacionada con la altura del asiento, espesor de la superficie y grosor del muslo.

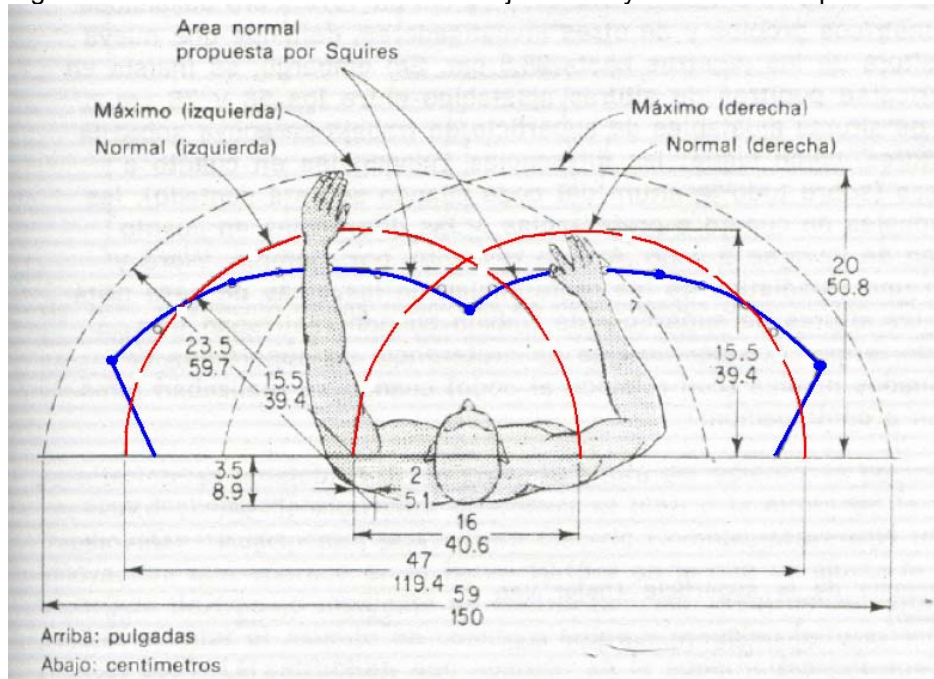
Figura 23 Dimensiones para algunos espacios de trabajo según Rigby, Cooper y Spickard



Nota: Dimensión a la izquierda en pulgadas y a la derecha en centímetros, arriba las mínimas y abajo la promedio. Fuente: McCORMICK Ernest, Ergonomía. GG Diseño, España 1980, p248

En lo que respecta a la altura de la superficie de trabajo para estar de pie, las variables se limitan a la estatura de las personas interactuantes y el tipo de labor a realizar; en promedio esta altura se toma para mujeres entre 84cm a 97cm, y para hombres entre 81cm a 104cm, en general a unos cuantos centímetros por debajo de la altura medio del codo. Las superficies de trabajo a desarrollar en el laboratorio deben estar entre 86cm y 90cm.

Figura 24 Dimensiones de áreas de trabajo normal y máxima en un plano horizontal



Nota: Dimensión arriba en pulgadas y abajo en centímetros. Fuente: McCORMICK Ernest, Ergonomía. GG Diseño, España 1980, p249

3.3.2 Distribución del espacio de trabajo

En el presente proyecto se busco aplicar los siguientes cuatro principios de distribución que son fundamentales a la hora de organizar los diversos componentes dentro de un área general. Algunos de éstos son:

- ❖ Principio de la importancia operacional, el cual se relaciona con los objetivos del sistema donde se establece el grado en el que la realización de la actividad con el componente es vital.
- ❖ Principio de frecuencia de uso de los componentes.
- ❖ Principio funcional donde los componentes se agrupan según su función.
- ❖ Principio de secuencia de uso que busca organizar los diferentes componentes conservando la línea de operación o de producción.

La distribución de planta de las salas de pruebas se realizara basada en una *Distribución por posición fija* en el cual el componente principal, el motor y el dinamómetro, permanecen fijo en el centro de la sala, todos los demás, como herramientas, personas y equipos auxiliares, se mueven hacia estos dos.

Los otros componentes de la sala de ensayos son el sistema de medida de gases de escape, el intercambiador de calor, el sistema de control de aire de admisión y los sensores el sistema (medidor de RPM, de flujo de gasolina, de consumo de aire y de temperatura). Los equipos que se localizaron fuera de la sala de ensayos, en un espacio llamado “sala de control” será el sistema de adquisición de datos, el computador de control de las pruebas y el sistema de control del motor, como el encendido, el apagado y embrague del motor.

3.3.3 Organización del entorno

En la sala de ensayos se puede presentar varios agentes físicos que pueden causar daño a las personas, tales agentes son: energía mecánica en forma de ruido y vibraciones, energía calorífica y energía electromagnética en forma de radiaciones.

En lo que respecta al ruido este debe mantenerse en máximo de 70 decibelios en las salas de ensayos asegurando que se mantenga una conversación normal a un metro de distancia; en la sala de control debe estar alrededor de 50 decibelios. Como medios de protección se instalaran pantallas absorbentes en las paredes de la sala de ensayos e instalación adecuada de múltiples de escape, para evitar que el ruido pase a la sala de control se utilizan paredes de grosores según norma; en lo referente a las vibraciones se diseño un sistema absorbente de vibraciones, todos estos aspectos se describe en la sección 3.4.4.

El sistema de acondicionamiento de aire debe garantizar una temperatura promedio de 25°C y una humedad relativa de 50% con el objeto de evitar el riesgo de acumulación de energía estática, con esto se busca evitar la generación de

estrés térmico por acumulación excesiva de calor en el cuerpo humano y la deshidratación.

En la sección de suministro eléctrico (3.2.4) se ha definido la necesidad de iluminación de este tipo de área de trabajo con un valor aproximado de 750 luxes, esta debe ser distribuida uniformemente sobre la sala de ensayos y sobre el techo para evitar la presencia de deslumbramiento directo (fuente de luz dentro del campo visual), y para evitar el deslumbramiento reflejo producido por superficies brillantes o vidriosas las paredes de la instalación deben ser pintadas de blanco mate y el vidrio a la sala de control tiene una inclinación respecto a la vertical, ver sección 3.4.2.

3.4 FACTORES DE INFRAESTRUCTURA (CIVILES)

El motor por sí mismo es una fuente significativa de vibración y ruido en una sala de ensayos, otras fuentes secundarias como el sistema de ventilación, las bombas y el sistema de circulación y el dinamómetro son usualmente enmascaradas por los efectos del motor. Los aspectos más generales a tener en cuenta del diseño de la estructura física de la sala son los siguientes:

- ❖ El motor debe ser montado en una forma tal que ni éste ni sus conexiones puedan ser dañadas por excesivo movimiento o vibraciones.
- ❖ La transmisión de vibraciones generadas por el motor a la estructura de la sala o a otras construcciones deben ser controladas.
- ❖ Los excesivos niveles de ruido de la sala deben ser abolidos, tanto como sea posible, y se debe tener en cuenta el diseño de señales de alarma que mantengan los niveles de ruido adecuados.

3.4.1 Fundamentos de fuentes de vibraciones

Un aspecto importante de la sala de ensayos es controlar la transmisión de

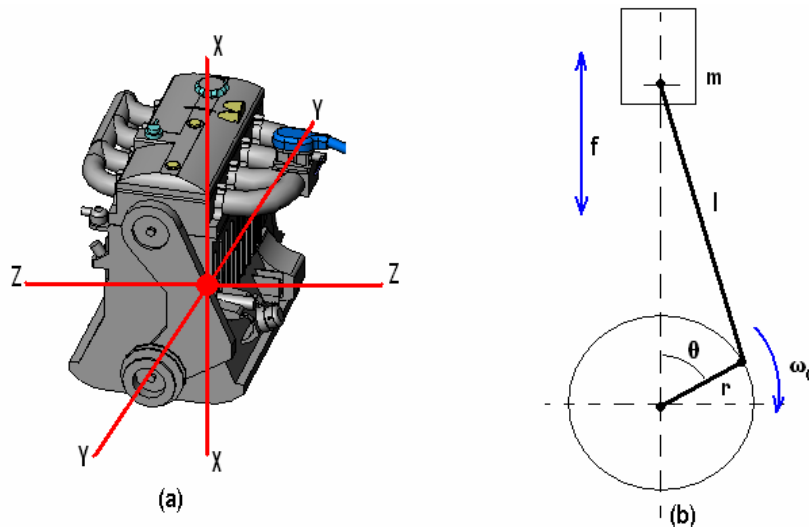
vibraciones a la estructura de la sala o a la de todo el edificio, y por supuesto evitar excesivos niveles de ruido con la amortiguación de las vibraciones.

Un motor puede ser considerado como un sistema de seis grados de libertad de traslación y de vibración a través de los ejes ortogonales de gravedad: vibraciones lineales a lo largo de cada eje y la rotación alrededor de cada eje, ver figura 25a. En la práctica solo tres de estos modos son usualmente importantes:

- ❖ Oscilaciones verticales sobre el eje debido a fuerzas verticales no compensadas.
- ❖ Rotación sobre el eje Y debido a variaciones cíclicas en el par.
- ❖ Rotación sobre el eje Z debido a fuerzas verticales no compensadas en diferentes planos transversales.

En general las masas en rotación son cuidadosamente balanceadas, pero fuerzas periódicas debido a las masas reciprocantes no se pueden suprimir totalmente; el cigüeñal, la biela y el pistón están sujetos a una fuerza periódica en la línea de acción del pistón, figura 25b.

Figura 25. MCI con sus ejes de libertad (a) y la fuerza recíprocante f en el mecanismo biela-cigüeñal (b)

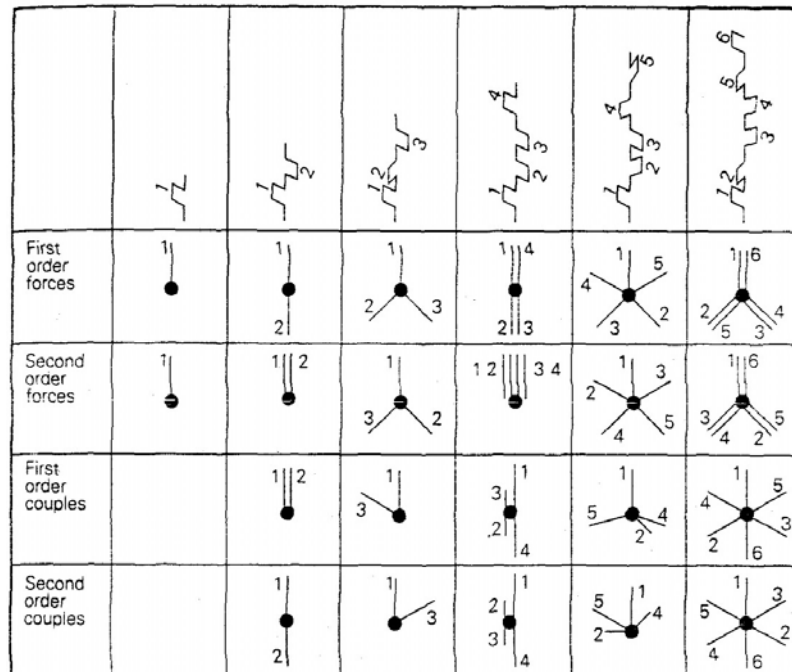


Fuente: PLINT Michael. Engine Testing Theory and practice. Inglaterra. Butterworth Heinemann. 1995. p 57

Las fuerzas de inercia pueden ser representadas mediante vectores de rotación a la velocidad del cigüeñal y dos veces la velocidad de éste, la figura 26 muestra los vectores de primer y segundo orden para motores que tienen desde uno a seis cilindros; de esta figura se puede deducir lo siguiente:

- ❖ Un motor de un solo cilindro las fuerzas de primer y segundo orden son desbalanceadas.
- ❖ Para gran número de cilindros las fuerzas de primer orden son balanceadas.
- ❖ Para motores de dos y cuatro cilindros las fuerzas de segundo orden son desbalanceadas y aditivas.
- ❖ Los motores de seis cilindros están balanceados en todos sus modos.

Figura 26. Fuerzas de primer y segundo orden en motores de múltiples cilindros



Fuente: PLINT Michael. Engine Testing Theory and practice. Inglaterra. Butterworth Heinemann. 1995. p 67

El diseño detallado del montaje de un motor en una sala de ensayos es una materia de alta especialización y como una guía de ello se tendría que consultar el libro *Vibration Engineering* de Ker-Wilson, En el desarrollo del presente proyecto y con el objeto de cumplir los requerimientos expuestos anteriormente, además de

los estándares y normas mencionadas en su momento, se utilizan las especificaciones que se han logrado recopilar de otros laboratorios. Tal como el caso de los laboratorios de MCIA del ICP (Bucaramanga, Colombia) y de la Universidad Politécnica de Valencia en España.

3.4.2 Muros, puertas y ventanas.

Según lo establecido por el estándar NFPA 37 los cuartos donde se dispone motores de combustión interna estacionarios, estos deben tener muros contra fuegos, categorizados de al menos una hora de resistente al fuego; y de acuerdo a la norma ICONTEC 2000 (Código colombiano de estructuras de hormigón reforzado) el espesor de los muros contrafuegos no podrá ser menor de 200 mm conformados de hormigón armado, cubiertas de un material aislante térmico y acústico. Finalmente deben ser pintadas de color blanco mate para no reflejar la luz de la sala con una pintura adecuada para facilitar la limpieza de esta.

La ventana de control es de doble cristal de 1500 x 1000 x 80 mm con una cámara entre cristales de 250 mm. La altura a partir del suelo del cristal se establece teniendo en cuenta que el 95 por ciento de las personas que se ubiquen en la sala de control puedan observar el interior de la sala de ensayos, desde la posición de trabajo (observador sentado); por lo cual se basa en la posición de la línea visual normal para una mujer sentada 5° percentil más la altura poplítea, esto corresponde a una altura de 1100 mm.

El marco del cristal debe ser de plancha de acero galvanizado de 1mm de espesor, los dos cristales no deben estar colocadas paralelamente sino ligeramente convergentes para evitar el acoplamiento entre ellas y fenómenos de refracción luminosa.

Una puerta que reúna los requerimientos de atenuación del ruido y contención del fuego son inevitablemente pesadas y requieren mas que un esfuerzo normal para ser movidas, estas deben ser de plancha de acero galvanizado, y que en su

interior se le haya añadido material ignífugo y de insonorización; de dimensiones 2200 x 1000 mm, estas puertas deben ser de apertura por riel deslizante o hacia fuera de la sala. Además de la puerta para la entrada de personas debe tener una puerta de dimensiones adecuada para el ingreso de motores para las respectivas pruebas.

3.4.3 Suelo, cimientos y techo

La conformación del suelo de la sala de ensayos debe estar compuesto por una malla de 6 mm de diámetro de varilla de acero sobre la cual descansa una plancha de hormigón armado, cubierta con pintura especial con forma de pasta y una superficie brillante y pulida, resistente a golpes, ignífuga y antideslizante.

Michael Plint en su libro *Engine Testing* recomienda construir un cimiento en la parte central de la sala de ensayos, conformado por un bloque sísmico de hormigón con malla cuyas dimensiones horizontales se establecen de acuerdo al espacio necesario por el motor y el dinamómetro y de profundidad de 500 mm, desde la altura del suelo hacia el interior de este; y que sirve para fijar los puntos de apoyo de la bancada que contiene el sistema motor – freno. El techo es de hormigón armado y esta igualmente aislado por fibra y chapa al igual que los muros.

3.4.4 Polipasto y viga

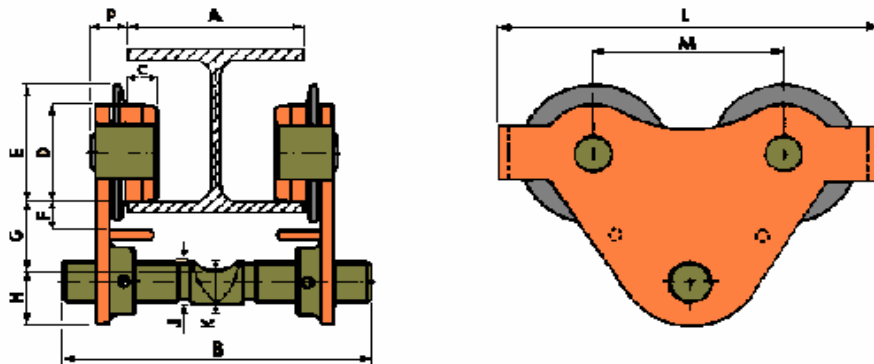
Debido a que es necesario instalar equipos de gran peso, ya sea en el momento del montaje del banco de pruebas o posteriormente cuando sea necesario el análisis de diferentes motores, es de gran importancia la disposición de un puente-grúa en cada sala de ensayos, capaz de soportar el peso mayor estimado. Para este caso el peso mayor corresponde a peso neto del motor seco con accesorios, el motor de mayor tamaño a colocar sería un motor Diesel de 350 b.h.p que según tabla de especificaciones de Cummins tiene un peso neto de 2520 Lbs. Este puente-grúa se puede clasificar como tipo II, por lo tanto el peso neto esta

afectado por un coeficiente de mayorero de 1.6, con lo cual la carga a soportar será de 4100 Lbs con esto se selecciona un carro manual de empuje para 2 ton.

El sistema a montar en cada sala de ensayos consiste en un puente-grúa ubicado en la parte central ya sea anclado al techo o con un carril lateral apoyado en columnas, esta conformado por una viga de perfil normalizado W 8 x 21 que soporta las cargas que levanta y traslada el polipasto acoplado a él, ver figura 27, y además sirve de viga-riel.

Figura 27 Carro manual de empuje para 2 toneladas de la firma SETIC S.L.

S.W.L. Ton	Modelo	A min-max	B	C	ØD	E	F	G	H	ØJ	ØK	L	M	P	Min. curve radius m.	Peso Kg.
2	20163	64-180	248	24	100	118	24	63	51	40	32	335	165	31	1.8	17.9
	20164	181-300	A+68													20.1



Fuente: Tomado del catálogo de SETIC S.L. de Internet www.setic.es

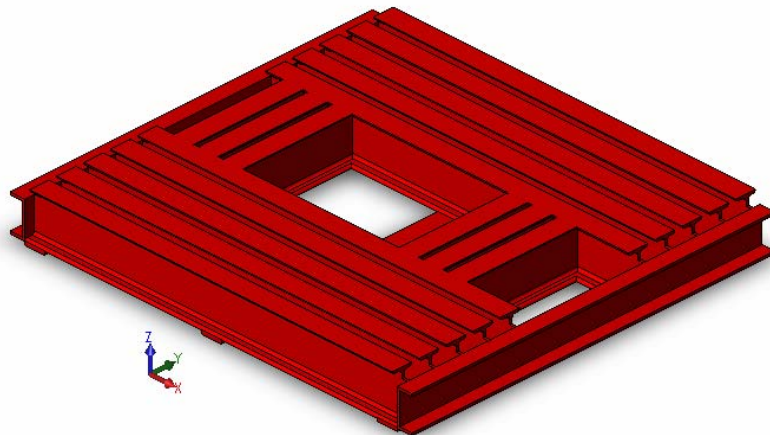
3.4.5 Bancada

El diseño de la bancada posee varios requerimientos, en primer lugar debe permitir el montaje y desmontaje del motor y el dinamómetro facilitando la alineación de estas dos máquinas, además de la instalación de subsistemas del motor como es el de refrigeración; en segundo lugar ésta debe ser capaz de absorber las vibraciones originadas por el sistema y más específicamente la de controlar la transmisión de vibraciones a la estructura de la sala y a todo el edificio, y por supuesto, evitar excesivos niveles de ruido con la amortiguación de las vibraciones.

Junto al diseño de la bancada se debe considerar que ésta es solidaria con el suelo, por lo tanto necesita de sistemas de aislamiento para separarse mutuamente y que puedan absorber las correspondientes vibraciones.

En lo que respecta al diseño de la bancada se considera que la solución actual que posee el laboratorio esta acorde con las necesidades de ubicación del motor y de resistencia, pero no posee un sistema de aislamiento de vibraciones. La bancada, figura 28, esta formada por 10 perfiles laminados en acero estructural ASTM-A36 tipo S8 x 18.4 y 2 perfiles angulares en sus extremos tipo L4 x 4 x 3/8; la densidad de este acero es 7860 kg/m^3 , obteniéndose una masa de la bancada de 771 kg.

Figura 28 Diseño actual de la bancada fabricada mediante soldadura de perfiles en acero estructural A36

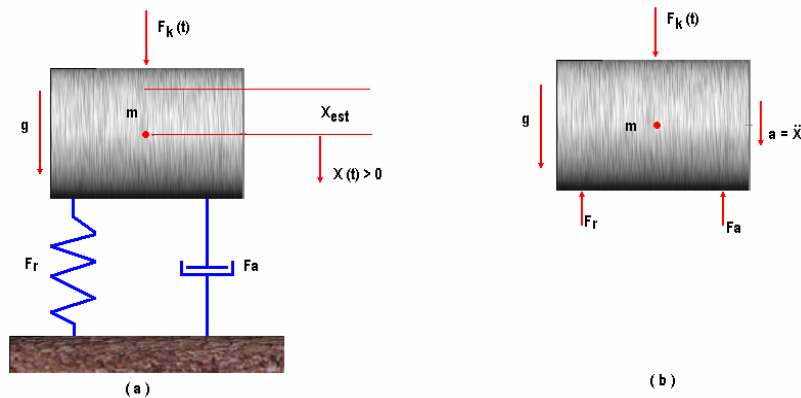


Fuente: LMTA con apoyo del software SOLID WORKS 2005

A pesar que un MCIA se modela como un sistema de seis grados de libertad para realizar el proceso de balanceo del cigüeñal, en el caso del diseño de la bancada, con el objeto de abolir la transmisión de vibraciones a piso, se puede considerar como un sistema de un grado de libertad, según *Engine testing theory and practice*, capítulo 5; que esquemáticamente se representa en la figura 29, para la cual se establece las siguientes variables:

- ❖ m : masa del sistema [Kg]
- ❖ k : constante de rigidez del resorte [$\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$]
- ❖ c : constante de amortiguamiento [$\text{N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-1}$]
- ❖ $F_k(t)$: fuerza alternativa de inercia [N]
- ❖ F_r y F_a : fuerza del resorte y del amortiguador respectivamente [N]
- ❖ x : desplazamiento del centro de gravedad respecto a la posición de equilibrio estático [m]
- ❖ x_{est} : deformación en la condición de equilibrio estático

Figura 29. Esquematización del banco de pruebas de un grado de libertad (a) y diagrama de cuerpo libre del sistema (b).



Fuente: PLINT Michael. Engine Testing Theory and practice. Inglaterra. Butterworth Heinemann. 1995. p 70

Si realizamos sumatoria de fuerzas en la dirección vertical según la segunda ley de Newton obtenemos la ecuación diferencial que define el movimiento de la masa

$$F_k(t) + mg - kx - kx_{\text{est}} - c\dot{x} = m\ddot{x} \quad \text{Ecuación 4}$$

Pero el objeto del diseño es buscar la condición de equilibrio estático, o sea:

$$mg - kx_{\text{est}} = 0 \quad \text{Ecuación 5}$$

La ecuación diferencial que define el movimiento de la masa equivalente a la fuerza ejercida por el montaje con la aceleración de la masa quedaría como:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + kx = 0 \quad \text{Ecuación 6}$$

Una solución a la ecuación es $x = (\text{constante}) \sin \sqrt{\frac{k}{m}} t$

La velocidad angular de resonancia es $k/m = w_o^2$ y la frecuencia natural es

$$\eta_o = \frac{w_o}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad \text{Ecuación 7}$$

La deflexión estática bajo la fuerza de gravedad es $= mg/k$, la cual representa una variedad de expresiones convenientes para la frecuencia natural de vibración:

$$\eta_o = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{\text{deflexión. estática}}} \quad \text{Ecuación 8}$$

Si la deflexión estática esta en milímetros:

$$\eta_o = \frac{15.76}{\sqrt{\text{deflexión. estática}}} \quad \text{Ecuación 9}$$

Luego considerando el caso en que la masa m esta sujeta a una fuerza de excitación de amplitud f y frecuencia de $w/2\pi$, la ecuación de movimiento queda:

$$m \frac{d^2}{dt^2} + kx = f \cdot \text{sen} wt$$

Para el estado estable la amplitud de oscilación es dada por:

$$x = \frac{f/k}{(1 - w^2/w_o^2)} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde f/k es la deflexión estática del montaje bajo la aplicación de la carga f .

Como es bien conocido la amplitud es teóricamente infinita en resonancia $w=w_o$

Si el sistema combina elementos con el objeto de lograr una amortiguación viscosa, la ecuación se convierte en:

$m \frac{d^2 x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx = f \cdot \sin \omega t$ Donde c es el coeficiente de amortiguación, la solución para estado estable es:

$$x = \frac{f / k}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_o^2}\right)^2 + \frac{c^2 \omega^2}{m^2 \omega_o^4}}} \sin(\omega t - A) \quad \text{Ecuación 11}$$

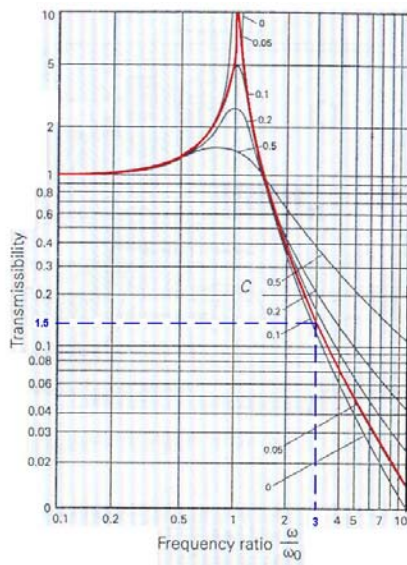
Si se define la relación adimensional de amortiguamiento como $C^2 = c^2 / 4mk$

La ecuación se puede escribir como:

$$x = \frac{f / k}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_o^2}\right)^2 + 4C^2 \frac{\omega^2}{\omega_o^2}}} \sin(\omega t - A) \quad \text{Ecuación 12}$$

La amplitud de la oscilación esta dada por la primera parte de esta expresión la cual esta dibujada en la figura 31 junto con la curva de condición no amortiguada, con respecto al coeficiente de transmisibilidad, que es la relación entre la fuerza transmitida al piso y la fuerza alternativa de inercia.

Figura 30. Relación entre transmisibilidad y frecuencia



Fuente: PLINT Michael. Engine Testing Theory and practice. Inglaterra. Butterworth Heinemann. 1995. p 72

Si se utiliza un montaje con caucho natural flexible que tiene un elemento de amortiguamiento interno (histéresis) el cual corresponde aproximadamente a un grado de amortiguamiento viscoso de $C=0.05$. Una muy buena consideración práctica es diseñar el sistema tal que la mínima velocidad que la maquina rota no es menor de tres veces la frecuencia natural, correspondiendo a una transmisibilidad de alrededor de 0.15 (tomado de *Engine Testing, Theory and Practice*. De Michael Plint, página 72 y 73).

La velocidad mínima de rotación de un MCIA esta alrededor de 14 hz (840 RPM), esto corresponde a una velocidad angular de 88 rad. S^{-1} La frecuencia natural será $w_o = w/3$, o sea $w_o = 88/3 = 29.33 \text{ rad. S}^{-1}$

Reemplazando en la ecuación 12 queda y despejando la constante de rigidez del sistema amortiguador total se obtiene:

$$k_T = (29.33)^2 \cdot m_T \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde m_T es la masa total compuesta por las masas de la estructura metálica donde descansa el motor (bancada), la del motor, la del dinamómetro y otros dispositivos del motor.

$$m_T = (771 + 1143 + 1300 + 50) \text{ Kg} = 3254 \text{ Kg}$$

Reemplazando el valor de la masa total en la ecuación 13, entonces obtenemos:

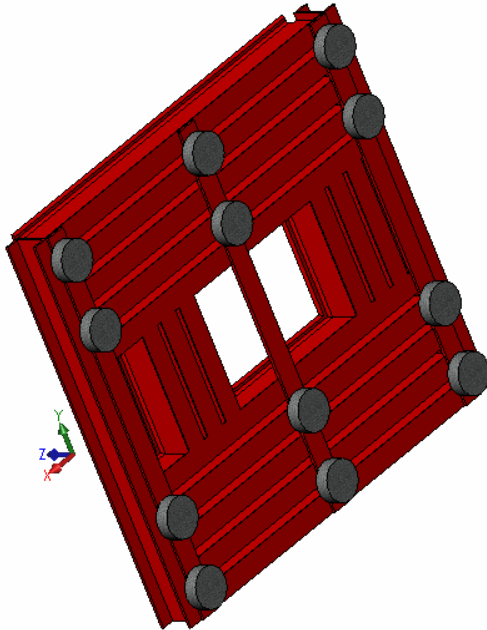
$$k_T = (29.33)^2 \times 3254 = 2799250 \text{ N/m}$$

Se utilizaran 12 cauchos uniformemente distribuidos en la vista inferior de la bancada (figura 31), por lo tanto la constante de rigidez de cada caucho es:

$$k_T = (2799250/12) \text{ N/m} = 466541 \text{ N/m}$$

Se necesita fabricar doce cauchos cuyas constantes de rigidez elástica sea de 2.33×10^5 N/m de sección cilíndrica cuyo diámetro por altura sea de 150 x 50 mm.

Figura 31. Ubicación del sistema de absorción de vibraciones en la bancada



Fuente: El autor con apoyo del software SOLID WORKS 2005

3.4.6 Foso

Con el objeto de permitir la ubicación segura de ductos, ya sea de agua, de combustible y de instalaciones eléctricas, se fabrica un foso alrededor del cimiento de 500 mm de profundidad y un ancho de 400 mm. Éste se tapa con una rejilla conformada por platinas calibre 19 y 40 mm de lado y barra corrugada PDR-60 de 3/8 pulgadas, unidas a perfiles normalizados en L de 1 x 1 x 1/8 pulgada.

En el interior del foso se instalan conductos de circulación agua, desagüe y combustible, canaletas de PVC de 120 x 80 mm para el paso de los cables eléctricos de la instalación, situadas en la parte superior del foso y alejadas lo máximo posible de los conductos de combustible.

4. REDISEÑO DE LA PLANTA FISICA DEL LMTA

El planteamiento del proyecto de grado incluye la instalación de nuevas salas de ensayos y, por lo tanto, la reubicación de las ya existentes, además de la posibilidad de disponer de nuevos servicios del laboratorio como serian la de un aula de clase, una biblioteca, una sala de computo y de una oficina tanto para el profesor titular como para los auxiliares de laboratorio.

El rediseño se ha realizado con base a una ***planificación sistemática de la distribución (SLP)*** la cual plantea la realización de una distribución de planta en cuatro fases: (I) Localización, (II) Distribución General, (III) Distribución Pormenorizada e (IV) Instalación. El alcance del presente proyecto va hasta la tercera fase, la cuota se llevaría a cabo en un proyecto posterior si la inversión es aprobada por la universidad.

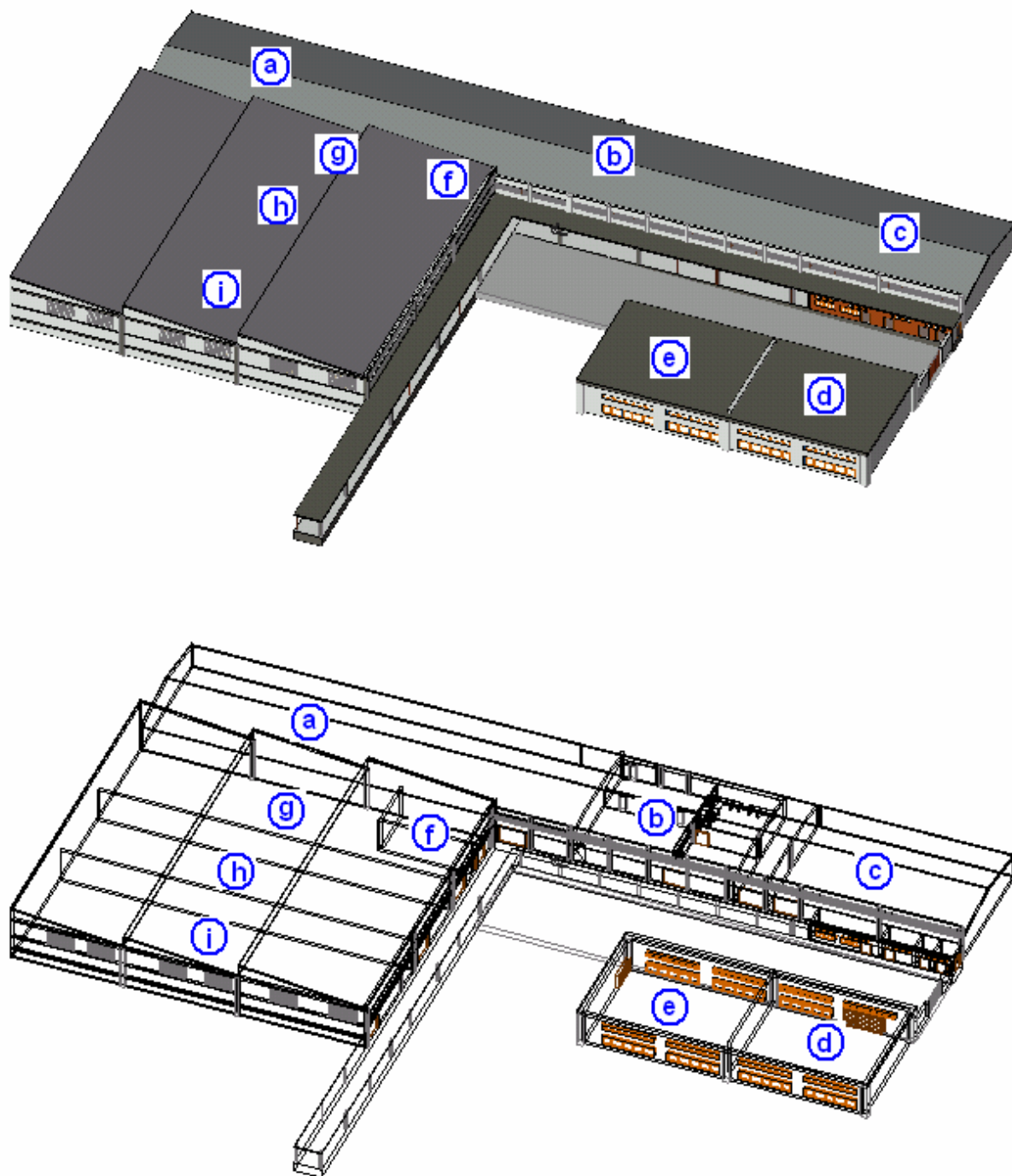
4.1 LOCALIZACIÓN

La propuesta de modernización se encuentra localizada en la misma área donde actualmente esta el Laboratorio de Máquinas Térmicas Alternativas (LMTA), objeto de este proyecto; forma parte de la **Escuela de Ingeniería Mecánica**, que se encuentra ubicada en el edificio del mismo nombre en el campus de la **Universidad Industrial de Santander (UIS)**.

Este edificio además de las dependencias administrativas y académicas se encuentra la de laboratorios, figura 32, como son: de Gases (a), de Motores (b), de Sistemas Oleoneumáticos (c), Laboratorio FMS (d), de Fluidos (e), Subestación para la red eléctrica del los laboratorios (f), Taller (g), Laboratorio de Máquinas Térmicas (h) y el de Máquinas Hidráulicas (i).

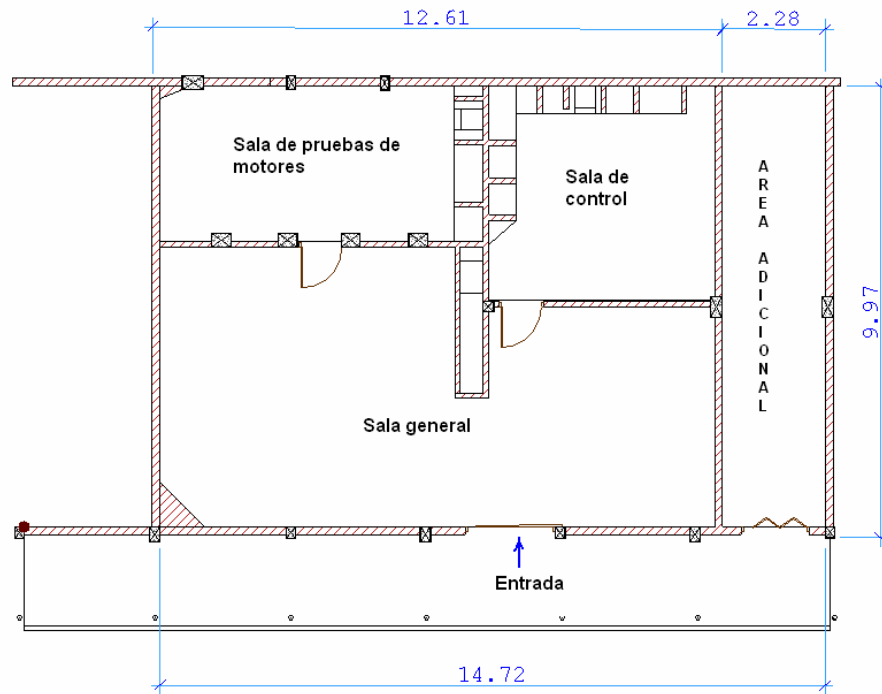
El área actual es de 125 m², pero se espera adicionar el espacio anexo a la izquierda del laboratorio, entonces el área total sería de 147 m², figura 33.

Figura 32. Ubicación del LMTA respecto a los otros laboratorios de la Escuela de Ing. Mecánica.



Fuente: Representación realizada en el software ArchiCAD V9 por el autor

Figura 33. Plano del Laboratorio de Motores



Fuente: El autor

4.2 DIAGRAMA DE LA DISTRIBUCIÓN DE PLANTA

4.2.1 Determinación del flujo

Una base fundamental para la planificación de la distribución de planta es el diagrama de flujo, aunque para este caso no se tenga la elaboración de productos ni un flujo de materiales; si se considera de utilidad, porque indica las posibles líneas de circulación y la necesidad o no de movimiento de equipos o herramientas.

En la figura 34 se ha mostrado este diagrama del cual se observa que existen dependencia de funciones muy diferentes, por lo tanto las personas que ingresan al laboratorio deben tener la opción de escoger su destino. Además las necesidades de cambios de espacio durante la ejecución de las pruebas de laboratorio en la celda de pruebas de motores.

```
graph TD
    A[Entrada al laboratorio] --> B[Entrada a la sala de control según pruebas a realizar en motor DIESEL, a gasolina de 4 tiempos o a gasolina de 2 tiempos]
    A --> C[Paso a la sala de bancos de laboratorio, a la zona de mantenimiento, a la sala de comuto, a la biblioteca, a la oficina o al salón de exposiciones]
    B --> D[Encendido sistema de aire acondicionado de la sala de pruebas desde sala de control]
    D --> E[Paso a la sala de pruebas]
    E --> F[Revisión nivel de aceite y sistema de refrigeración del motor y disponibilidad de combustible]
    F --> G[Ubicar el almacenaje del aceite o líquido refrigerante para el motor]
    F --> H[Adicionar el aceite o el refrigerante al motor según lo que necesite]
    G --> I[Revisión del estado de la sala (sensores, equipo análisis de emisiones, equipo de control de aire de admisión y medición de consumo combustible) y del Neutro de la caja de cambios]
    H --> I
    I --> J[Paso a la sala de control]
    J --> K[Encendido del computador y ejecución del software para las pruebas propias del laboratorio]
    K --> L[Encendido del motor desde la sala de control]
    L --> M[Tiempo de espera para que el motor alcance una temperatura del sistema de refrigeración de 80°C]
    M --> N[Ejecución de la prueba de potencia del motor, de consumo de combustible, relación A/F, eficiencia del sistema y análisis de gases de escape]
    N --> O[Apagado del motor y apagado del computador]
    O --> P[Apagado sistema de aire acondicionado de la sala de pruebas]
    P --> Q[Paso a la sala de pruebas]
    Q --> R[Revisión del estado de la sala de pruebas]
    R --> S[Paso a otra sala o salida del laboratorio]
```

Entrada al laboratorio

Paso a la sala de bancos de laboratorio, a la zona de mantenimiento, a la sala de comuto, a la biblioteca, a la oficina o al salón de exposiciones

Entrada al la sala de control según pruebas a realizar en motor DIESEL , a gasolina de 4 tiempos o a gasolina de 2 tiempos

Encendido sistema de aire acondicionado de la sala de pruebas desde sala de control

Paso a la sala de pruebas

Revisión nivel de aceite y sistema de refrigeración del motor y disponibilidad de combustible

Ubicar el almacenaje del aceite o líquido refrigerante para el motor

Adicionar el aceite o el refrigerante al motor según lo que necesite

Revisión del estado de la sala (sensores, equipo análisis de emisiones, equipo de control de aire de admisión y medición de consumo combustible) y del Neutro de la caja de cambios

Paso a la sala de control

Encendido del computador y ejecución del software para las pruebas propias del laboratorio

Encendido del motor desde la sala de control

Tiempo de espera para que el motor lacance una temperatura del sistema de refrigeración de 80°C

Ejecución de la prueba de potencia del motor, de consumo de combustible, relación A/F, eficiencia del sistema y análisis de gases de escape

Apagado del motor y apagado del computador

Apagado sistema de aire acondicionado de la sala de pruebas

Paso a la sala de pruebas

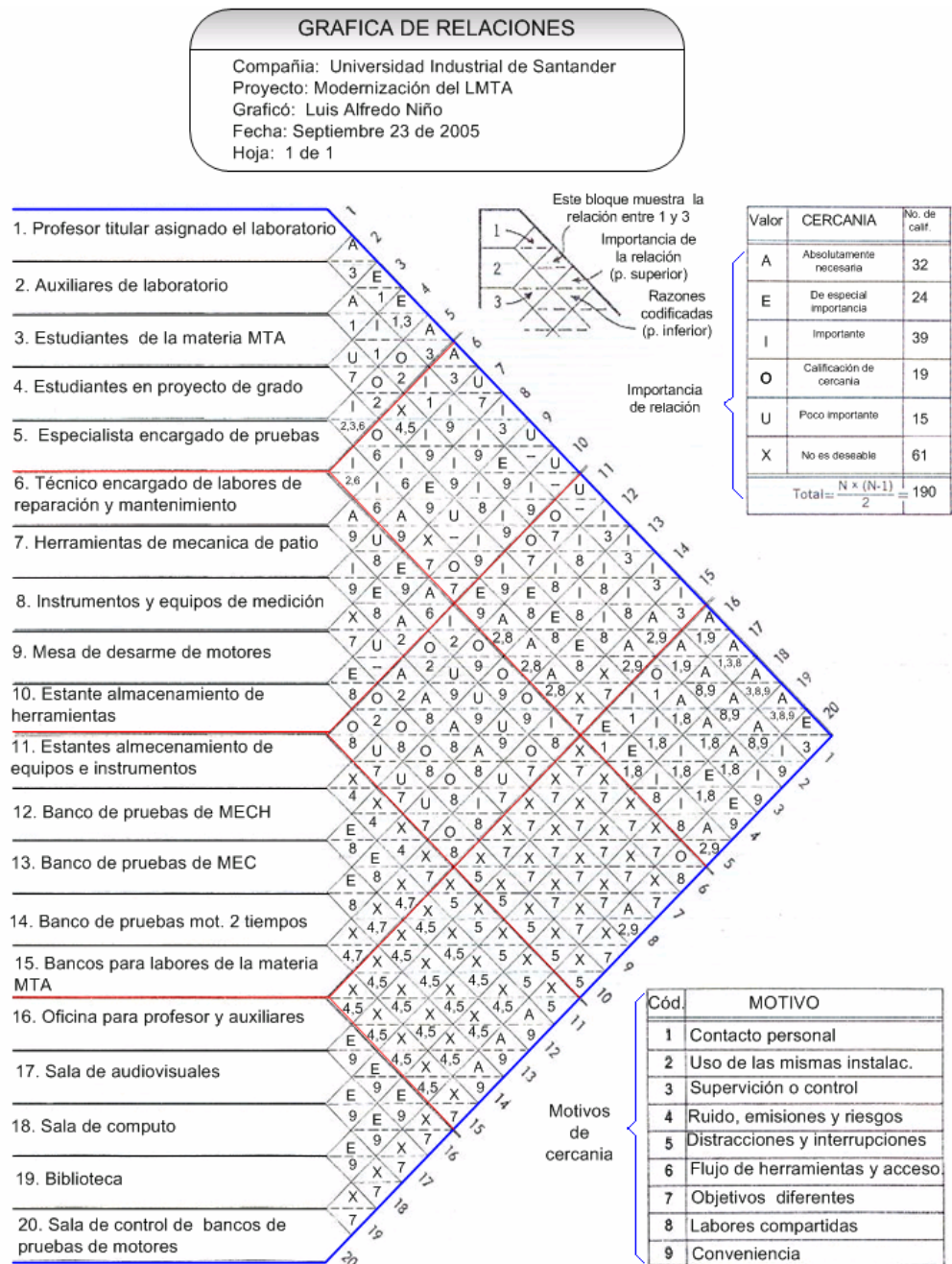
Revisión del estado de la sala de pruebas

Paso a otra sala o salida del laboratorio

4.2.2 Diagrama de relaciones

85

Figura 35. Diagrama de relaciones para todas las secciones del laboratorio



Fuente: MUTHER, Richard. Systematic layout planning. USA. Cahners books company, Inc. 1976. p 5-2

4.2.3 Requerimientos de espacio

Los requerimientos de espacios se consigna en la tabla 6.

Tabla 6. Especificaciones de espacio para la distribución de planta del LMTA

AREA DE ACTIVIDAD Y HOJAS DE CARACTERISTICAS			CARACTERISTICAS						
No de actividad	Nombre de la actividad	Área (m)	Altura superior libre (m)	Anchos de pared (m)	Riesgo de incendio o explosión	Ventilación especial	Electrificación especial	Cimientos o fosos	Requerimiento especial
1..2	Sala prueba MECH y MEC (cada uno de ellos)	5.5x3.5	3	0.3	Alta	Si	110 V	Si	Instalación de equipos y conductos
3	Sala prueba M2T	1.5x1.5	3	0.3	Alta	Si	110 V	Si	Instalación ductos
4..5	Sala control MECH y MEC	2x 1.5	2.5	0.3	Alta	Si	110 - 220 V	No	Computador, equipos ...
6	Sala de control M2T	1.5X1.5	2.5	0.20	Alta	Si	110-220 V	No	Computador, equipos ...
7	Banco encendido	2.4x1.5	2.5	0.20	Alta	Si	No	No	Extracción de humos contaminantes
8	Banco motores Diesel	1.5x1	2.5	0.20	Alta	Si	No	No	Humos contaminantes
9	Banco planta electrógenos	2.5x1.5	2.5	0.20	Alta	Si	220 V	No	Espacio adicional de mantenimiento (2x1 m)
10	Banco Motores gasolina	2x2	2.5	0.20	Alta	Si	110 V	No	Humos contaminantes
11	Motor Diesel en corte	1x1	2.5	0.15	Baja	No	No	No	Posibles traslados
12	Banco inyección gasolina	1.5x1.3	2.5	0.20	Alta	No	110 V	No	No
13	Área mantenimiento	2.5x2	2.5	0.20	Alta	Si	110-220 V	No	Servicios de agua y manejo de químicos
14	Almacenamiento herramientas	2x0.5	1.5	0.15	No	No	No	No	Dispensador adecuado
15	Almacenamiento equipos	3x2	1.5	0.15	Media	No	No	No	Dispensador adecuado
16	Sala audiovisuales	8x5	2.5	0.15	Media	Si	110 V	No	40 estudiantes y un profesor
17	Sala de computo	5x2.5	2.5	0.15	Alta	Si	110 V	No	10 estudianes
18	Biblioteca	5x2.5	2.5	0.15	Alta	Si	110 V	No	10 estudiantes
19	Oficina profesor	3x5	2.5	0.15	Media	Si	110 V	No	Escritorio y computador
20	Oficina auxiliar	2x2	2.5	0.15	Media	No	110 v	No	Escritorio y computador

Fuente: El autor

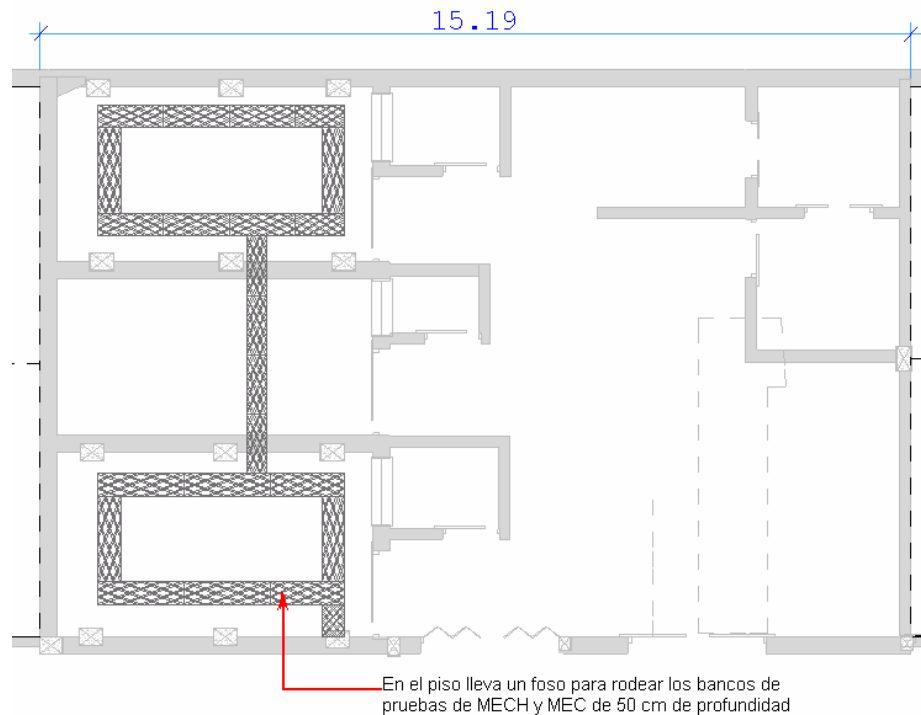
4.2.4 Propuesta de distribución de planta

De acuerdo a los diagramas de flujo y de relaciones, así como la tabla de los requerimientos de espacio, se propone una distribución de planta que se detalla en planos dispuestos en el anexo D; en esta sección se muestra en forma general.

a) Cimiento del laboratorio

En el cimiento del laboratorio se ubica un foso de sección 500 x 500 mm para el paso de energía fluida y eléctrica, figura 37.

Figura 36. Vista de planta del cimiento para el laboratorio.



NOTA: La figura en sombra corresponde a la construcción del primer piso

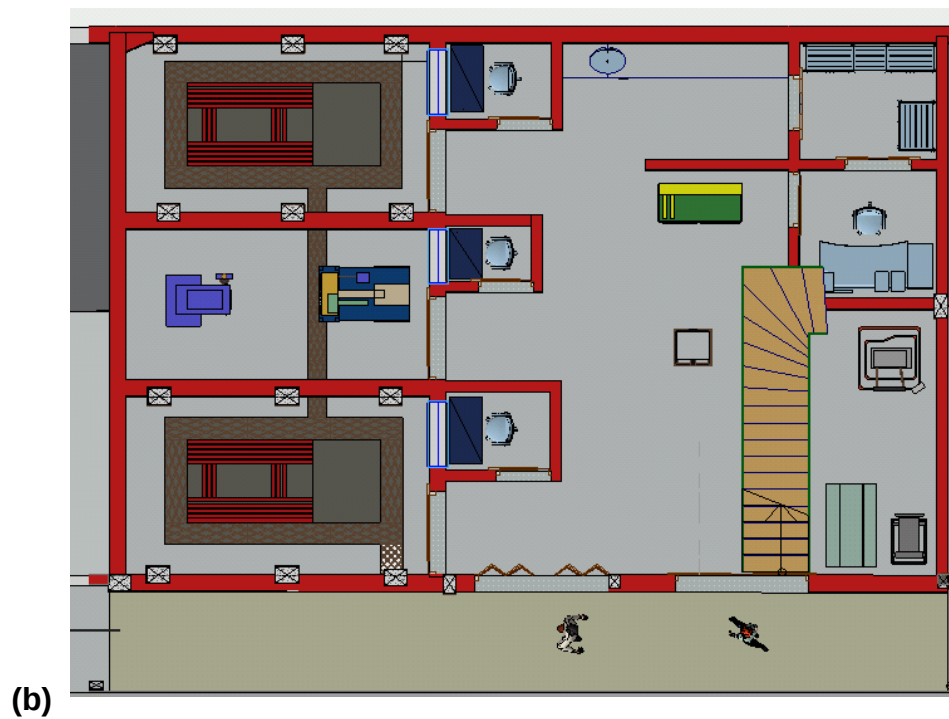
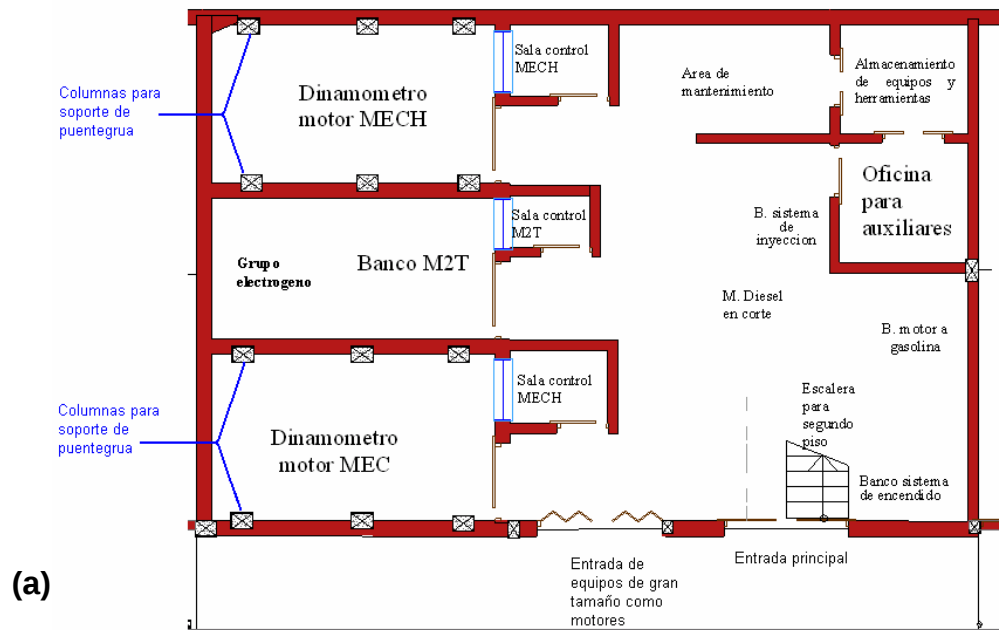
Fuente: El autor con apoyo del software ARCHICAD V7

b) Primer piso del área de laboratorio

En este piso se ubican las salas de pruebas de motores, los bancos actuales utilizados para el laboratorio de los estudiantes, las herramientas y los equipos

utilizados por personal técnico y estudiantes y una oficina del auxiliar, figura 37.

Figura 37. Distribución de planta del primer piso y la designación de espacios (a) y en (b) la ubicación de bancos y mobiliario correspondiente.

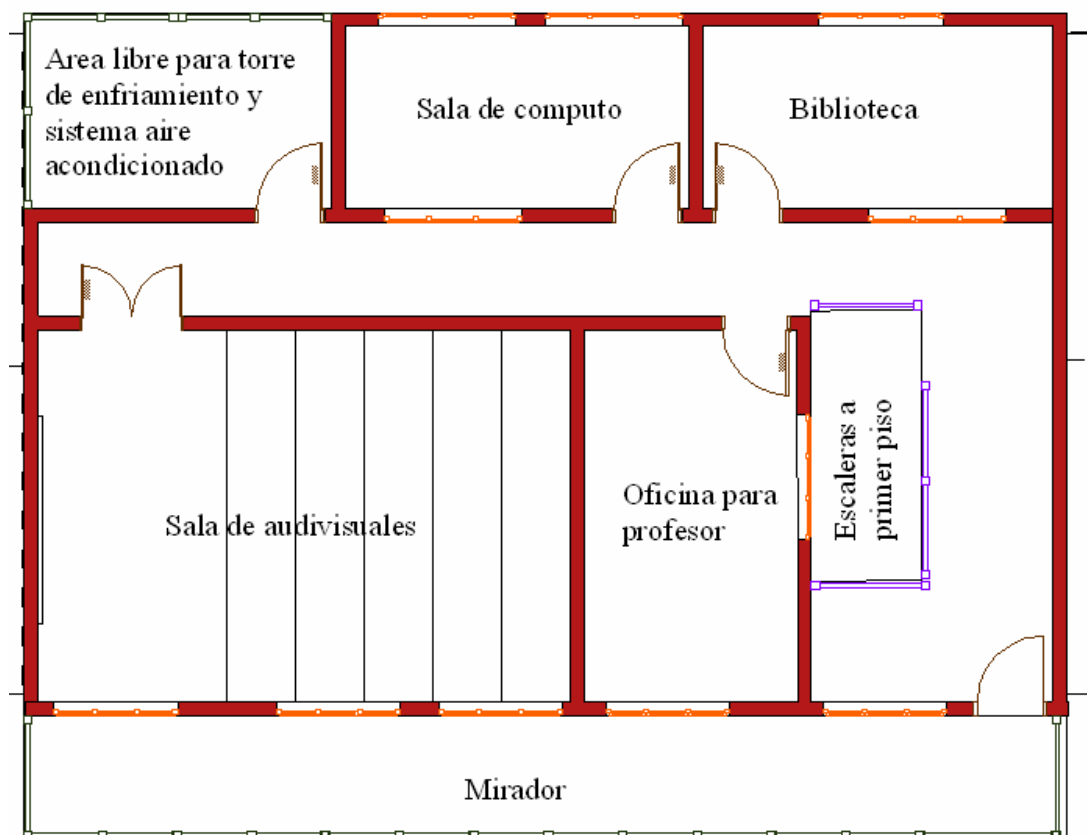


Fuente: El autor con apoyo del software ARCHICAD V7

c) Segundo piso o área académica

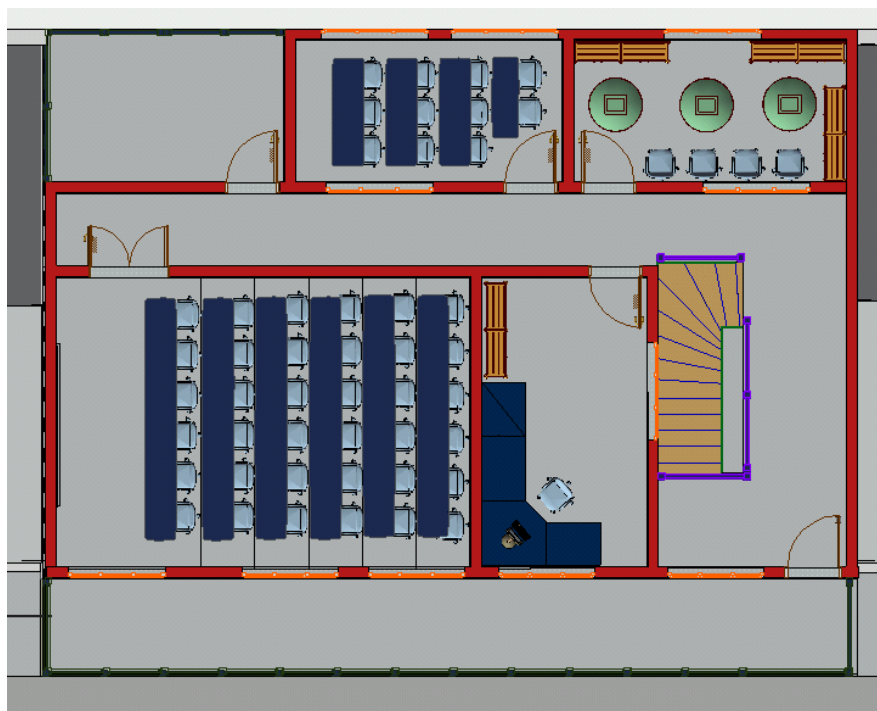
En el segundo piso (figura 38 y 39), que se tiene acceso por escaleras, esta ubicada la oficina principal para el profesor, una biblioteca destinada a consulta de estudiantes de pregrado y postgrado, una sala de computo para los estudiantes en laboratorio o de consultores y una sala de audiovisuales utilizado para las clases de la materia “Maquinas Térmicas Alternativas” y para exposiciones sobre este tema o para presentar progresos y resultados obtenidos en las salas de pruebas de motores. La figura 40 presenta una toma tridimensional de la fachada del laboratorio.

Figura 38. Distribución de planta del segundo piso mostrando la designación de espacios.



Fuente: El autor con apoyo del software ARCHICAD V7

Figura 39. Distribución de planta del segundo piso mostrando el mobiliario utilizado.



Fuente: El autor con apoyo del software ARCHICAD V7

Figura 40. Fachada de la propuesta de modernización del LMTA.



Fuente: El autor con apoyo del software ARCHICAD V7

4.3 DIAGRAMA ELÉCTRICO

En el anexo D se presenta el plano de alumbrado eléctrico propuesto y el plano de tomas eléctricas necesarias para cada una de las secciones del laboratorio para cada uno de los pisos.

4.4 PRESUPUESTO NECESARIO

A continuación se presenta la tabla 7 con los elementos principales que conforman esta propuesta con sus respectivos costos directos, los siguientes son precios suministrados a Enero 20 de 2006 por **J. PEÑA, AMODULAR, AMOBLAMIENTO INTEGRAL PARA OFICINAS.** y de catalogo de **DELL COMPUTER.**

Tabla 7. Presupuesto general para la propuesta de modernizacion del LMTA

CANTIDAD	DESCRIPCION	DIMENSIONES EN METROS	VALOR TOTAL
6	SUPERFICIE DE TRABAJO 0.025	0.5 x 1.5	675000
4	SUPERFICIE DE TRABAJO 0.025	0.5 x 2.5	700000
6	SUPERFICIE DE TRABAJO 0.025	0.5 x 4.6	1932000
32	SOPORTE LATERAL		1600000
3	SUPERFICI CIRCULAR DE TRABAJO DE 0.025	R 0.5 M	150000
55	SILLA ERGONÓMICA		5500000
4	BIBLIOTECAS	0.3 x 2	1000000
13	COMPUTADOR DE ESCRITORIO		26000000
TOTAL			37557000

Fuente: J. PEÑA, AMODULAR y DELL COMPUTER

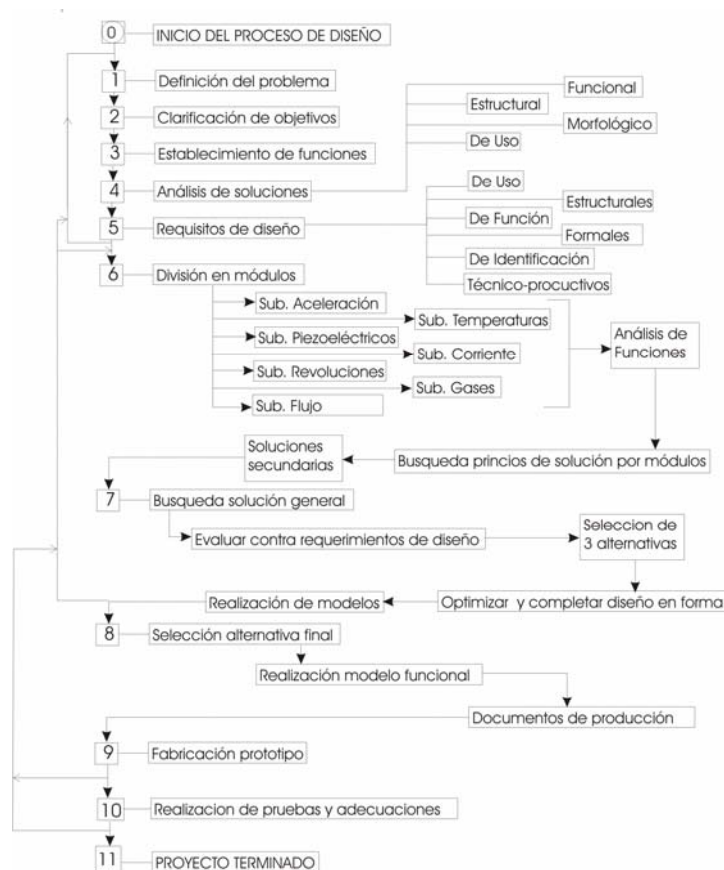
5. DISEÑO Y FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO PARA EL PROYECTO DIAGMA D-100

El proyecto DIAGMA D-100 consiste en un proyecto de investigación bajo convenio COLCIENCIAS-CINTEL cuyo objetivo es el diagnóstico de motores DIESEL mediante pruebas no intrusivas; este proyecto se desarrolló en el LMTA y se realizaron actividades prácticas en CODISEL.

5.1 PROCESO DE DISEÑO

El proceso de diseño seguido es el definido en la figura 42.

Figura 41. Proceso de diseño aplicado en el desarrollo del prototipo



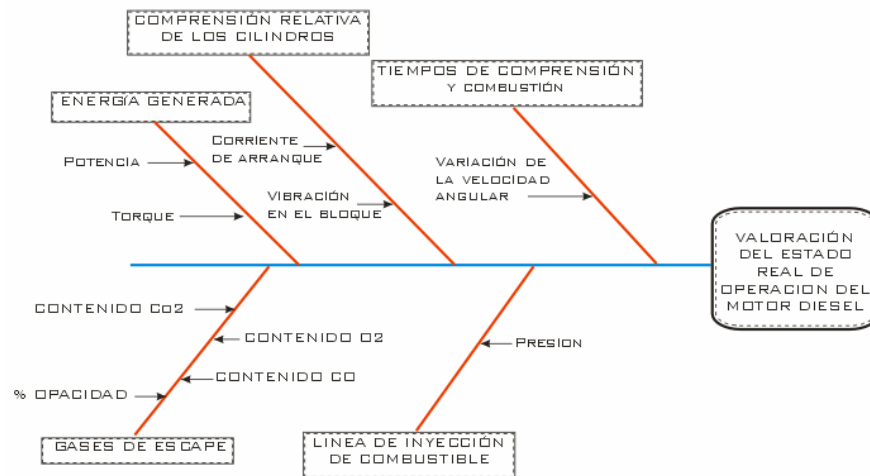
Fuente: El autor

5.1.1 Definición del problema

Teniendo establecidas todas las técnicas a desarrollar en el proyecto DIAGMA D-100, tanto en la parte teórica como en la instrumentación necesaria, se requiere la consecución de un equipo que permita integrarlas, no solo en lo formal sino también en lo funcional. La definición en términos generales del problema a resolver comprende lo siguiente:

- ❖ Generar un prototipo con el cual se pueda implementar las técnicas no intrusivas expresadas en el proyecto DIAGMA D-100.
- ❖ El Equipo DIAGMA D-100 comprende de seis técnicas diferentes, cada una cuenta con características particulares y características compartidas, con un fin común: valorar el estado de operación de motores Diesel. Por consiguiente se hace necesario que a pesar de sus diferencias se encuentren integradas bajo una coherencia funcional y formal, cumpliendo además con los fundamentos ergonómicos y de seguridad industrial establecida por la norma colombiana ICONTEC 1819 y similar.
- ❖ La finalidad del proyecto de diseño es la de estructurar en una unidad todas las técnicas del proyecto DIAGMA D-100, las cuales se pueden organizar y procesar según el Diagrama de pescado de la figura 43.
- ❖ El equipo se diseñara de acuerdo a los requerimientos implantados por las organizaciones que desarrollan el proyecto “Diseño y Construcción de un Prototipo de Monitoreo y Diagnostico de motores Diesel”.
- ❖ El proceso de diseño del equipo, tanto en lo forma, funcional y proceso de construcción se realiza en la Escuela de Ingeniería Mecánica, junto con la colaboración de la Escuela de Diseño Industrial; de la Universidad Industrial de Santander.

Figura 42. Diagrama de pescado de las técnicas a realizar en el DIAGMA D-100



Fuente: El autor

5.1.2 Clarificación de objetivos

Los objetivos para el equipo a diseñar fueron acordados mediante un proceso de *Brainstorming* desarrollado por los integrantes del proyecto y por encuesta verbal a posibles usuarios, los cuales se graficaron y se muestran en la figura 43.

5.1.3 Establecimiento de funciones

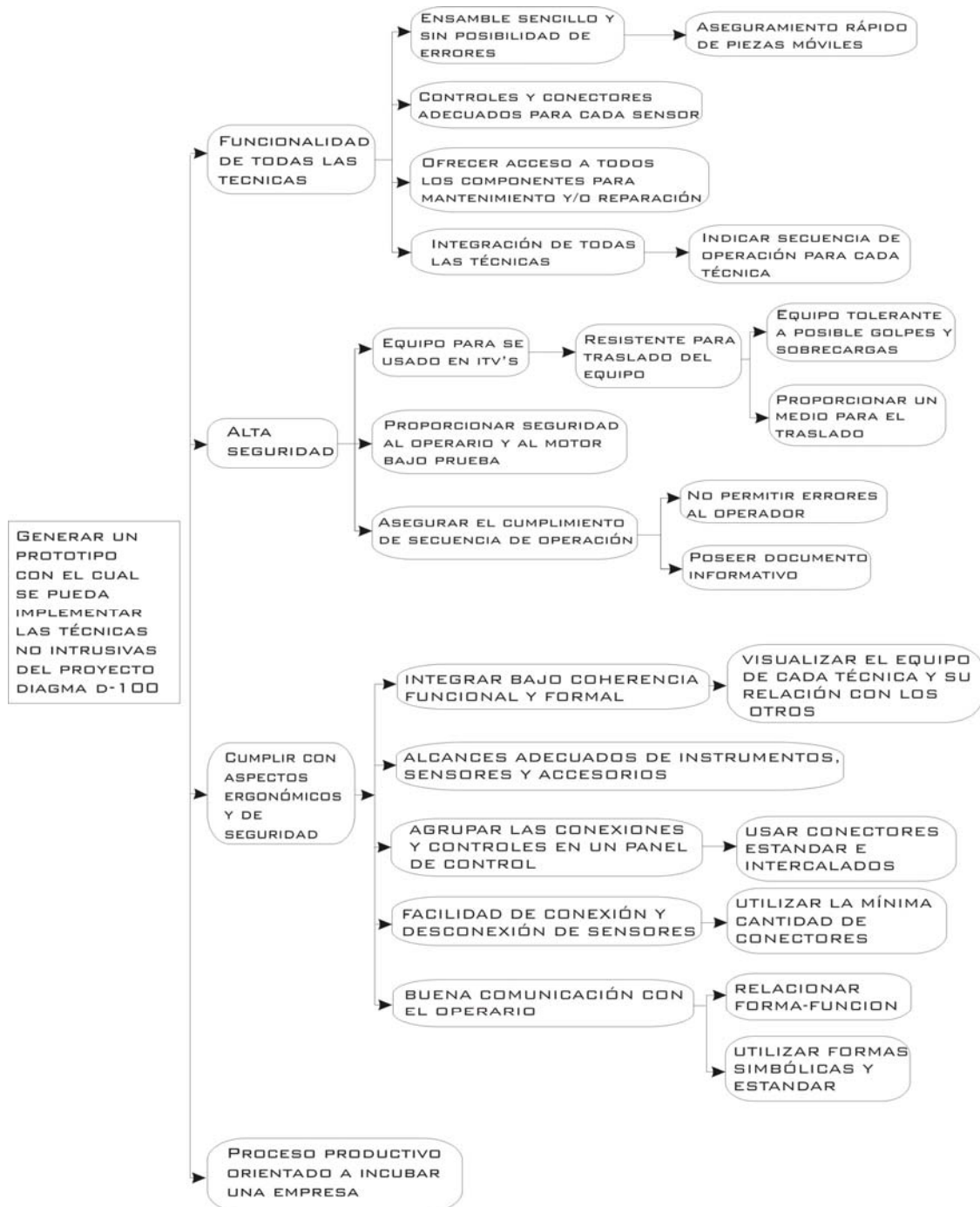
Las funciones a desarrollar en el equipo DIAGMA D-100 son las mostradas en la figura 44.

5.1.4 Análisis de soluciones existentes

Existen diversas empresas que tienen por función social el diseño de equipos para el mantenimiento y diagnóstico de motores alternativos, como son Bosch, AVL, SuperFlow, HPA Simpesfaip, entre otros. La diferencia fundamental entre las soluciones ofrecidas por esas empresas y la que se programa diseñar en el presente proyecto consiste en que estos equipos están orientados para funciones específicas (como el análisis de gases de escape, las pruebas de potencia, análisis sistema eléctrico,) y no cubren todas las técnicas necesarias para realizar

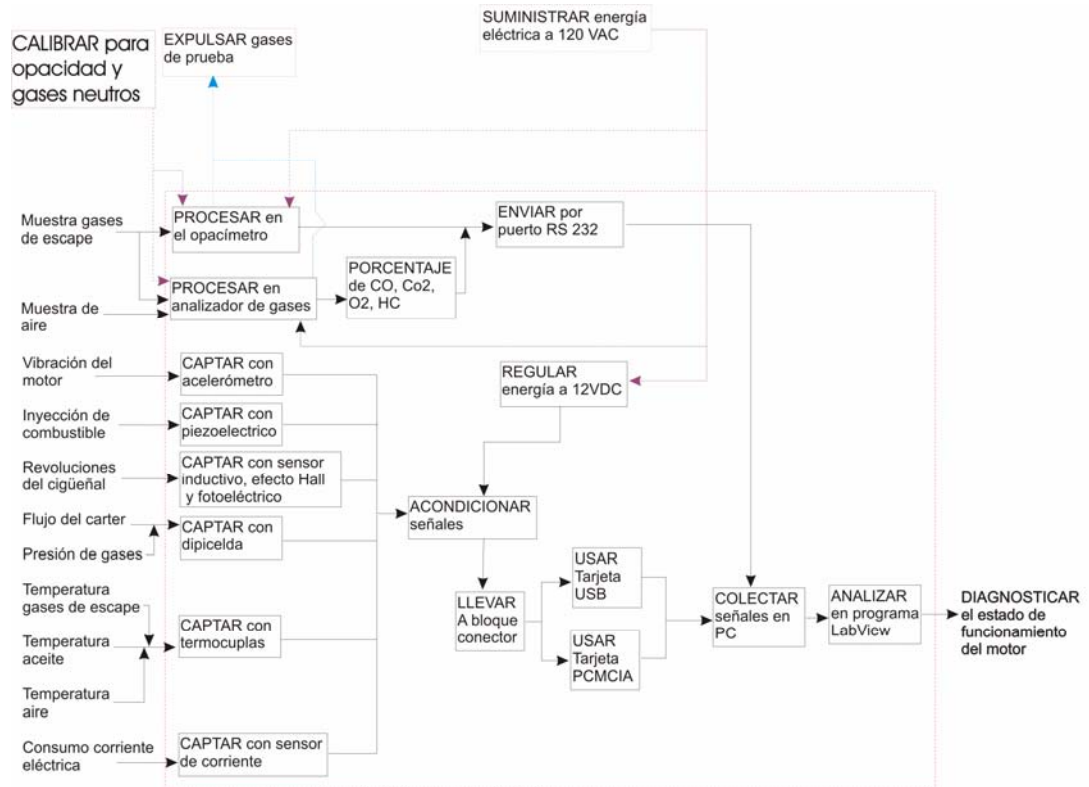
un diagnóstico total de los MCIA. Un ejemplo es el de la figura 45.

Figura 43. Árbol de objetivos



Fuente: El autor

Figura 44. Diagrama de funciones del equipo



Fuente: El autor

Figura 45. A la izquierda el equipo de análisis de motores de AVL y a la derecha el de BOSH



Fuente: Página WEB de AVL y BOSH

5.1.5 5. requerimientos de diseño

A. Requerimientos de uso.

- ❖ Debe considerarse la posibilidad de cambio de ubicación del sitio de diagnóstico, el equipo debe tener facilidad de cargarlo y descargarlo de un medio de transporte.
- ❖ Facilidad para maniobrarlo y realizar las pruebas por una sola persona.
- ❖ Debe contemplarse las limitaciones biomecánicas del usuario, ubicando cada componente de forma que permita una fácil manipulación.
- ❖ Se debe implantar los fundamentos ergonómicos para el diseño de sistemas de trabajo, tal como lo expresa la norma ICONTEC 1819.
- ❖ Se debe ofrecer seguridad al usuario, de forma que el equipo no entrañe riesgos físicos.
- ❖ Ubicación de componentes según su función en cada técnica aplicada.
- ❖ Adecuada relación dimensional (antropométrica) teniendo en cuenta que el usuario estará de pie durante la realización de las pruebas.
- ❖ Debe adecuarse los elementos en forma segura, si se necesita extraer alguno de ellos que implique algún procedimiento de aprobación.
- ❖ La disponibilidad nocturna debe preservarse, por lo cual debe contar con fuente de iluminación propia.
- ❖ La manipulación durante el transporte debe ser la mínima posible, por si mismo se estabilice. Posible transporte en vehículo automotriz o en camioneta.
- ❖ Debe contemplarse la posibilidad de movimiento del equipo durante la realización de las pruebas, por lo tanto debe poseer un mecanismo o sistema de movimiento.
- ❖ Considerar la situación en la cual otras personas, diferente al realizador de la prueba, observen en tiempo real los resultados obtenidos.
- ❖ Utilizar la filosofía de conexiones “anti-error”, con lo cual si el usuario no utiliza los conectores adecuados no se pueden acoplar.

- ❖ Tener en cuenta la disponibilidad de los elementos de seguridad para la manipulación de accesorios en las diferentes pruebas, ya que en el medio se pueden encontrar con superficies a alta temperatura o con elementos en movimiento.
- ❖ Estudiar la posibilidad de ubicación de sensores en un panel frontal para la adecuada captación de éstos por parte del usuario.

B. Requerimientos de función.

- ❖ El principio de funcionamiento de los sensores y sistemas de adquisición de datos deben ser proporcionados por el mismo equipo, por lo cual debe disponer de fuente de energía propia.
- ❖ Debe tomarse en cuenta los esfuerzos generados durante el transporte del equipo y en su manipulación.
- ❖ Debe utilizarse principios de funcionamiento mecánico, que faciliten la utilización del equipo en forma autónoma.
- ❖ Se debe estudiar la posibilidad de versatilidad en el cableado de los sensores, y en cantidad suficiente para situaciones diversas.
- ❖ El acabado del producto debe conservar principios de coherencia interfigural e intrafigural, utilizando la cantidad mínima de colores.

C. Requerimientos estructurales.

- ❖ Tomar en cuenta la disposición y almacenamiento de los accesorios necesarios para algunas pruebas, como el caso de la medición de flujo de gas (tubos de 4" de diámetro, soportes, acoples, elementos de alcance para tubería de escape, pipeta de gas de calibración).
- ❖ Debe considerarse la ubicación de los instrumentos de acuerdo a su similitud funcional y momento de utilización.
- ❖ Los componentes que conforman el equipo son: opacímetro, equipo analizador de gases de escape, sensores (acelerómetro, sonda hall, piezoeléctricos, fotoeléctrico, inductivo y termocuplas tipo J y K); tarjetas de adquisición de datos (PCMCIA, USB), tarjetas acondicionadora de señales,

computador portátil, impresora, manguera de 1 pulgada de diámetro y 6 metros de largo, manguera de ¼ pulgadas de diámetro y 6 metros de largo, cable de energía para el equipo, cables de transmisión de datos y otros accesorios.

- ❖ Debe considerarse la utilización de materiales livianos en su estructura.
- ❖ Tener en cuenta la ubicación de la conexión de las tarjetas de acondicionamiento de señales, adquisición de datos y computador portátil, en lo posible en la parte posterior no accesible en todo momento.
- ❖ Contemplar la ubicación del opacímetro, analizador de gases, tarjeta de acondicionamiento de señales y de adquisición de datos de forma de bandejas individuales, para facilitar labores de cambio de conexiones y mantenimiento.

D. Requerimientos técnico-productivos.

- ❖ Normalización de los conectores tanto de energía como de transmisión de datos (conectores serie RS232 y USB)
- ❖ El modo de producción será, en lo posible, de forma manufacturada o industrial.
- ❖ Utilización de elementos propios para este equipo, aplicando pocos prefabricados.
- ❖ Considerar la utilización de metales y plásticos como materiales para su fabricación.
- ❖ Tener en cuenta la utilización de la mínima cantidad de elementos en el embalaje del equipo (para almacenamiento y transporte).

E. Requerimientos formales.

- ❖ Se debería contemplar la posibilidad de una disposición vertical.
- ❖ El usuario debe percibir la función que desempeña el equipo y cada una de sus partes gracias a la imagen de su carcasa o cubierta, específicamente debido a la contemplación de conceptos de color, forma y textura.
- ❖ El diseño de la ubicación de las partes manipulables como en el caso de los sensores debe presentar una identidad en igualdad de función.

- ❖ Implementar simplicidad de la forma, relaciones entre componentes (proporción) y repetición de elementos para establecer una unidad en el equipo.
- ❖ Buscar implementar un estilo elegante y moderno, mediante el tratamiento de la forma y textura.

F. Requerimientos de identificación.

- ❖ Se debe identificar formal y verbalmente cada uno de los conectores del equipo, y en lo posible agruparlos por similitud de función.
- ❖ Disposición de un logotipo en una parte visible con la sigla DIAGMA D-100.

5.2 PRESENTACION Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

5.2.1 *Primera alternativa*

En esta primera propuesta de solución se maneja el concepto de distribución vertical del equipo, por lo tanto todos los elementos están organizados de abajo hacia arriba de acuerdo a su propio peso y frecuencia de uso. Formalmente se busco implementar conceptos de simetría y catametría como herramientas de coherencia formal, y estructuralmente se oriento hacia el uso del menor número de elementos metálicos con el objeto de obtener un equipo de poco peso.

En cuanto a la parte funcional el equipo se dispone de dos frentes de operación, por un lado se tiene acceso a los módulos de análisis de gases, captadores, y a las entradas de las tarjetas acondicionadora de señales; y por la parte opuesta se opera el computador portátil, los sensores y la impresora (figura 46).

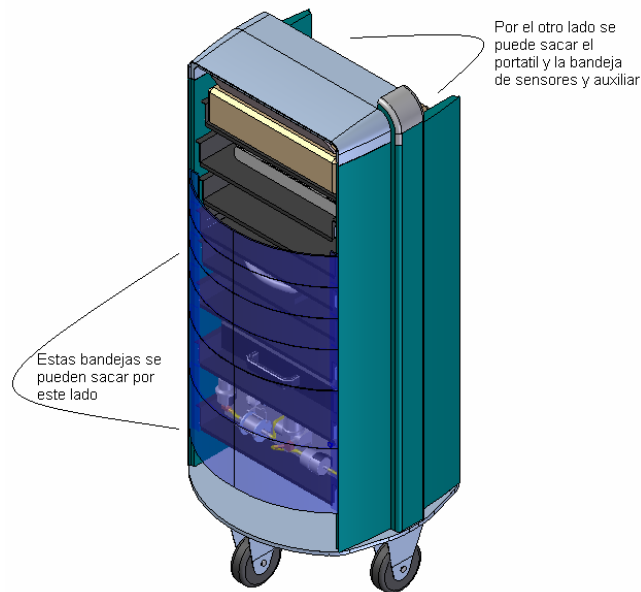
5.2.1.1 *Conformación general del equipo*

El equipo esta conformado por un soporte en C en el cual se sujetan correderas para cajones y en estos van las bandejas para cada elemento como sigue:

- ❖ Equipo analizador de gases de escape

- ❖ Opacímetro
- ❖ Captador de gases de escape, tanto para el opacímetro como para el analizador de gases; con sus respectivas mangueras.
- ❖ Sensores
- ❖ Elementos auxiliares como son manual del equipo, información sobre motores, etc.
- ❖ Impresora de matriz de puntos, marca EPSON de papel continuo
- ❖ Computador portátil
- ❖ Como elemento auxiliar se considera de una lámpara para el caso de trabajo nocturno.

Figura 46. Vista general del equipo



Fuente: El autor con apoyo del software SOLID EDGE V12

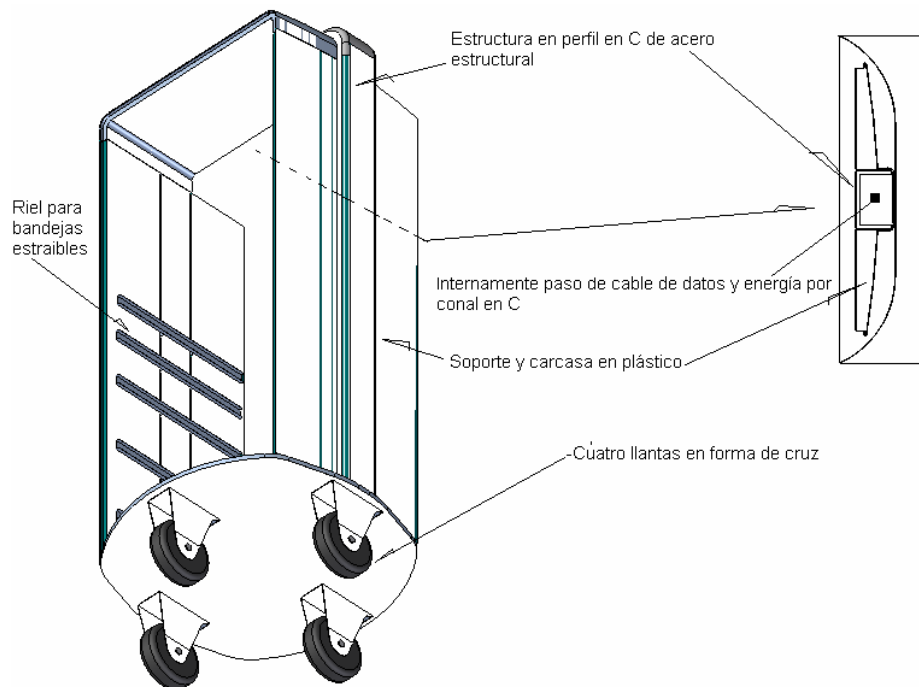
La estructura se termina de conformar por una base metálica armada, que dispone de cuatro ruedas en forma de cruz con respecto al equipo, además de la

estructura metálica anterior se dispone de cubiertas en plástico para darle mayor estabilidad al equipo, con poco peso y adecuada relación formal (figura 47). Algunos detalles funcionales se aprecian en la figura 48.

5.2.1.2 **Estimación de costos**

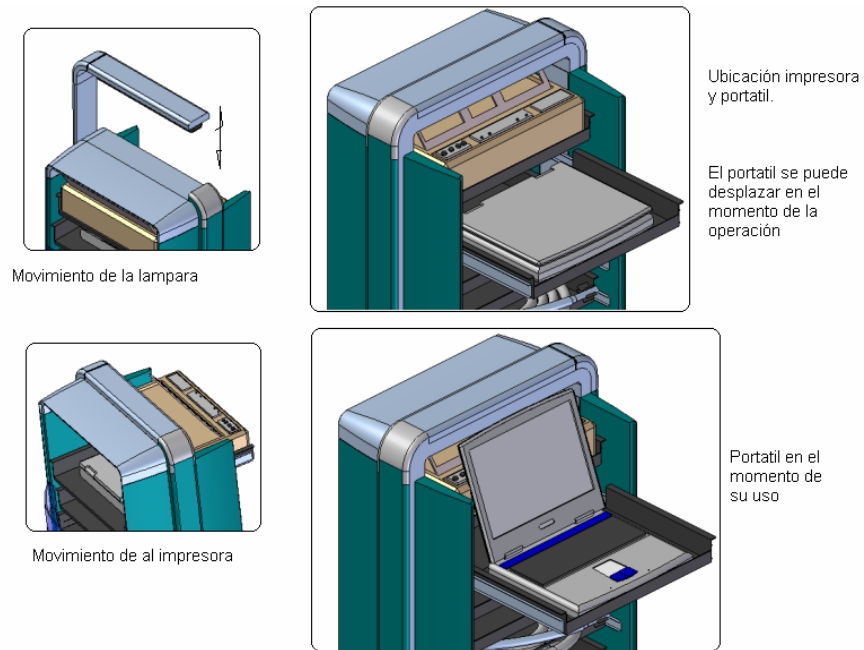
Los costos se estiman mediante los costos de materia prima, la experiencia personal e información recaudada en empresas relacionadas con la producción de piezas en plástico y en metal, y se resume en la tabla 8. En lo que respecta a las tapas de los cajones, se ha estimado el precio según el costo de la lámina de policarbonato de 4mm.

Figura 47. Conformación estructural



Fuente: El autor con apoyo del software SOLID EDGE V12

Figura 48. Detalles de operación de la lámpara y el computador portátil



Fuente: El autor con apoyo del software SOLID EDGE V12

Tabla 8. Costos estimados de la primera alternativa

TIPO DE PIEZA	CANTIDAD	VALOR ESTIMADO
Plástico	Tapas y puertas	1'400.000
Perfil en C3x6	2	50.000
Cajones lamina calibre 20	Lámina y mano de obra	50.000
Ruedas	4	80.000
Correderas para cajones	7	50.000
Lámpara	Lámpara y soporte	30.000
Mano de obra	Un técnico	600.000
TOTAL		2'250.000

Fuente: El autor

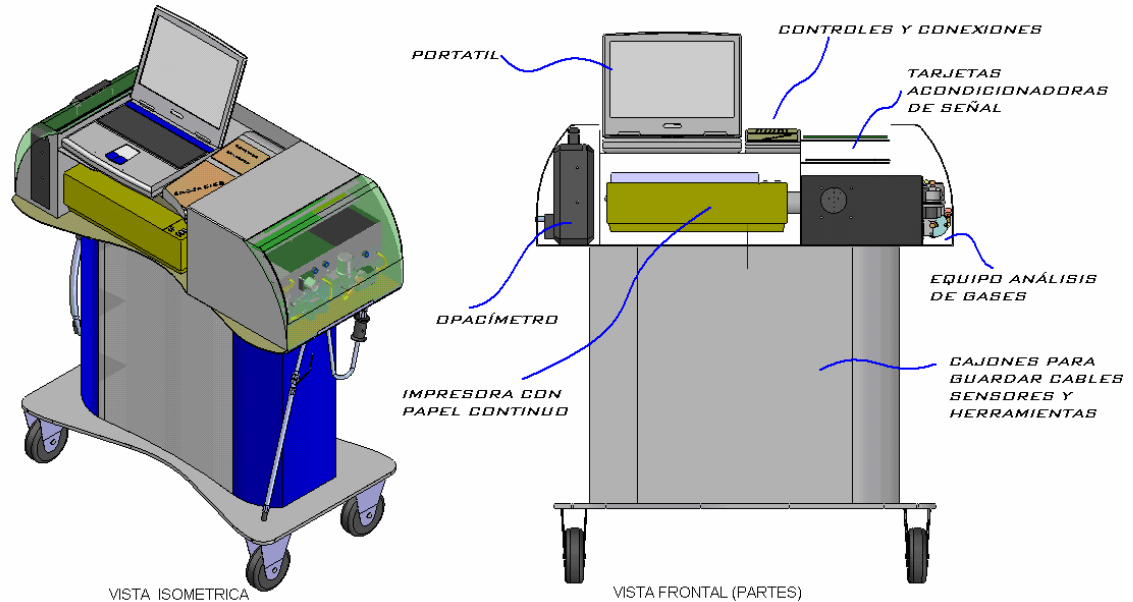
5.2.2 Segunda alternativa

En esta solución se plantea la posibilidad de organizar todos los componentes en

forma horizontal, con el objeto de estar al alcance del operario sin necesidad de cambiar de posición de trabajo y con el mayor alcance visual, se conserva los submódulos originales pero ubicados de acuerdo a su peso, frecuencia de uso y necesidades de inspección sobre ellos. En el aspecto formal se parte de figuras geométricas básicas con un grado de modificación mediante el uso de curvas y de la simetría como herramienta de coherencia formal, apoyada con el tipo de materiales utilizados.

Funcionalmente cuenta con un frente de trabajo principal (figura 49), por donde se tiene acceso al PC, a la impresora y los controles de encendido de equipos desde la posición de pie de la persona. Y dos accesos de trabajo lateral, uno para el analizador de gases de escape por la derecha y el otro (por la izquierda) para el opacímetro. También se dispone de un espacio central para ubicar sensores, manuales y herramientas o accesorios adicionales.

Figura 49. Vista general y organización de componentes



Fuente: El autor con apoyo del software SOLID EDGE V12

5.2.2.1 Conformación general del equipo

Cada uno de los elementos posee una ubicación fija, contando con acceso mediante puertas que rotan hacia abajo; a la derecha de la figura 50 se especifica la posición de cada elemento dentro del equipo.

5.2.2.2 Componentes y dimensiones

La alternativa se compone de los siguientes elementos:

- ❖ Estructura en lamina cold rolled calibre 20”.
- ❖ 2 llantas en caucho de 5” de giro libre y 2 con bloqueo.
- ❖ 2 puertas laterales en acrílico transparente de 3 mm.
- ❖ 1 puerta frontal de dos abas en acrílico de 3 mm.
- ❖ 2 soportes laterales para el captador del opacímetro y del analizador de gases
- ❖ Un conjunto de botones para energizar los submodulos individualmente.
- ❖ 3 separadores horizontales para formar el gabinete de almacenamiento de sensores y accesorios.

El operario utiliza por el frente del equipo el PC, la impresora y tiene acceso a los sensores; por los costados se encuentra los captadores del analizador de gases y del opacímetro. Existen dos cables centrales para poder llevar los conectores de sensores hasta cerca del motor dejando todo el equipo en la parte posterior del vehículo.

5.2.2.3 Estimación de costos

Estimando los costos en el comercio se realiza un resumen en la tabla 9.

Tabla 9. Costos estimados de la segunda alternativa

TIPO DE PIEZA	CANTIDAD	VALOR ESTIMADO
Tapas laterales y puerta	Plástico	100.000
Lamina calibre 20	2 láminas y mano de obra	250.000
Base	Perfil en L y mano de obra	100.000
Ruedas	4	80.000
Acabados	Pintura electrostática	50.000
Accesorios		100.000
Mano de obra	Técnico	400.000
Total		1'080.000

Fuente: El autor

5.2.3 Tercera alternativa

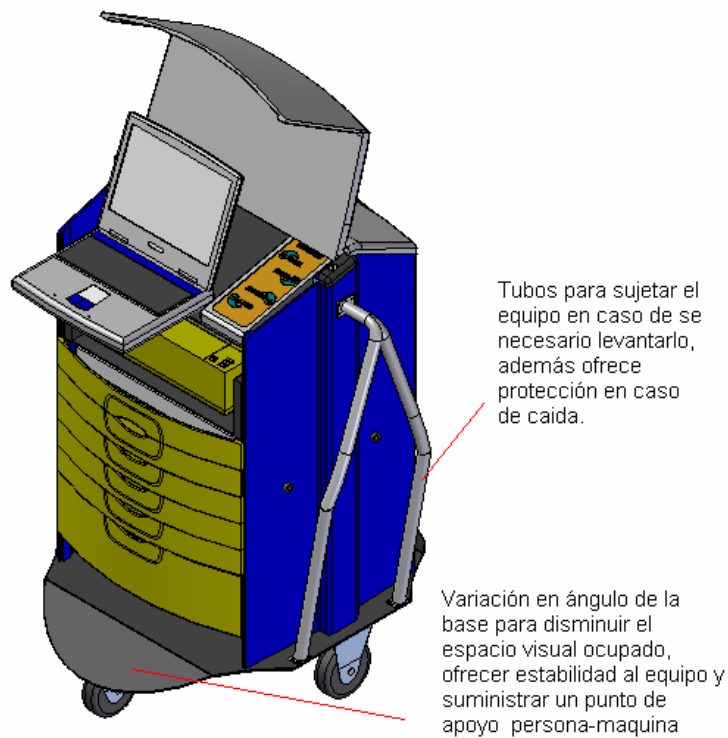
5.2.3.1 Conformación general del equipo

En esta tercera propuesta se partió de los buenos aportes de las dos alternativas anteriores, se conserva el concepto de disposición vertical de los equipos pero utilizando las caras laterales del equipo, figura 50. El operario solo necesitará acceso a las dos bandejas superiores (sensores y bandeja de manuales y accesorios); su plano de manipulación del equipo se encuentra a una altura de 100 cm, respecto al piso. La organización es la mostrada en la figura 51 y esta compuesto de los siguientes elementos:

- ❖ 2 perfiles en C 3 x 6, en acero estructural.
- ❖ Base en resina poliéster reforzada con fibra de vidrio.
- ❖ 2 llantas de caucho de 5" de diámetro de giro libre y 2 con bloqueo
- ❖ 2 tapas laterales, 1 superior y 6 para cajones en resina poliéster reforzado con fibra de vidrio.

- ❖ 9 juegos de correderas para cajones con sistema de bloqueo.
- ❖ 6 bandejas en lámina cold rolled calibre 20
- ❖ 2 soportes distribuidos así: uno para manguera del opacímetro, otro para la manguera del analizador de gases de escape.

Figura 50 Vista general del equipo

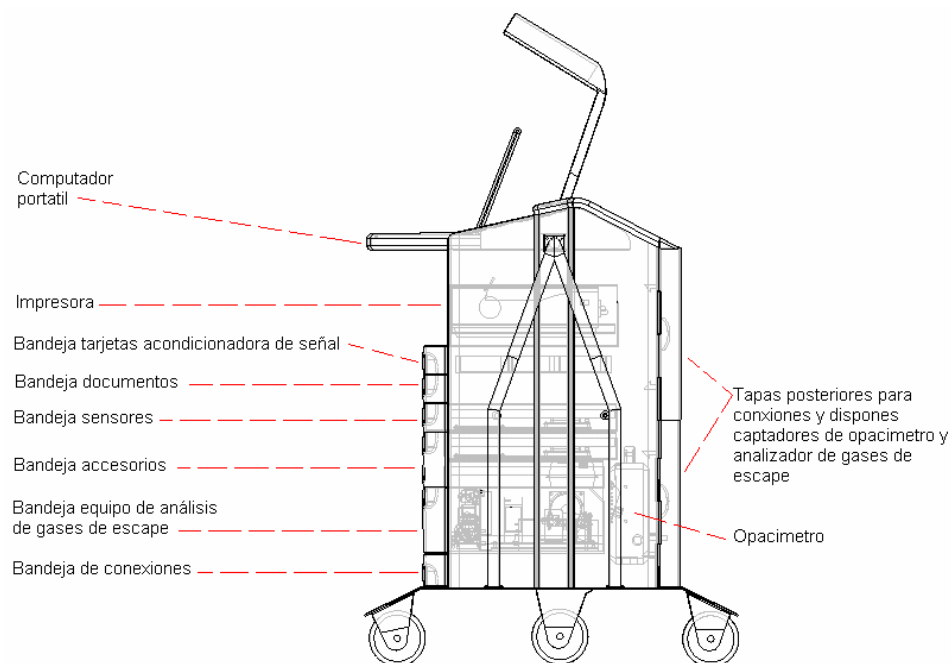


Fuente: El autor con apoyo del software SOLID EDGE V12

5.2.3.2 Estimación de costos

Los costos de esta alternativa se estimaron en la tabla 10.

Figura 51. Organización de componentes



Fuente: El autor con apoyo del software SOLID EDGE V12

Tabla 10 Estimación de costos de la tercera alternativa

TIPO DE PIEZA	CANTIDAD o ESPECIFICACIÓN	VALOR ESTIMADO
Plástico	Tapas y puertas	1'200.000
Perfil en C3x6	2	50.000
Cajones lamina calibre 20	Lámina y mano de obra	50.000
Plástico	Soportes de manguera y cable	50.000
Plástico	Base	50.000
Ruedas	4	80.000
Correderas	6	40.000
Lámpara	Lámpara y soporte	30.000
Mano de obra	Técnico	600.000
TOTAL		2'150.000

Fuente: El autor

5.2.4 Evaluación de alternativas

5.2.4.1 Lista de objetivos de Diseño

El objetivo global es el de obtener un equipo confiable y sencillo, para ésto se establecen tres objetivos fundamentales con los cuales se evaluarán las tres alternativas, estos son funcional, técnico-productivo y formal estético:

1. Adecuada interacción directa entre el producto y el usuario.
 - 1.1 Optima adecuación entre el equipo y el usuario en cuanto a los límites de fatiga, peso, baricentro, vibración y palancas.
 - 1.2 Adecuada relación dimensional entre el equipo y el usuario.
 - 1.3 Adecuada captación del equipo y sus componentes por el usuario.
 - 1.4 Fácil cambio de ubicación del equipo.
 - 1.5 Adecuada relación equipo usuario en cuanto a su biomecánica.
 - 1.6 Pocas posibilidades de riesgos para el usuario.
 - 1.7 Reducido número de mecanismos.
 - 1.8 Poca posibilidad que el usuario cometa errores durante la operación
 - 1.9 Buenas características de operación.
 - 1.9.1 Fácil mantenimiento.
 - 1.9.2 Buen acceso a todas las partes del equipo.
 - 1.9.3 Facilidad en el manejo de todas las partes.
2. Buena selección de medios y métodos de manufactura.

- 2.1 Facilidad de fabricación con los métodos de manufactura locales.
- 2.2 Producción sencilla de los componentes
 - 2.2.1 Reducido número de elementos
 - 2.2.2 Poca complejidad de los componentes
 - 2.2.3 Muchas partes estandarizadas o compradas
 - 2.2.4 Baja complejidad en la secuencia de procesos de transformación que sufrirá el equipo durante su producción.
 - 2.2.5 Facilidad en la adquisición de las materias primas necesarias.
- 2.3 Menores costos de producción, mano de obra y material directo.
- 3. Adecuada coherencia en la selección de los caracteres estéticos.
 - 3.1 Buena calidad en la forma del equipo.
 - 3.1.1 Simplicidad en la forma.
 - 3.1.2 Adecuada proporción entre las partes componentes.
 - 3.1.3 Repetición de elementos.
 - 3.2 Selección adecuada de elementos formales.
 - 3.3 Alta estabilidad visual (simetría).
 - 3.4 Percepción adecuada del producto por parte del usuario.
 - 3.4.1 Relación adecuada entre la cubierta del equipo y su función.
 - 3.4.2 Tratamiento adecuado a los caracteres formales (coherencia).

5.2.4.2 *Asignación de valores ponderados*

El método que se utiliza consiste en asignar un valor numérico a cada objetivo, representando su peso con relación a los otros objetivos. El objetivo global que es el de más alto nivel tiene un valor de 1.0, a los objetivos secundarios se le asigna pesos relativos a los demás, que también totalizan 1.0;

La asignación de valores ponderados al árbol de objetivos se aprecia en la figura 52 donde cada rectángulo del árbol se designa con el número del objetivo, por ejemplo O1.1 hace referencia al objetivo 1.1 de la lista de objetivos expuesta anteriormente. A cada rectángulo se le dan dos valores: su valor con relación a sus vecinos del mismo nivel y su verdadero valor o valor con relación al objetivo general.

5.2.4.3 *Parámetros de redimiendo*

Muchos de los objetivos son de tipo cualitativo; por lo tanto se ha establecido una escala de puntos como forma de compararlos proporcionalmente, tabla 11.

Tabla 11. Escala para los parámetros de rendimiento

ESCALA DE CINCO PUNTOS	SIGNIFICADO
0	Solución inadecuada
1	Solución débil
2	Solución satisfactoria
3	Solución buena
4	Solución excelente

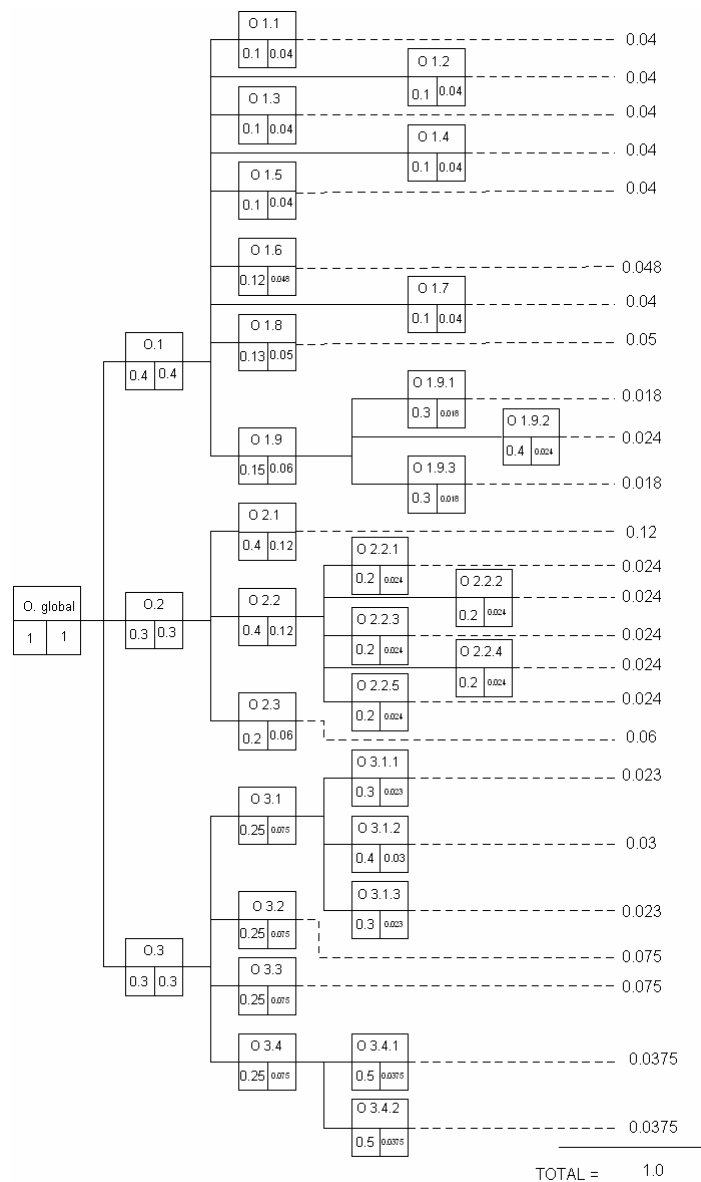
Fuente: CROSS, Nigel. Métodos de diseño. México. Editorial Limusa S.A.. 2002. p 133

5.2.4.4 *Evaluación de los objetivos para las tres alternativas*

En este último paso de la evaluación se calcula para cada una calificación para su rendimiento con respecto a los parámetros establecidos, este proceso se muestra en la tabla 12 en donde se encuentran dos casillas por cada alternativa, en la primera esta la calificación de calidad según el parámetro de rendimiento para el

objetivo en cuestión y en la segunda la utilidad o calificación ponderada (producto entre el peso porcentual de cada criterio y la calificación de calidad). Al final y para cada alternativa se obtiene la sumatoria de calificaciones ponderadas o utilidad global, a partir de la cual se establece cual es la mejor alternativa según la mejor calificación, según este caso es la tercera.

Figura 52. Valores ponderados asignados al árbol de objetivos



Fuente: CROSS, Nigel. Métodos de diseño. México. Editorial Limusa S.A.. 2002. p 143

Tabla 12. Evaluación de las alternativas

	CRITERIO DE EVALUACION		ALTERNATIVA N° 1		ALTERNATIVA N° 2		ALTERNATIVA N° 3	
N°	Objetivo	Peso	Calificación de calidad	Utilidad	Calificació n de calidad	Utilidad	Calificación de calidad	Utilidad
1.1	Optima adecuación entre el equipo y el usuario ...	0,04	2	0,08	3	0,12	3	0,12
1.2	Adecuada relación dimensional entre equipo y usuario	0,04	2	0,08	2	0,08	3	0,12
1.3	Adecuada captación del equipo y sus componentes ...	0,04	2	0,08	2	0,08	3	0,12
1.4	Facilidad en el cambio de ubicación del equipo	0,04	2	0,08	2	0,08	3	0,12
1.5	Adecuada relación biomecánica	0,04	2	0,08	3	0,12	4	0,16
1.6	Poca posibilidad de riesgos para el usuario	0,048	3	0,144	2	0,096	4	0,192
1.7	Reducido número de mecanismos	0,04	2	0,08	3	0,12	2	0,08
1.8	Poca posibilidad que el usuario cometa errores en operación	0,05	2	0,1	3	0,15	4	0,2
1.9.1	Fácil mantenimiento	0,018	2	0,036	3	0,054	4	0,072
1.9.2	Buen acceso a todas las partes del equipo	0,024	3	0,072	3	0,072	4	0,096
1.9.3	Facilidad en el manejo de todas las partes	0,018	2	0,036	4	0,072	4	0,072
2.1	Facilidad de fabricación con los métodos de manufactura local	0,12	2	0,24	4	0,48	3	0,36
2.2.1	Reducido número de elementos	0,024	2	0,048	4	0,096	2	0,048
2.2.2	Poca complejidad de los componentes	0,024	2	0,048	4	0,096	3	0,072
2.2.3	Muchas partes estandarizadas o compradas	0,024	1	0,024	2	0,048	2	0,048
2.2.4	Baja complejidad en la secuencia del proceso de transformac.	0,024	1	0,024	4	0,096	2	0,048

2.2.5	Facilidad en la adquisición de las materias primas necesarias	0,024	0	0	4	0,096	2	0,048
2.3	Menores costos de producción, mano de obra y material ...	0,06	0	0	4	0,24	2	0,12
3.1.1	Simplicidad de la forma	0,023	1	0,023	3	0,069	2	0,046
3.1.2	Adecuada proporción entre las partes componentes	0,03	3	0,09	2	0,06	4	0,12
3.1.3	Repetición de elementos	0,023	3	0,069	1	0,023	3	0,069
3.2	Selección adecuada de elementos formales que atraigan y ...	0,075	3	0,225	2	0,15	4	0,3
3.3	Alta estabilidad visual (simetría)	0,075	2	0,15	2	0,15	4	0,3
3.4.1	Relación adecuada entre la carcasa del equipo y su función	0,0375	3	0,1125	2	0,075	4	0,15
3.4.2	Tratamiento adecuado de los caracteres formales (coherencia)	0,0375	3	0,1125	1	0,0375	4	0,15
	Total de pesos porcentuales	0,999						
	UTILIDAD GLOBAL			2,034		2,7605		3,231

Fuente: El autor

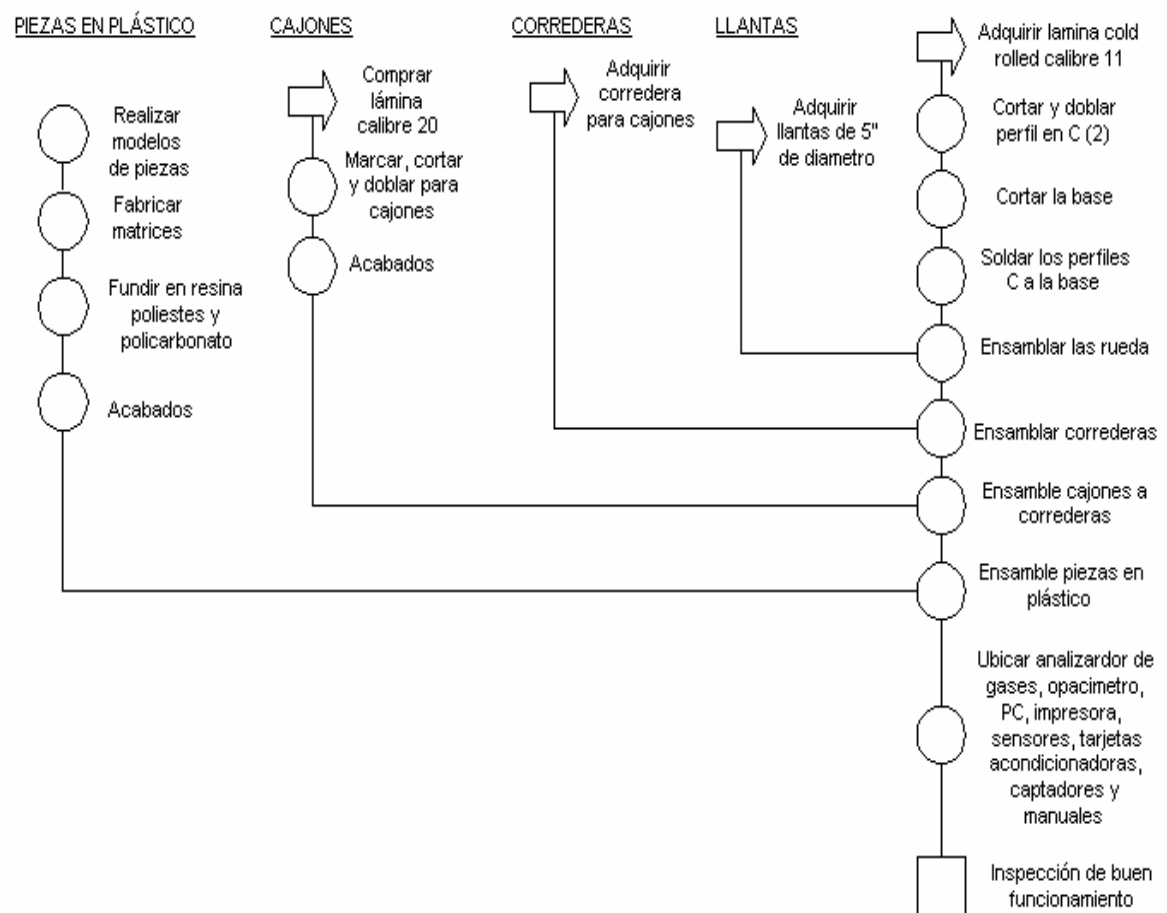
5.3 PROCESO DE PRODUCCION

El proceso de fabricación se resume en la figura 53 y a continuación se muestra una serie de fotografías indicando diferentes facetas durante el proceso de fabricación el prototipo, figura 54. Además en el Anexo E, planos 1 a 27 se realiza el desarrollo de cada una de las partes a producir.

Durante el proceso de fabricación de la tercera alternativa se realizó periódicamente procesos de retroalimentación, los cuales dio como resultado modificaciones en el diseño original; tal es el caso de cambios en el sistema de apertura de las tapas posteriores y modificaciones en la ubicación de los botones de encendido de los diferentes equipos que compone el proyecto.

Cambios fundamentales se dieron lugar en el desarrollo del prototipo, uno de ellos fue la ubicación de una regleta en el plano inferior para la conexión de los diferentes equipo; se requirió la utilización de una unión flexible entre la tapa superior móvil y la fija para evitar la incorporación de sustancias no deseables como polvo y fluidos. La ubicación de los captadores de gases de escape, tanto para el opacímetro como el equipo de análisis de gases, se decidió que fuera en la parte interior, por lo tanto se fabrico un soporte en la parte posterior; y así evitar que dichos elementos estuvieran expuestos a condiciones ambientales o al acceso a personas no autorizadas.

Figura 53. Diagrama de producción



Fuente: El autor

Figura 54. Proceso de producción de las piezas del prototipo



Realización de un modelo para revizar tamaño y conformacion general



Elaboración de los modelos para la partes a fabricar en plástico



Terminado de los modelos para producción en plástico



Fabricación de piezas en resina poliester reforzada con fibra de vidrio, como son tapas laterales, tapas para archivador, tapas posteriores, tapa fija superior y tapa principal.



Produccion de los compartimentos del archivador en lámina calibre 18 y unión con las tapas plásticas



Conformación de las otras partes metalicas



Elaboración de refuerzos y soldados de los diferentes elementos de unión para el archivador



Ensamble del archivador: cajones, rieles de extension total para 100 lb, soportes laterales y base



Montaje del archivador y tapas posteriores con sus respectivos rieles



Equipo semiterminado, listo para proceso de acabado y pintura



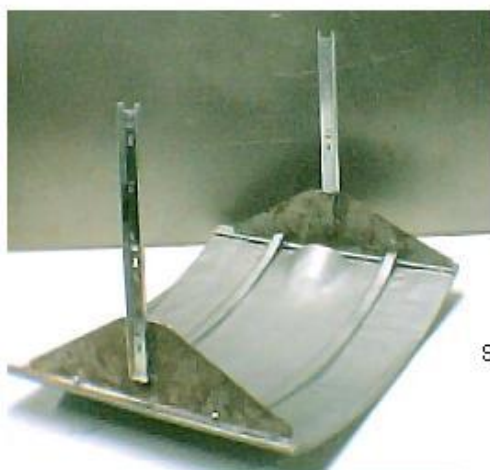
Despues del proceso de pintado se
ensambla los diferentes elementos,
como es la base y los soportes de rieles
(lado izquierdo) y las tapas de cajones
(lado derecho)



Emsamble de los diferentes
cajones



Montaje de los cajones en los
respectivos rieles



Se prosigue con el ensamble
y montaje de las tapas
posteriores



Luego las tapas
laterales y superior



Despues de estar el equipo
ensamblado se continua con
el montaje de los diferentes
elementos, como el sistema
analizador de gases de
escape (foto lado izquierdo)
y la impresora (foto lado
derecho).





Equipo DIAGMA D-100 en operación en las instalaciones de la empresa CODISEL, realizando pruebas en motor NKR nuevo



Detalle de la ubicación de computador portatil y sus apoyos de sujección

Fuente: El autor y el Grupo de Investigación en Energía y Medio Ambiente (GIEMA)

5.4 EXPERIMENTACION ERGONOMICA

Con el objeto de determinar el alcance logrado de los requerimientos de diseño establecidos para el prototipo del equipo DIAGMA D-100, tal como están plasmados en el numeral 5.1.5, se realizo una experimentación ergonómica, la cual se desarrolla en el anexo F.

6. PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DEL BANCO DE PRUEBAS DE MCIA

6.1 ESTADO INICIAL DEL BANCO DE PRUEBAS DE MCIA

En primer lugar se realizó un diagnóstico del estado en que se encontraba el laboratorio, para tal operación además de la documentación preliminar sobre este tipo de laboratorios, se realizó un análisis de éste para establecer cada una de sus partes y poder diagnosticar el estado de funcionamiento; llegando al final a establecer una síntesis mediante una matriz DOFA que permitiera ver una perspectiva a presente y a futuro del laboratorio.

6.1.1 Conformación general del banco de pruebas

La conformación tanto el banco de pruebas como su sala de control, así como su estado de funcionamiento fue desarrollado en el numeral 2.4.4 y 2.4.5

6.1.2 Diagnóstico del estado actual

a. Motor RENOULT 21 de 2 litros

Al iniciarse el presente proyecto el grado el motor estaba fuera de funcionamiento, se realizaron labores básicas de mantenimiento y puesta en operación (como cambio de aceite, limpieza del sistema de refrigeración y revisión eléctrica) y el motor no dio arranque. Como resultado se encontró que la tapa del distribuidor presentaba ruptura que ocasionaría fugas de corriente y que la unidad de encendido electrónico no estaba funcionando, se instaló elementos provisionales para poder revisar el resto del sistema.

b. Sistema de enfriamiento del motor

El sistema disponible presenta los problemas que se han enunciados en el numeral 3.2.3 del presente proyecto de grado, se considera necesario el diseñar un sistema de intercambiador de calor tipo casco y tubo y una torre de enfriamiento.

c. Dinamómetro

El dinamómetro como tal esta funcionando sin mayores problemas, se encontró que la lectura del torque se realiza mediante un dial analógico que dificulta la realización de un proceso automatizado; se establece la necesidad de instalar una celda de carga para la toma de la fuerza presente en el dinamómetro durante el desarrollo de las pruebas al motor.

d. Kit de conversión a GNV

El motor funciona bien a gasolina pero a gas natural no funciona, se requiere una revisión del todo el kit de conversión a GNV con un técnico especializado en ese campo.

e. Adquisición de señales

Se realizo revisión de cada uno de los sensores instalados y después de un mantenimiento adecuado se encontró que la mayoría de ellos funcionaban correctamente gracias a la señal de salida captada en un osciloscopio; tal es el caso con las termocuplas, el microcaudalimetro y el sensor velocidad de aire. En los sensores de revoluciones del cigüeñal y del dinamómetro no se reporto buen funcionamiento, se diagnostica la búsqueda de una mejor solución.

f. Sistema de adquisición y procesamiento de datos

La cadena de medición del sistema de adquisición de datos esta cortada ya que la

mayoría de los sensores están desconectados, se encontró una completa desorganización del cableado y tarjetas de adquisición y procesamiento de señales; además que el computador estaba fuera de servicio. Adicional a lo anterior no se encontró un reporte bibliográfico confiable en los proyectos de grado relacionados con el banco de pruebas. Se concluye la necesidad de adquirir un sistema estándar de adquisición y procesamiento de datos y una reestructuración de la cadena de medición, así como la utilización de un software de reconocimiento internacional en el manejo y procesamiento de señales en laboratorios.

g. Sistema de acondicionamiento de la sala de prueba

El sistema de enfriamiento del motor entrega una cantidad considerable de energía a la sala de pruebas en forma de calor y el extractor con que se cuenta no es suficiente para mantener las condiciones estándar que requiere la norma tal como se manifiesta en el numeral 2.2.8 del presente proyecto. Es necesario el rediseño del sistema de enfriamiento del motor y la selección de la instalación de un sistema de aire acondicionado a la sala.

h. Sala de control del banco de pruebas

Esta sala no posee una instalación adecuada para la operación del banco de pruebas, como es la falta de un puesto de trabajo representado por un escritorio y un computador. En su lugar se tiene un mesón que por su altura no es adecuada para que una persona opere y la sala se debe compartir con otras actividades lo cual dificultaría la concentración adecuada de las actividades de prueba de motores, llegando a la necesidad de rediseñar este puesto de trabajo y la disposición de un nuevo computador.

i. Suministro eléctrico e hidráulico del laboratorio

El laboratorio no cuenta con un suministro eléctrico propio sino que posee un

cableado totalmente desorganizado, sin registros y tomando energía de los laboratorios adyacentes; en cambio si cuenta con un suministro hidráulico sin mayores contratiempos. Es de vital importancia la instalación de un suministro eléctrico propio, con la adecuada toma y alumbrado, así como su tablero de corte.

6.1.3 Matriz DOFA

En la tabla 13 se presenta la matriz DOFA desarrollada para el laboratorio.

Tabla 13 Matriz DOFA del banco de pruebas de motores

		FACTORES INTERNOS	
		FORTALEZAS:	DEBILIDADES:
		Posee unos equipos básico para su desarrollo al igual que unas bases académicas sólidas	Se requiere una intervención interdisciplinaria, ya sea mecánica, eléctrica, electrónica y de sistemas
FACTORES EXTERNOS	OPORTUNIDADES:	ESTRATEGIA F-O: Utilizar el equipo disponible y adquirir el necesario para poner el funcionamiento el banco de pruebas en forma inmediata, al mismo tiempo que se desarrolla una propuesta de modernización de las instalaciones.	ESTRATEGIA D-O: Requerir la intervención de personas especializadas en cada campo para el desarrollo de un proyecto de automatización del banco de pruebas.
	AMENAZAS:	ESTRATEGIA F-A: Realizar actividades de diagnostico del equipo existente, desechar aquellos que no sean adecuados y seleccionar nuevos equipos, presentando una propuesta de adquisición.	ESTRATEGIA D-A: Convocar y guiar a estudiantes de pregrado y postgrado para el desarrollo de proyectos de grado encaminados a la automatización del banco de pruebas.

Fuente: El autor

6.2 SOLUCIONES DESARROLLADAS

6.2.1 *Puesta en marcha del motor*

De acuerdo al diagnostico en este motor se desarrollaron tres operaciones básicas, en primer lugar y mediante cotización suministrada a la dirección de escuela se adquirió el distribuidor electrónico para RENAULT 21 de marca DULCETTIER de fabricación francesa y de referencia 5255353; mediante proceso similar al anterior se cotizo y adquirió la unidad de encendido electrónica para este motor de marca RENIX y de referencia RE 007.

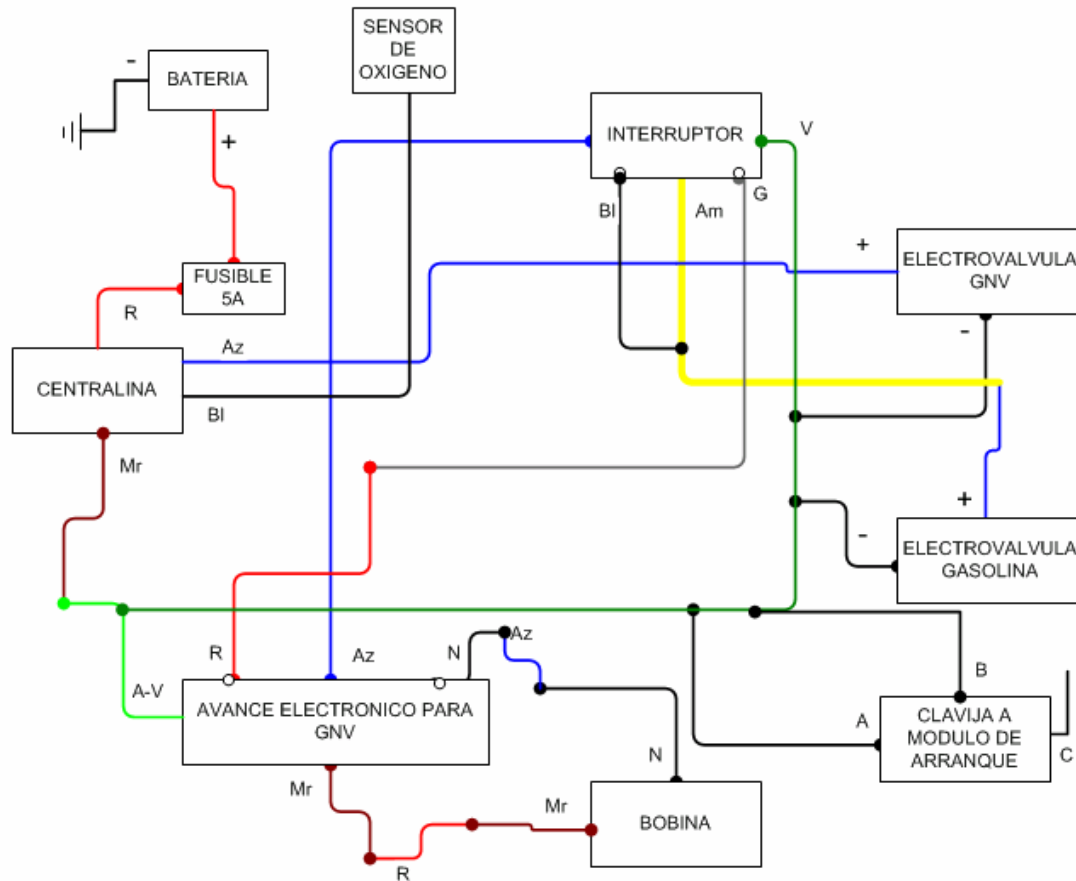
Como tercera actividad desarrollada se realizó una sincronización al motor, en la cual se realizo la calibración de válvulas, limpieza y cambio de empaquetaduras del carburador, además de la limpieza del radiador; luego se puso a punto al motor operándolo a gasolina. Al final de estas tareas el motor quedo totalmente funcional para el caso que se utilice con combustible a gasolina.

6.2.2 *Reconexión del kit de conversión GNV*

Teniendo en cuenta que en el proyecto de grado relacionado con la conversión del motor del banco a gas natural vehicular no existe un diagrama de conexión eléctrica del sistema, y que además existían cables desconectados, con la colaboración de un técnico SENA se realizó la reconexión y levantamiento del diagrama eléctrico, el cual es mostrado en la figura 55.

En la puesta en funcionamiento del motor a gas natural se encontró que el sistema no funcionaba correctamente, se determino que una de las razones es que el medidor de consumo de gas natural que estaba instalado, además de ser demasiado robusto para las condiciones de consumo del motor, ofrecía una gran caída de presión por lo cual no había suficiente disponibilidad de gas en la entrada de aire al motor. En este caso el trabajo consistió en orientar a otro proyecto de grado para adquirir un medidor de consumo de gas acorde al motor.

Figura 55. Circuito eléctrico de conexión del KIT de conversión a GNV



Nota: R: rojo, Az: azul, A-V: amarillo-verde, Bl: blanco, Mr: marrón, N: negro, Am: amarillo, V: verde, G: gris

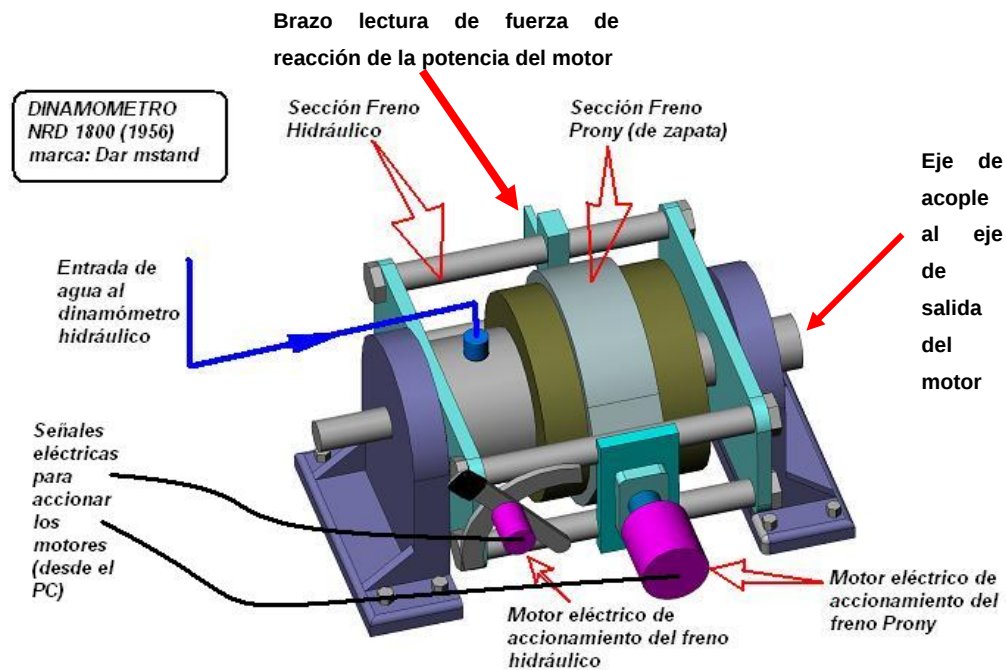
Fuente: El autor

6.2.3 Revisión, selección e instalación de sensores y actuadores

El Banco de Pruebas de Motores Alternativos cuenta con un dinamómetro conformado por un freno Prony y uno freno hidráulico (figura 56) para medir la potencia desarrollada por el motor, dentro de la puesta en funcionamiento del banco se esta manejando la idea de automatizar el banco, para ello se ha propuesto un proyecto de grado para estudiantes de ingeniería electrónica. En dicho proyecto se busca la instalación de motores eléctricos para el accionamiento

de los dinamómetros y por parte del presente proyecto se selecciona e instala una celda de carga para la lectura de la fuerza de reacción de la potencia desarrollada por el motor en un computador, ubicada en el brazo con que cuenta el dinamómetro para tal fin.

Figura 56. Dinamómetro del laboratorio de motores de la UIS



Fuente: El autor

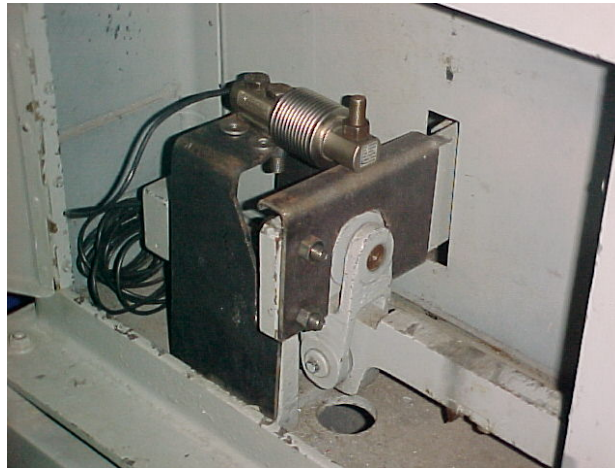
La selección de la celda de carga se realizó considerando condiciones extremas, por lo tanto se parte de un motor Diesel marca CUMMINS NTC 350 BIG CAM III; el cual posee un torque neto de 162.4 kg.m (14095 lb.in) a 1300 rpm. Como la distancia del centro del dinamómetro al punto de instalación de la celda de carga en el brazo de lectura de fuerza es de 48 cm, la fuerza de tensión necesaria a medir es de 742 lb. Por condiciones de seguridad se selecciono una celda de carga para tensión de 1000 lb (o de 500 kg), se revisaron los siguientes tres fabricantes:

- ❖ Honeywell, celda de carga modelo 82, para carga de tensión hasta 1000 lbs

- ❖ Transducer Techniques, celda de carga de la serie DSM, para carga de tensión compresión de hasta 1000 lbs.
- ❖ UTILCELL, celda de carga modelo 340A, con capacidad de 500 kg y fuente de alimentación marca Intech, modelo IN-PSIO43.

Se ha seleccionado la última opción, por disponibilidad en el medio local y por su costo, la cual instalada en el banco se muestra en la figura 57.

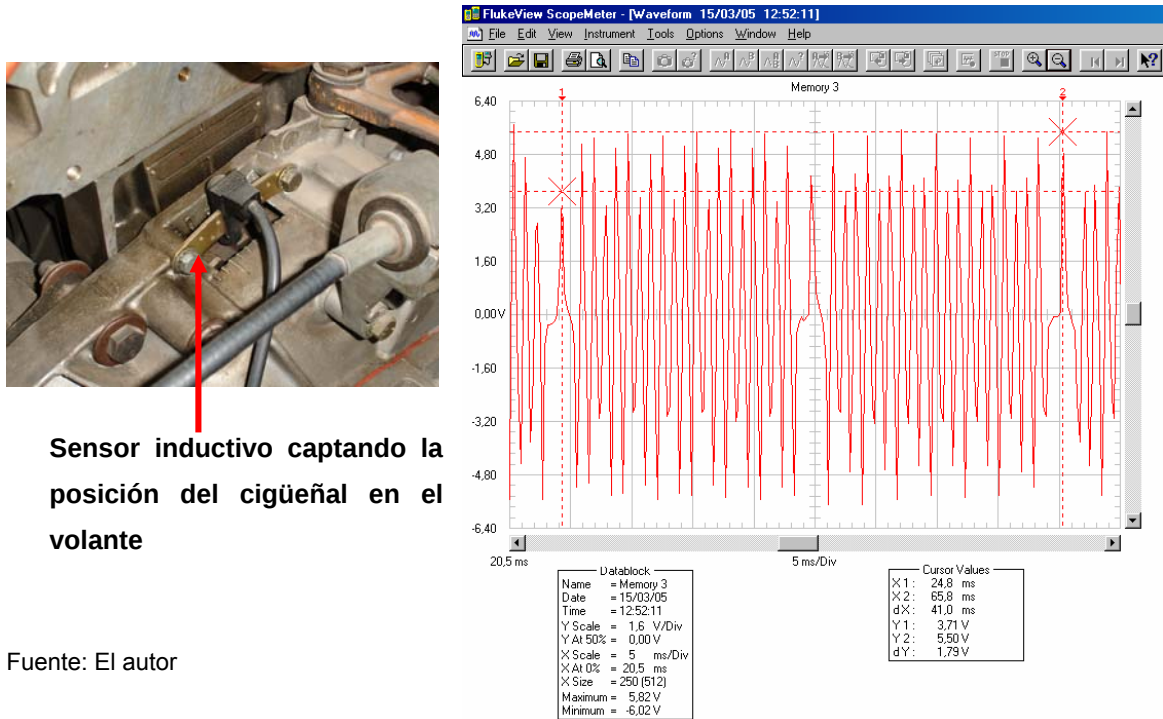
Figura 57. Celda de carga para tensión instalada en el brazo del dinamómetro



Fuente: El autor

La otra necesidad establecida en el diagnóstico es la búsqueda de una nueva solución para medir las revoluciones en el motor, se propuso captar la señal emitida por el sensor inductivo utilizado por la unidad de encendido electrónica de motor, parte derecha de la figura 58. Para tal caso se captó su señal eléctrica en un osciloscopio, parte izquierda de ésta figura, la cual fue la base para que otro proyecto de grado realizara el correspondiente trabajo de adquisición y procesamiento de la señal hasta llevarla al computador y procesarla en un software adecuado. Los punto 1 y 2 de la mencionada figura corresponde a una vuelta de cigüeñal, el sensor capta 40 pulsos que son los dientes del engrane unido al volante del motor, tiene un periodo de 41 ms, o sea una frecuencia de 24.3 Hz, lo que corresponde a que el motor estaba girando en ese momento a 1460 RPM.

Figura 58. Sensor inductivo del motor R21 y su señal de salida

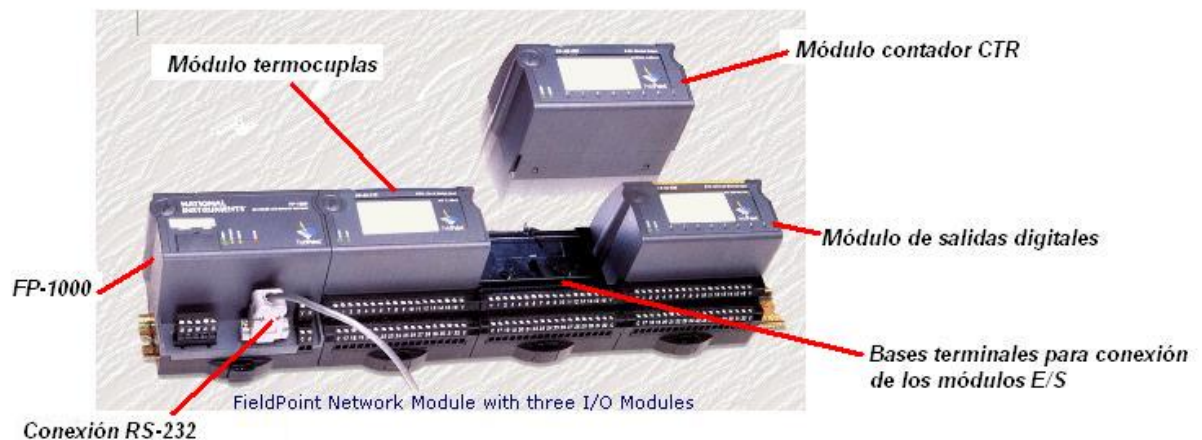


6.2.4 Sistema DAQ y software

Para el sistema de adquisición de datos se utilizó un sistema modular de entradas y salidas distribuidas que ofrece la compañía *NATIONAL INSTRUMENTS* denominado **FieldPoint**, los cuales están orientados al monitoreo, supervisión y control de procesos industriales, figura 59, además de ser un sistema estándar lo cual facilita su intercambio en caso de daño sin afectar el proceso de automatización realizado. El sistema conformado por una serie de módulos, se inicia con un módulo de red que es la interfase para la comunicación entre todos los módulos y el computador; para este caso he seleccionado el módulo FP-1000 el cual posee una salida tipo RS-232 que permite una comunicación con el puerto serial del computador. El siguiente es el módulo de termocuplas, el FP-TC-120, con el cual se puede manejar la señal enviada por 4 termocuplas (aire de entrada al carburador, agua de refrigeración que entra y sale del motor y temperatura de los gases de escape y de la sala); también recibe la señal de la celda de carga.

Luego se utiliza el módulo FP-CTR-502 que posee 8 canales contadores, 4 compuertas y 4 salidas de 5 a 30 VDC, con lo cual permite conectar las señales de velocidad de eje, caudal de gasolina y velocidad del aire. Solo falta un módulo de salidas digitales para realizar control sobre los actuadores.

Figura 59. Sistema de adquisición de datos FieldPoint



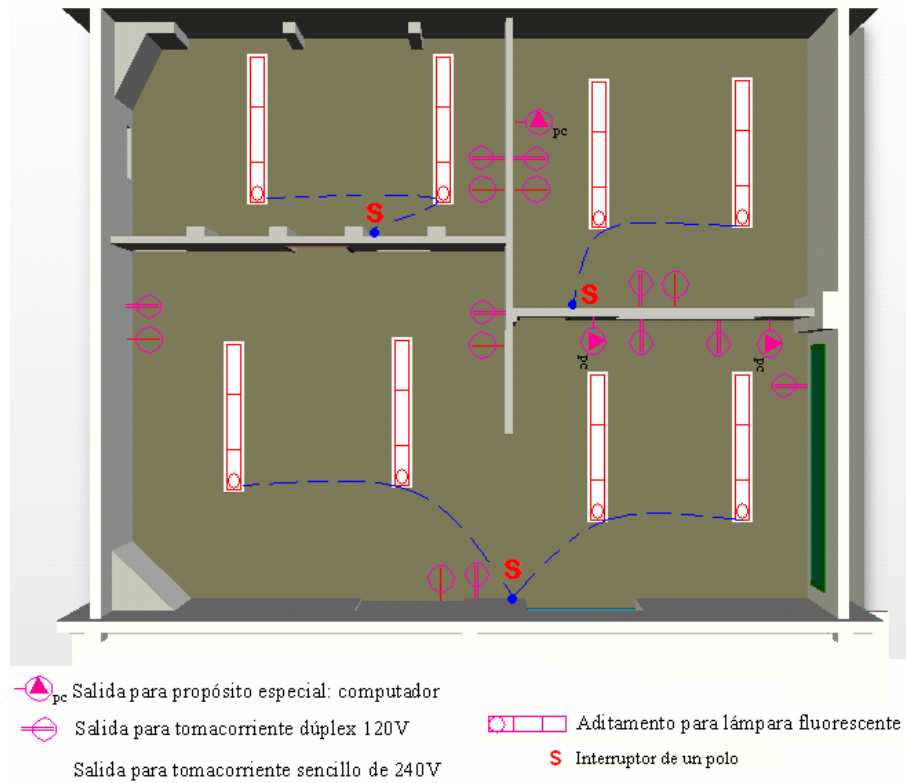
Fuente: Catálogo de NATIONAL INSTRUMENTS

Como software se dispone la utilización de **LabView 7.0** de la compañía *NATIONAL INSTRUMENTS* que es un programa especialmente desarrollado para el manejo de procesos industriales y de laboratorio, con el desarrollo de una interfase por parte de los diferentes proyectos de grados relacionados con el Banco de Prueba de Motores se realiza el procesamiento y control de los sensores y actuadores del laboratorio.

6.2.5 Suministro eléctrico propio

Según las necesidades de suministro eléctrico se realizó la instalación del suministro eléctrico propio para todo el laboratorio, en el presente proyecto de grado se propuso a la dirección de escuela, quien fue el ente patrocinador de las actividades desarrolladas. La propuesta presentada es la mostrada en la figura 60 y en la figura 61 se muestra una colección de las labores desarrolladas.

Figura 60. Propuesta de distribución eléctrica necesaria en el laboratorio



Fuente: El autor

Figura 61. Labores desarrolladas en la instalación de una red eléctrica para el LMTA



A la derecha se realiza las perforaciones para el paso del cableado para los tomas y a la izquierda el proceso semi-terminado



A la derecha se realiza las perforaciones para la toma a la red eléctrica actual y enlace al laboratorio, a la izquierda el estado final



Instalación del tablero de control y de la red estabilizada para los computadores del laboratorio

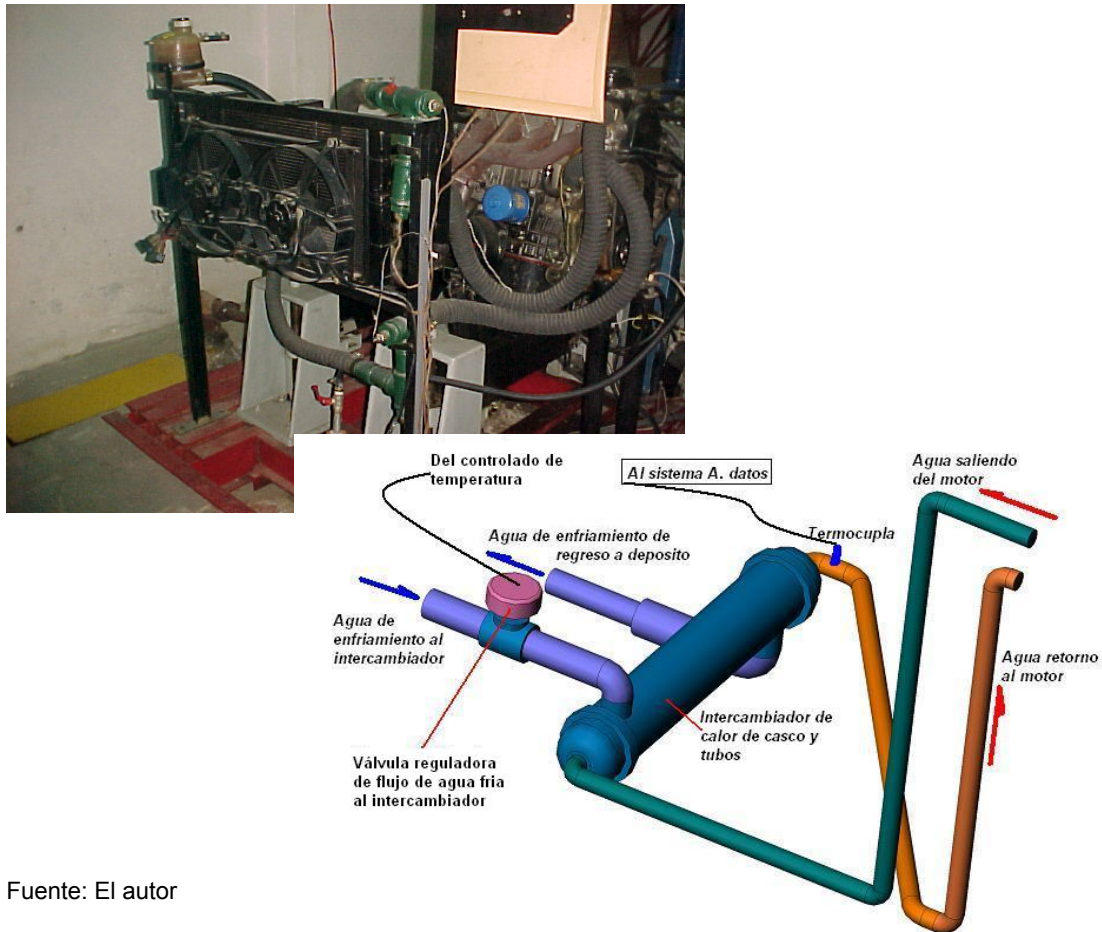
Fuente: El autor

6.2.6 Rediseño del sistema de enfriamiento del motor

El estado actual del sistema de enfriamiento del motor se puede apreciar en al figura 62, el cual fue analizada su situación en el capítulo 3 numeral 3.2.3; la propuesta de diseño de un intercambiador de calor de casco y tubo que hace mención dicho numeral es la mostrada a la derecha de la figura 62. En la línea de retorno al motor, después de salir del intercambiador, se dispone de una termocupla cuyo valor es captado por un controlador de temperatura, ya sea

software o hardware; de acuerdo al estado de la señal se activa una válvula reguladora de flujo para controlar el paso de agua de enfriamiento por el intercambiador y mantener el agua de retorno al motor en un rango entre 80 a 90 °C.

Figura 62. Arriba radiador usado para enfriamiento del agua del motor R21, abajo propuesta de uso de intercambiador de calor



Fuente: El autor

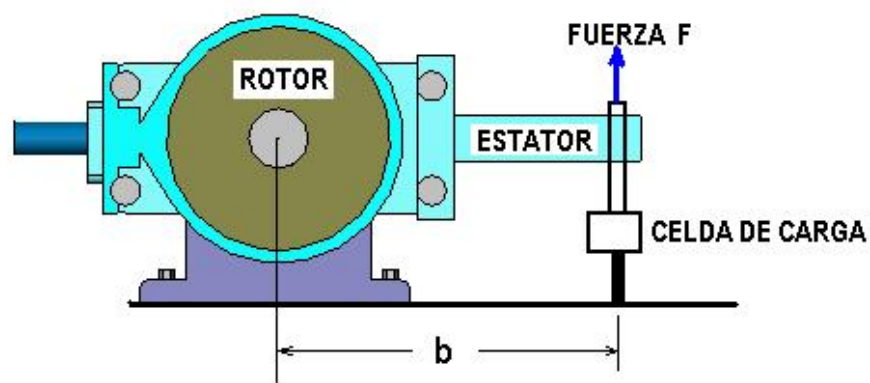
7. MANUAL DE PRUEBAS DE LABORATORIO PARA EL BANCO DE PRUEBAS DE MCIA

A continuación se describen las variables físicas y las pruebas a implementar en las pruebas de laboratorio.

7.1 POTENCIA AL FRENO

El torque del motor es normalmente medido con un dinamómetro. El motor bajo prueba se sujeta en una estructura y su eje es conectado al rotor del dinamómetro, el cual se acopla al estator en forma electromagnética, hidráulica o por fricción mecánica. En la figura 63 se aprecia la instalación típica en el cual el torque es determinado mediante la medición de una fuerza (F) gracias a un sensor colocado a una distancia (b) del centro del dinamómetro.

Figura 63 Principio de operación del dinamómetro



Fuente: El autor

El torque ejercido por el motor es:

$$T = F.b$$

Ecuación 14

En términos físicos, el torque en el motor es generado por la fuerza ejercida por la combustión en la cabeza de los pistones multiplicada por el radio correspondiente a la longitud del brazo del cigüeñal (la mitad de la carrera del pistón). Esta varia según la velocidad de giro del motor, pero dentro de ese rango el torque máximo se genera cuando la válvula de admisión esta completamente abierta.

La potencia desarrollada por el motor y absorbida por el dinamómetro es el producto del torque y la velocidad angular medido en el eje de éste:

$$P = 2\pi NT \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde N es la velocidad de rotación del cigüeñal, en unidades SI:

$$P(kW) = 2\pi N(\text{rev} / s)T(N.m)10^{-3}$$

$$\text{En unidades U.S} \quad P(\text{hp}) = \frac{N(\text{rev} / \text{min})T(\text{lb} \cdot \text{ft})}{5252} \quad \text{Ecuación 16}$$

7.2 PRUEBA N° 1: PAR DE ROTACION Y VELOCIDAD CON EL ACELERADOR TOTALMENTE ABIERTO

Es utilizada cuando se requiere determinar la potencia máxima de un motor a cualquier velocidad en RPM dentro del intervalo de operación del motor, para lo cual se realiza la prueba con el acelerador totalmente abierto; esto permite comparar la potencia real con la indicada en las especificaciones del fabricante.

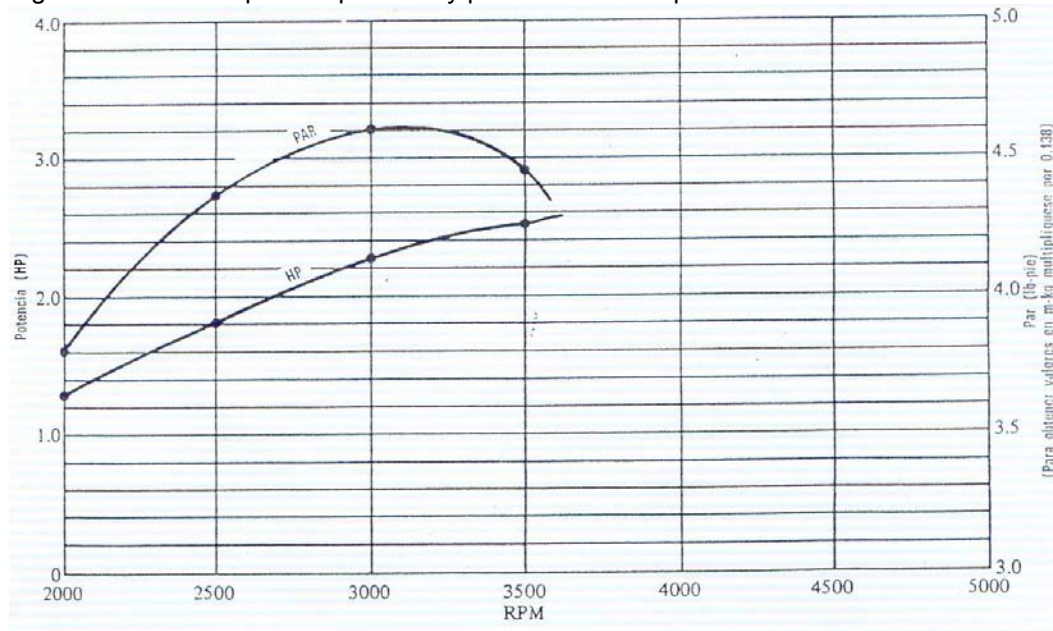
Una grafica característica de las especificaciones de potencia obtenidas como resultado de pruebas de laboratorio se observa en la figura 64, en este tipo de gráfica los valores de potencia en HP es la ordenada al lado izquierdo, en tanto que los valores del par se indican en la ordenada al lado derecho; mientras que la absisa es la velocidad del motor en RPM.

Tanto la potencia como el par varían en valor al variar los valores de RPM, existe un valor de potencia máxima y de par máximo a unas RPM determinadas para

cada caso; el par de rotación aumenta constantemente al aumentar las RPM del motor hasta alcanzar un punto en el cual el motor toma la carga máxima de combustible por RPM y ejerce el mayor esfuerzo de rotación sobre el cigüeñal. Por encima de este valor de velocidad un cierto número de factores contribuyen a reducir el volumen de la carga de combustible que pasa a la cámara de combustión y como resultado disminuye el par.

La mayoría de los motores no operan continuamente a la velocidad correspondiente a la potencia nominal, por lo que es deseable saber qué potencia se desarrolla a valores superiores e inferiores de RPM.

Figura 64. Gráfico típico de potencia y par obtenidos en pruebas de laboratorio



Fuente: RAYMOND, G. Wasdyke. Motor de gasolina de cuatro tiempos, operación, prueba y evaluación.

Editorial Limusa, México: 1976. p E6-2

Este tipo de pruebas deben hacerse sin interrupciones y los cambios de velocidad deben hacerse en el mismo sentido, hacia arriba o bien hacia abajo, en el intervalo de RPM; por lo tanto se empieza con el valor más alto de RPM en el intervalo de prueba y luego se varía el trabajo y las condiciones de forma descendente hasta llegar al más bajo, el tiempo de realización de una prueba

completa no es mayor de cinco minutos.

7.2.1 Procedimiento de la prueba

- a. Revisar que el control de carga de los dinamómetros estén en mínima, que el nivel de aceite y agua de refrigeración del motor sean los adecuados y que la caja de cambios del motor este en neutro.
- b. Dar arranque al motor y esperar que la temperatura de funcionamiento del motor este en el rango de 80 a 90°C.
- c. Desembragar el motor y ubicar la caja de cambios en cuarta revolución.
- d. Ajustar el acelerador hasta alcanzar 3000 RPM.
- e. Simultáneamente que se aumenta lentamente la apertura del acelerador se da carga al motor (dar mayor resistencia al giro del motor apretando el dinamómetro) hasta que el acelerador este totalmente abierto y se obtenga 5000 RPM.
- f. En una tabla se toma la lectura de los sensores de revoluciones (5000 RPM) y del par desarrollado (en lb-pie).
- g. Manteniendo el acelerador en apertura para 5000 RPM, se ajusta el control de carga del dinamómetro hasta alcanzar 4500 RPM y se registra el valor de par.
- h. Se continúa el mismo proceso anterior para 4000, 3500, 3000, 2500 y 2000 RPM.
- i. Suprimir la carga y reducir la apertura del acelerador hasta que el motor quede en ralentí, luego apagar el motor.
- j. Con el par y las revoluciones se calcula la potencia.

- k. Trazar una gráfica de par y de potencia contra revoluciones del motor.

7.3 PRUEBA N° 2: PAR DE ROTACION A VELOCIDAD CONSTANTE Y APERTURA VARIABLE DEL ACELERADOR

Debido a que los motores con frecuencia tiene que operar a velocidad constante con carga variable, es muy útil saber el comportamiento del motor en esas condiciones, tal seria la situación en la cual el conductor desea recorrer la máxima distancia en el menor tiempo posible; sin embargo en carretera se encontraría con factores como cuestas ascendentes y descendentes y curvas de camino, lo cual producirán una variación de la carga sobre el vehículo en consecuencia se deberá ajustar continuamente el acelerador para aumentar o disminuir las RPM a fin de compensar la mayor o menor carga del motor.

En esta prueba de laboratorio se pondrá a trabajar el motor a una velocidad de operación intermedia aceptable (3000 RPM), sin carga, luego se aumentará la apertura del acelerador en incrementos de 10% aumentando a la vez la carga para conservar la velocidad de 3000 RPM hasta que el acelerador se abra totalmente.

7.3.1 Procedimiento de la prueba

- a. Repetir los pasos a, b, c y d del numeral 7.2.1
- b. Mantener el motor a los 3000 RPM por unos 30 segundos, registrando este valor como “RPM de prueba”.
- c. Mover el acelerador a un 30% del giro total posible de éste y darle carga al motor por medio del dinamómetro buscando alcanzar las RPM de prueba.
- d. Registrar la lectura del medidor de carga (par) para esta condición.
- e. Repetir los dos procesos anteriores pero aumentando cada vez un 10% mayor la apertura del acelerador, hasta llegar al 100%.

- f. Suprimir la carga, luego cerrar totalmente el acelerador y apagar el motor.
- g. Calcular la potencia para cada porcentaje de apertura del acelerador
- h. Realizar una grafica de par de rotación y de potencia contra revoluciones del motor.

7.4 PRUEBA N° 3: PAR DE ROTACION, CONSUMO DE AIRE Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE CON ACELERADOR TOTALMENTE ABIERTO Y VELOCIDAD VARIABLE

7.4.1 Relación aire combustible

Es un índice de la proporción de aire y gasolina que forma la mezcla que entra en el cilindro. La relación varía desde el arranque pasando por la marcha mínima y la marcha con apertura parcial del acelerador hasta la marcha con el acelerador totalmente abierto y varía de acuerdo al grado de carga.

$$RAC = \dot{m}_a / \dot{m}_c$$

Ecuación 17

Donde $\dot{m}_a$ = Consumo de aire en kg/h o lb/h

$\dot{m}_c$ = Consumo de combustible en kg/h o lb/h

7.4.2 Consumo específico de combustible (CEC)

El CEC es una de las formas de determinar la eficiencia de un motor, indica la cantidad de combustible que consume un motor por unidad de potencia desarrollada. Para motores de 4 tiempos a gasolina el CEC es de 0.5 a 0.7 lb/h-HP, para motores pequeños de 2 tiempos es de 0.7 a 1.1 lb/h-HP y para motores DIESEL de aproximadamente 0.5 lb/h-HP; algunos motores de gran tamaño y muy perfeccionados alcanzan un bajo CEC hasta de 0.3 lb/h-HP. La formula para hallar el consumo específico de combustible es:

$$CEC = \dot{m}_c / Pot(HP) \quad \text{Ecuación 18}$$

El CEC varía según la velocidad del motor y la apertura del acelerador, sin embargo cuanto menor sea el CEC para la potencia desarrollada, tanto mayor será la eficiencia de motor.

7.4.3 Eficiencia térmica (η)

Es la relación entre la potencia desarrollada por el motor en el eje del cigüeñal a la potencia disponible en el combustible. La mayor parte de los motores de combustión interna tienen eficiencia comprendidas entre el 15 y el 30%. Al igual que el CEC, la eficiencia térmica varía según la velocidad del motor y la apertura del acelerador; alcanza su valor máximo solamente en un punto de operación y se calcula mediante la ecuación:

$$\eta = 13.1 / CEC(lb/h - HP) \quad \text{Ecuación 19}$$

7.4.4 Presión media efectiva al freno (PMEF)

Es la presión media ejercida por el motor sobre el pistón durante el ciclo de operación completo. La carrera de fuerza del pistón, que ocurre una vez durante cada ciclo, es la que proporciona potencia al cigüeñal; las otras tres carreras del pistón (admisión, compresión y escape) así como la fricción mecánica, absorben potencia del cigüeñal. La PMEF es la diferencia entre la presión correspondiente a la fuerza aplicada al cigüeñal en la carrera de impulso del pistón, y la suma de los valores de presión correspondiente a los estados en que se absorbe potencia del cigüeñal. Cuando se conoce el desplazamiento volumétrico del pistón la presión media efectiva al freno se calcula utilizando la ecuación:

$$PMEF = \frac{150.8 \times Par(lb.ft)}{Desplazamiento(plg^2)} \quad \text{Ecuación 20}$$

En donde el par se lee directamente en el medidor de carga del dinamómetro.

Valores típicos de PMEF en motores pequeños son: un motor de 2 tiempos 65 lb/plg², motor a gasolina de 4 tiempos ente 100 y 180 lb/plg², motor DIESEL 60 lb/plg².

7.4.5 Eficiencia volumétrica

Es la relación del volumen de mezcla de aire y combustible admitida en el cilindro cuando el motor opera al volumen real de aquél. Si el cilindro pudiera llenarse completamente en cada carrera de admisión, al eficiencia volumétrica sería del 100%. En la operación real esto no puede ser alcanzado debido a cierto número de factores, la mezcla de aire y combustible tiene inercia, la cual debe ser contrarestada para su aspiración hacia dentro del cilindro y existe fricción entre dicha mezcla y las paredes del múltiple de admisión. La temperatura de la mezcla, la presión del aire y el tamaño de la apertura de la válvula de admisión influyen en el valor de la eficiencia volumétrica. A medida que aumenta la velocidad del motor, el tiempo disponible para que se llene el cilindro durante la carrera de admisión es más corto, si la apertura del acelerador no se aumenta la eficiencia volumétrica disminuirá. Esta eficiencia en motores no sobrealimentados esta entre 60 y 80%, los motores con sobrealimentación puede alcanzar eficiencias hasta de 200%. La formula para calcular la eficiencia volumétrica es:

$$\eta_v = \frac{75500 \cdot \dot{m}_a}{\text{Desplazamiento}(plg^3) \cdot N}$$

Ecuación 21

7.4.6 Procedimiento

- a. Un paso preliminar consiste en revisar las conexiones de los diferentes sensores y sistema de medida de cantidad de aire y combustible.
- b. Asegurarse que el dinamómetro no este ofreciendo ninguna resistencia al motor.
- c. Dar arranque al motor en neutro y mantenerlo hasta alcanzar la

temperatura de funcionamiento (80 a 90 °C).

- d. Desembragar y cambiar la caja de cambios a cuarta revolución.
- e. Llevar el motor a 3500 RPM manteniéndolo en ese estado por 30 segundos
- f. Aumentar lentamente la apertura del acelerador hasta lograr su apertura total, al mismo tiempo se aumenta la carga buscando mantener constante las revoluciones, en 3500 RPM.
- g. Ajustar el carburador para la entrega de potencia máxima mediante la válvula de aguja.
- h. Ajuste el control de carga para una velocidad de 5000 RPM, registrando los valores de par de rotación, del consumo de aire y consumo de combustible.
- i. Mediante el control de carga del dinamómetro, sin cambiar el carburador, ajustar la velocidad del motor a 4500, 4000, 3500, 3000, 2500 y 2000 RPM; tomando los mismos datos del numeral anterior.
- j. Al llegar a 2000 RPM se quita la carga y se reduce la apertura del carburador hasta la mínima y apagar el motor.
- k. Calcular la potencia, el consumo de aire, el consumo de combustible, el CEC, la eficiencia volumétrica, la PMEF y la eficiencia térmica para cada velocidad de RPM.
- l. Con todos los datos registrados trazar una gráfica con respecto a las RPM de potencia, par, consumo específico de combustible y eficiencia volumétrica.

7.5 PRUEBA N° 4: PAR DE ROTACION, CONSUMO DE AIRE Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE A VELOCIDAD CONSTANTE Y APERTURA VARIABLE DEL ACELERADOR

Estando el acelerador totalmente abierto el sistema de suministro de combustible debe proporcionar una relación de aire y combustible razonablemente constante para todos los valores de RPM, en el caso de motores a gasolina esta relación debe ser de 12.5:1; en el caso de apertura parcial se debe empobrecer la mezcla hasta alcanzar una relación más económica (16:1 en caso de motor a gasolina).

En este experimento de laboratorio se someterá a prueba el sistema de suministro de combustible manteniendo la velocidad del motor en 3000 RPM y variando la apertura del acelerador según se aplique la carga.

7.5.1 Procedimiento

- a. Realizar las actividades a, b, c y d del numeral 7.4.7
- b. Con el motor a 3000 RPM aumentar lentamente la apertura del acelerador hasta quedar totalmente abierta mientras se aumenta la carga para mantener constante las revoluciones del motor.
- c. Ajustar la válvula de aguja del carburador para obtener una entrega máxima de potencia.
- d. Anotar los valores de par de rotación, consumo de aire y de combustible para una apertura del acelerador del 100%.
- e. Cambiar las aperturas del acelerador a un 80, 60, 40 y 20% ajustando el control de carga para mantener las 3000 RPM; tomar los mismos del numeral anterior.
- f. Luego quitar la carga y reducir la apertura del acelerador hasta la marcha

mínima, para terminar apagando el motor.

g. Realizar las actividades k y l que hace mención el numeral 7.4.7

7.6 CORRELACION DE LA POTENCIA OBSERVADA SEGÚN NORMA SAE J1349

Una característica de los motores de encendido por presión y de encendido por chispa es que su desempeño es afectado por la presión, temperatura y humedad del aire de entrada; por lo tanto es necesario aplicar un factor de corrección para tener en cuenta la diferencia entre las condiciones estándar del aire de entrada y aquellas observadas en los datos de entrada.

De acuerdo con la presente norma las condiciones estándar de aire de entrada son las siguientes

Presión de aire de entrada (absoluta)	100 kPa
Temperatura del aire de entrada	25 °C
Presión de aire seco de entrada (absoluta)	99 kPa

La norma recomienda solo utilizar los datos obtenidos dentro del rango de 80 a 110 kPa de presión absoluta y de 10 a 40 °C de temperatura del aire de entrada, en el caso de los motores post-enfriados, si se utiliza un enfriador auxiliar para los propósitos de la prueba, éste deberá simular la temperatura del aire en servicio o la temperatura de la mezcla en el múltiple de entrada, como si la temperatura de aire de entrada fuera 25 °C; en este caso no es necesario la correlación de temperatura.

Para motores de encendido por chispa, asumiendo una eficiencia mecánica del 85%, la potencia al freno a las condiciones estándar del aire de entrada (bp_c) se determina mediante la ecuación ----:

$$bp_c = bp_o \cdot \left[1.18 \left(\frac{99}{B_{do}} \right) \left(\frac{t + 273}{298} \right)^{0.5} - 0.18 \right] \quad \text{Ecuación 22}$$

De donde bp_o es la potencia al freno observada en las condiciones actuales de prueba.

B_{do} es la presión del aire de entrada a las condiciones actuales de la prueba.

T la temperatura del aire de entrada.

Los límites para bp_o/bp_o deben estar entre 0.93 y 1.07 .

Para el caso de motores DIESEL la correlación de potencia al freno en el nivelador en al posición de máxima carga es:

$$bp_c = bp_o (fa)^{fm} \quad \text{Ecuación 23}$$

De donde: $fa = \left(\frac{99}{B_{do}} \right) \left(\frac{t + 273}{298} \right)^{0.7}$ para motores naturalmente aspirados y mecánicamente sobrecargados.

$fa = \left(\frac{99}{B_{do}} \right)^{0.7} \left(\frac{t + 273}{298} \right)^{1.5}$ Para motores turbocargados y turbocargados pos-enfriados.

$fm = 0.3$ Para valores de q/r menores de 40

$fm = 1.2$ Para valores de q/r mayores de 65

$q = 120000 \frac{F}{D \cdot N}$ Para motores de cuatro tiempos

$$q = 60000 \frac{F}{D.N} \quad \text{Para motores de dos ciclos}$$

$$r = P_o / B_o \quad \text{Relación de compresión, es 1 para motores naturalmente aspirados.}$$

F es el flujo de combustible en G/s

D es el desplazamiento del motor en litros

P_o la presión absoluta del múltiple de admisión en kPa en condiciones actuales de prueba.

B_o la presión absoluta del aire de entrada en kPa en condiciones actuales de prueba.

Los límites para bp_o/bp_o debe estar entre 0.9 y 1.10

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se observó que el LMTA cuenta con una serie de equipos y conocimiento desarrollado en el campo de los MCIA, pero para que éste ofrezca un servicio a nivel competitivo tanto a los estudiantes como a la industria se hace necesario una remodelación y modernización de todas las instalaciones, empezando por su infraestructura civil y continuando con la modernización de equipos y optimizar la utilización de los existentes.

De la propuesta del presente trabajo la nueva instalación del LMTA contaría con tres salas de pruebas de motores alternativos, como son una para motores a gasolina y GNV, otra para motores DIESEL y una última para motores de dos tiempos; además con espacios específicos para herramientas y equipos, oficina para el profesor titular y para el auxiliar de laboratorio, biblioteca y centro de computo, y por último un centro de conferencias. Todo esto organizado en dos niveles.

Al culminar este proyecto el LMTA cuenta con un banco de pruebas para motores a gasolina y GNV operativo en la parte mecánica y con dos proyectos de grado desarrollándose orientados por el autor y que tienen como objetivo, por un lado medir la relación aire – combustible y por otra la automatización del sistema para determinar el estado de funcionamiento del motor en forma segura, tanto para los usuarios como para todo los equipos.

Con el desarrollo de esta tesis se diseño y fabrico el prototipo del equipo DIAGMA D-100 con lo cual el LMTA como representante de la Universidad Industrial de Santander junto con otras entes como COLCIENCIAS y la CDMB cuentan con un

equipo móvil que le permite realizar actividades de campo o de laboratorio para el diagnostico de motores DIESEL mediante pruebas no intrusivas.

Durante el proceso de ejecución del proyecto se aplico factores ergonomicos en todos los niveles, ya sea en el diseño del prototipo del equipo DIAGMA D-100 como en la propuesta de modernizacion del laboratorio. Si se da feliz término a la propuesta de modernización se invita tener en cuenta las diferentes recomendaciones expresadas en esta tesis sobre factores de seguridad industrial, de señalizacion e identificación y de relaciones persona-entorno.

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] PLINT, Michael y MARTYR, Anthony. Engine Testing Theory and practice. Oxford, Inglaterra. Butterworth-Heinemann : 1995. p.
- [2] KONZ, Stephan. Diseño de sistemas de trabajo. México. Editorial Limusa S.A. 2001. p 110-125, 213-250
- [3] WASDYKE, Raymond. Motor de gasolina de cuatro tiempos, operación, prueba y evolución. México. Editorial Limus: 1976.
- [4] HEYWOOD, J.B. Internal combustion engine fundamentals. Estados Unidos. McGraw Hill: 1988.
- [5] LOWSON, J.C. Occupational health and safety, Volumen 1. Estados Unidos. McGraw Hill book company: 1971.
- [6] MONDELO, Pedro R., y GREGORI, Enrique. Ergonomía 3 Diseño de puestos de trabajo. México. ALFAOMEGA grupo editor S.A. 2001.
- [7] CROSS, Nigel. Métodos de diseño Estrategias para el diseño de productos. México. Editorial LIMUSA S.A: 2002.
- [8] NFPA 37 Standards for the Installation and Use of Stationary Combustion Engines and Gas Turbines. 1990 Edition.
- [9] Tesis: Diseño y Construcción de un Banco de Pruebas para Motores, primera parte. **Mario A. Capacho – Luis F. Villareal – Jesús E. Rueda.** Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 1982

[10] MUTHER, Richard. Systematic layout planning. USA. Cahners Books company, inc: 1976

[11] Tesis: Conversión de un motor estacionario de gasolina a gas natural, prueba y evaluación. **Juan Carlos Villadiego Torres**. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2001.

ANEXOS

ANEXO A. FRENOS DINAMÓMETRICOS PARA MOTORES DE COMBUSTION INTERNA

A.1 CONSTANTE AL FRENO

Una característica importante de todo dinamómetro es la **constante del freno** la cual se relaciona con la longitud del brazo del dinamómetro, y con ella se establece el par y la potencia del motor de la siguiente forma:

$$N_e = \frac{M_e \cdot w}{1000} = \frac{F \cdot b}{1000} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}$$

Ecuación 24

Siendo:

- N_e : Potencia efectiva (kW).
- M_e : Par efectivo (Newtons · metro).
- n : régimen de giro (r.p.m.).
- b : longitud del brazo (metro).
- F : Fuerza de la balanza (Newtons).

En función a la constante del freno $N_e = F \cdot N / K$

Con lo que la constante del dinamómetro queda:

$$K = \frac{6000}{2 \cdot \pi \cdot b}$$

Ecuación 25

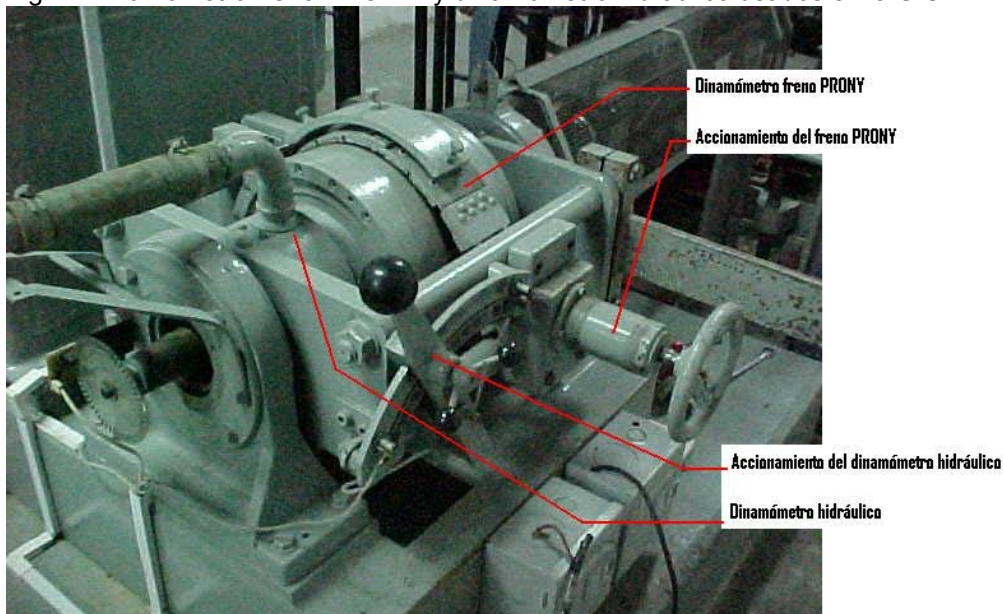
A.2. TIPOS DE DINAMÓMETROS

Los **Dinamómetros de fricción** están compuestos por zapatas que frenan un tambor que gira solidariamente con el cigüeñal del motor (Freno Prony), de esta forma crean un par de restricción igual al que debe vencer el motor, sabiendo así el par ofrecido por este en cada momento; necesitan el suministro de un fluido de

refrigeración (agua). En la actualidad son muy poco utilizados.

En el caso de los **Dinamómetro hidráulicos** se caracterizan por ser de construcción fácil y sencilla, y poseer una respuesta casi cuadrática, suelen ser más baratos que los demás tipos de frenos y de fácil mantenimiento, pero por contra tienen el inconveniente de tener una difícil automatización. Están formados por un rotor con paletas semielípticas en forma de bolsas, las cuales, al girar arrastradas por el eje del motor producen un movimiento toroidal intenso en el agua existente en la cavidad formada por el rotor y el estator. Estos anteriores tipos de dinamómetros observados en la fig. 1 se encuentran en el LMTA de la UIS.

Fig. 1. Dinamómetro freno PRONY y dinamómetro hidráulico usados en la UIS



Fuente: El autor

Los **Dinamómetros eléctricos tipo dinamofreno** están constituido por una dínamo que absorbe la potencia del motor por su eje y genera corriente eléctrica, provocando un par de vuelco sobre el estator (carcasa) que, como en los casos anteriores, está balanceado. La potencia absorbida se puede medir al igual que en los dinamómetros anteriores mediante una celda de carga, que mide el par torsor creado, o bien mide la energía eléctrica generada (Potencia eléctrica

suministrada); este tipo de dinamómetro es en general robusto, fácil de automatizar y también se puede emplear en sentido inverso como arranque del motor de combustión o como motor de arrastre.

Como principales inconvenientes, se encuentran con que son muy voluminosos para la potencia absorbida y que su precio es muy alto, en comparación con otros tipos de freno, además presentan una elevada inercia, lo cual puede provocar vibración torsional e incluso una pobre respuesta a cambios de velocidad, lo que los descarta para ensayos de transitorios.

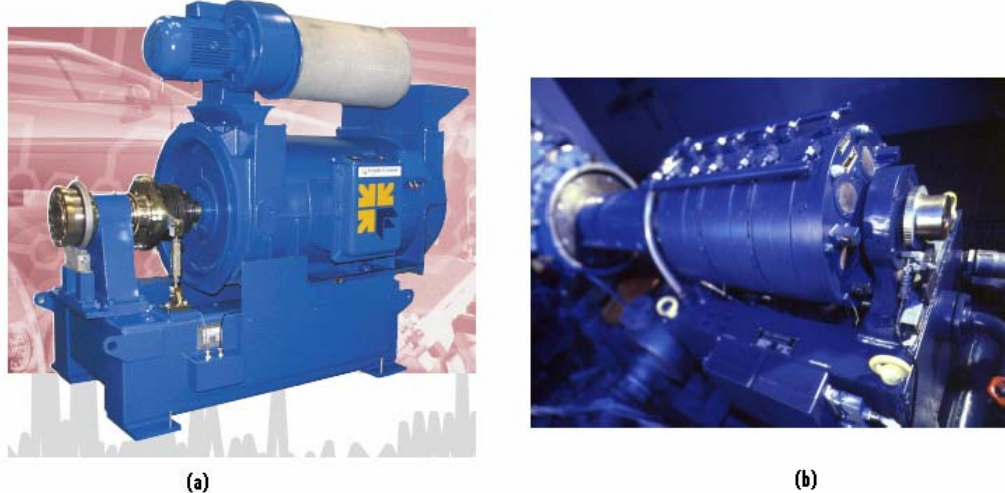
Por otro lado, los ***Dinamómetros eléctricos tipo asíncronos***, fig. 2a, consisten esencialmente en un motor de inducción que, gracias a la tecnología actual, ofrecen casi las mismas características de funcionamiento que los dinamofrenos con la ventaja adicional de tener una menor inercia y no depender de un convertidor de corriente; la velocidad del motor de inducción se controla regulando la frecuencia de la tensión de alimentación, por lo que la fuente de alimentación comprende un rectificador, un circuito intermedio y un inversor de tensión para generar la tensión de frecuencia variable.

Estos frenos presentan ciertas ventajas con respecto a otros tipos de frenos como por ejemplo permiten la automatización, el control sobre varias variables, permite una amplia gama de características par/velocidad, instalación mecánica sencilla además que no requiere esfuerzos por parte del operario.

El ***Dinamómetro electromagnético, de Foucault o de corrientes de Eddy*** figura 2b, constan de un rotor con aspecto de dientes anchos y paso largo, formando polos magnéticos, por contra en el estator existen una o varias bobinas de campo que son excitadas con una pequeña corriente continua; cuando se produce esa excitación de las bobinas, se crea un campo magnético que une al rotor con el estator, siendo en las cabezas de los dientes donde se producen fuertes concentraciones de flujo, las cuales al girar el rotor en cualquiera de ambas

direcciones crean corrientes de Foucault cerca de la periferia interna del estator, así tiende a impedir el giro del rotor y puede absorber la potencia, pudiendo graduarse mediante la regulación de la corriente de excitación.

Fig. 2. En la parte (a) se observa un dinamómetro AC y en (b) un tipo Corrientes de Eddy



Fuente: Tomado de catalogo de la empresa FROUDE CONSINE

La potencia del motor absorbida por el freno se transforma íntegramente en calor, que es evacuado por medio de un caudal de agua de refrigeración que circula en espacio anular existente entre rotor y estator. De acuerdo con las características funcionales existen unos dinamómetros sencillos y de gran versatilidad, capaces de cubrir una amplia gama de ensayos, siendo hoy día uno de los elementos mas utilizados en ensayos de motores, pero por el contrario su precio es mayor que comparado con los frenos hidráulicos.

Otro tipo son los ***Dinamómetros oleohidráulicos***, el motor que está acoplado al freno acciona una bomba de aceite, la cual impulsa el aceite hasta una válvula donde es laminado y la energía absorbida por el aceite se transforma en calor.

Las principales ventajas que presentan este tipo de dinamómetros son las siguientes:

- *Absorben alto par a baja velocidad.*

- *Tienen bajo momento de inercia.*
- *Sé autolubrican.*
- *No sufre corrosiones como los hidráulicos.*
- *Tienen un alto amortiguamiento torsional.*
- *Gran estabilidad.*
- *Construcción muy sencilla y compacta.*

Pero por el contrario su principal problema es que el calentamiento del aceite le provocan una degradación y pérdida de propiedades rápida, que para evitarlo, después de utilizarlo y antes de devolverlo al depósito, se hace pasar por un intercambiador de calor donde es enfriado y posteriormente filtrado.

Por último esta el ***Dinamómetro de polvo magnético*** que trabajan con una sustancia denominada polvo férrico el cual se encuentra sometido a un campo magnético, por lo que se comporta como tal, siendo su viscosidad creciente con la intensidad del campo, el principio de frenado es debido al rozamiento de las partículas del polvo por la acción del campo magnético.

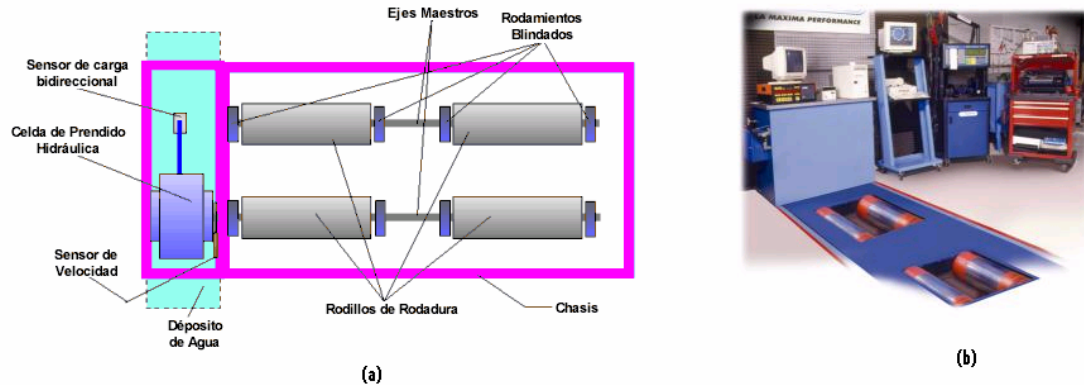
Básicamente este freno consta de un rotor que gira dentro de un estator magnetizado por una bobina, al excitarse la bobina, el polvo magnético del entrehierro establece un vínculo mecánico entre el eje y la carcasa. Siendo está la que transmite el par a una célula de carga extensiométrico, que junto al acondicionador que lleva constituyen un sistema de medida de fuerzas de precisión.

Estos frenos disponen de dos métodos posibles de excitación, como son:

- *Método de par constante.*
- *Método de par proporcional.*

Para la medición de potencia en motores en chasis se utiliza ***Dinamómetros de rodillo***, en éstos el vehículo ubica sus llantas sobre rodillos los cuales van al eje de un dinamómetro, que puede uno de tipo PRONY; ver fig. 3.

Fig. 3. Partes constituyentes de un dinamómetro de rodillos y muestra de una instalación



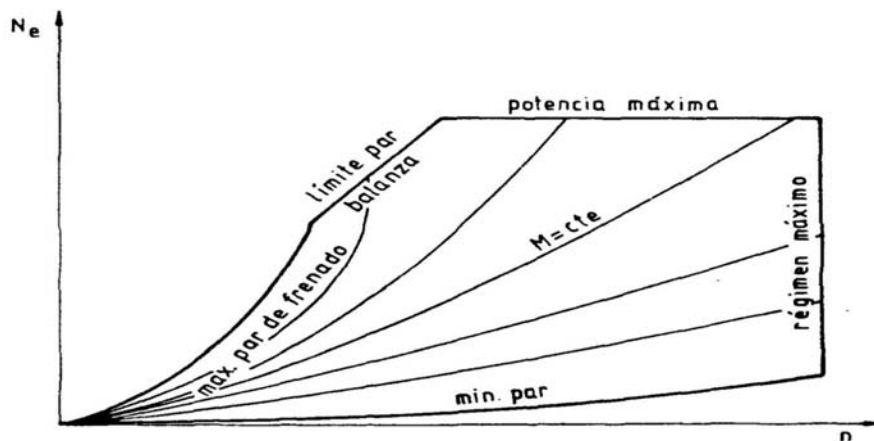
Fuente: Tomado de catálogos de la empresa DINAMOTOR S.R.L de Argentina.

A.3. VARIABLE PARA LA SELECCIÓN DEL DINAMÓMETRO

En la selección de un dinamómetro para un motor es necesario conocer por una parte la constante del freno, y por otra las curvas características del funcionamiento del mismo, con el fin de cubrir todos los posibles puntos de funcionamiento del motor.

En la fig. 4 se puede observar una serie de curvas características del mapa de utilización de un freno típico de potencia contra velocidad, cuyos límites de funcionamiento son los siguientes:

Fig. 4. Disposición típica de los soportes del motor



Fuente: Tomado de Engine Testing Theory and practice, PLINT Michael. Butterworth Heinemann, p 110

- **Línea de máximo régimen:** Línea vertical que corresponde con la máxima velocidad admisible en el freno como consecuencia de los esfuerzos centrífugos que se originan.
- **Línea de potencia máxima:** Potencia que puede absorber el freno, generalmente limitado por la capacidad de este para disipar el calor.
- **Línea de par mínimo:** El empleo del freno por debajo de esta línea puede dar lugar a errores como consecuencia de la falta de precisión originada por la fricción de sus órganos puesto que tienen el mismo orden de magnitud que la potencia a medir.
- **Línea de par máximo en la célula de carga o en la balanza:** Máxima lectura de que es capaz el elemento de medida.
- **Línea de par máximo del freno:** Curva límite que da el máximo par resistente que puede oponer el freno para distintos regímenes de giro.

De acuerdo a estas consideraciones y a la necesidad que existe en la sala de controlar en todo momento todos y cada uno de los parámetros de funcionamiento mediante un sistema lo mayormente automatizado y una adquisición de datos lo más perfectos posible, se justifica de forma enérgica la elección de un dinamómetro de características eléctricas.

Michael Plint en su libro *Engine Testing Theory and practice* suministra una guía que la reproduzco en la Tabla 1, en esta se comparan los frenos desde el punto de vista de la potencia del motor a ensayar como limite de aplicación de los mismos.

Tabla 14 Disponibilidad de dinamómetros para diferentes aplicaciones

	<i>Motores hasta 50kW</i>	<i>Motores automóvil 50-500kW</i>	<i>Motores marinos y estacionarios 500-5000kW</i>	<i>Motores marinos 5000-50000kW</i>	<i>Turbinas a gas</i>
Hidráulicos	A	A	A	A	A
Hidroestático.	NA	B	NA	NA	NA
Eléctricos D.C.	A	A	A	NA	NA
Eléctricos A.C..	B	A	NA	NA	NA
Corriente de Eddy	A	A	NA	NA	B
Refrigerados por aire	B	NA	NA	NA	B
Híbridos	NA	B	NA	NA	NA

De donde **A** significa una solución preferente, **B** es una alternativa y **NA** que no es aplicable.

Fuente: PLINT Michael. Engine Testing Theory and practice. Inglaterra. Butterworth Heinemann. 1995. p 112

ANEXO B. DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA EL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DEL MCIA DEL LMTA

B.1 INTRODUCCION

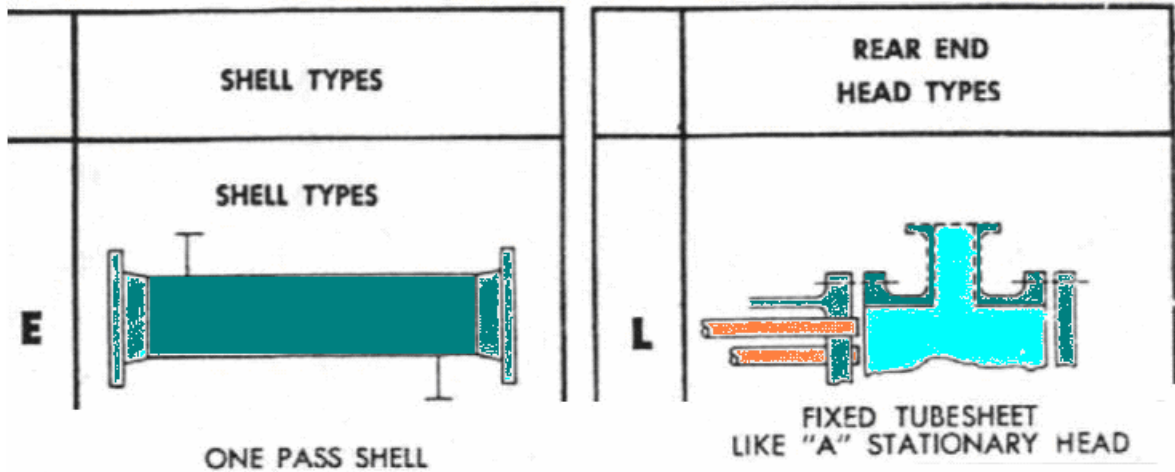
El siguiente es el diseño térmico del intercambiador de calor en reemplazo del radiador que posee el motor RENAULT 21 del Banco de Pruebas de Motores del LMTA de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UIS. Se ha propuesto al profesor encargado del laboratorio la convocatoria de un proyecto de grado encaminado al diseño mecánico de intercambiador y de una torre de enfriamiento, junto con su fabricación y puesta en funcionamiento para dar una solución real a dicho banco de pruebas.

Michael Plint y Anthony Martyr establecen en su libro “**Engine Testing, Theory and practice**” que una buena aproximación es considerar un incremento de la temperatura del agua de enfriamiento al pasar por las camisas del motor de 10°C, la temperatura de funcionamiento promedio de un motor de combustión interna es de 85°C (358 K).

Considerando falla del sistema y un incremento de temperatura hasta 120 °C, la presión sería de 198.48 kPa (28.787 PSI o 1.98 bar). La clasificación del I.C a diseñar, según la presión máxima que se podría presentar es **Clase 75**, para una presión de trabajo de 75 PSI; ya que la anterior clasificación es para 20 PSI.

El diseño a realizar corresponde a un intercambiador de *tipo fijo* o **intercambiador con cabezal de tubo estacionario sin fuelle de expansión (Intercambiador Tipo 1**, según los estándares mencionados en el numeral 3.2.3 del libro del proyecto), esta conformado por el casco o caraza, equipada con dos entradas o ramas y dos placas porta tubos o espejos a ambos lados, estas también sirven de bridas para fijar las dos cámaras de agua o canales; cada cámara de agua lleva sus respectivas tapas, fig.5. Los tubos se expanden en ambas placas y están equipados con deflectores transversales o baffles en el lado del casco.

Fig. 5. Casco tipo E y cabeza tipo L según la norma TEMA



B.2 PROGRAMA DESARROLLADO EN MATHCAD PROFESSIONAL

1. Datos fluido por el casco (agua caliente del motor)

Temperatura de entrada: $t_{ec} := 365 \text{ K}$

Temperatura de salida: $t_{sc} := 355 \text{ K}$

Coeficiente global (asumido): $U_a := 1500 \frac{\text{W}}{\text{K} \cdot \text{m}^2}$

Número de pasos por tubo: $NPT := 2 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

Propiedades físicas del fluido: $C_{pc} := 4195 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ $\mu_c := 0.00034 \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$

$k_c := 0.671 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$ $\nu_c := 0.0010 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$

2. Datos fluido por los tubos (agua fría)

Temperatura de entrada: $t_{ef} := 296 \text{ K}$

Temperatura de salida: $t_{sf} := 310 \text{ K}$

Propiedades físicas del fluido: $\rho_f := 997.01 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ $C_{pf} := 4179 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

$\mu_f := 0.000851 \text{ N} \cdot \frac{\text{s}}{\text{m}^2}$ $Pr_{ant} := 5.83$

$k_f := 0.613 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$

Número de pasos por casco: $NPC := 2$

Dimensiones del tubo: Longitud $L := 0.7 \text{ m}$

Diámetro externo $D_{et} := 0.00794 \text{ m}$

Diámetro interno $D_{it} := 0.00635 \text{ m}$

3. Condiciones requeridas.

Debido a que el Banco de Pruebas esta disponible para cualquier tipo de motor automotriz, el intercambiador de calor se diseñará considerando la instalación de un motor a DIESEL de 350 bhp (261 kW).

La potencia transformada en calor que debe ser transferida al fluido de enfriamiento es teóricamente considerado del 33 por 100 de la potencia desarrollada por el motor, por condiciones de seguridad adoptaré que por cada unidad de potencia desarrollada por el motor el agua de enfriamiento debe absorber 0.6 unidades de calor.

El calor transportado por el agua de enfriamiento del motor sera:

$$Q_{nc} := 0.6 \cdot 261 \quad Q_{nc} = 156.6 \text{ kW} \quad Q := Q_{nc} \cdot 1000 \quad Q = 1.566 \times 10^5 \text{ W}$$

4. Caudales necesario de fluido caliente:

$$m := \frac{Q_{nc}}{(t_{ec} - t_{sc}) \cdot \frac{C_{pc}}{1000}} \quad m = 3.729 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$Q_{fc} := m \cdot v_c \quad Q_{fc} = 3.841 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

5. Determinación del factor de corrección MTD

$$R := \frac{(t_{ec} - t_{sc})}{t_{sf} - t_{ef}} \quad R = 0.714 \quad P := \frac{(t_{sf} - t_{ef})}{t_{ec} - t_{ef}} \quad P = 0.203$$

Factores para determinar F por ecuaciones:

$$P_y := \frac{(R \cdot P - 1)}{P - 1}$$

$$P_x := \frac{\left(\frac{1}{1 - P_y^{\frac{1}{NPC}}} \right)}{\frac{1}{R - (P_y)^{\frac{1}{NPC}}}}$$

El factor F debe ser mayor o igual a 0.85

$$F := \left[\frac{(R \cdot R + 1)^{0.5}}{R - 1} \right] \left[\frac{\ln \left[\frac{(1 - P_x)}{1 - R \cdot P_x} \right]}{\ln \left[\frac{\left[\left(\frac{2}{P_x} \right) - 1 - R + (R^2 + 1)^{0.5} \right]}{\left(\frac{2}{P_x} \right) - 1 - R - (R^2 + 1)^{0.5}} \right]} \right]$$

luego $F = 0.998$

6. Determinación el área de transferencia y del número total de tubos necesarios:

$$LMTD_{cc} := \frac{[(tec - tef) - (tsc - tsf)]}{\ln \left[\frac{(tec - tef)}{tsc - tsf} \right]} \quad LMTD_{cc} = 56.148$$

$$\text{Área total de transferencia de calor: } A_{trc} := \frac{Q}{U_a \cdot F \cdot LMTD_{cc}} \quad A_{trc} = 1.863 \text{ m}^2$$

$$\text{Área de transferencia por el casco: } A_{tpc} := \frac{A_{trc}}{NPC} \quad A_{tpc} = 0.931 \text{ m}^2$$

$$\text{Número de tubos por paso del casco: } NTT_c := \frac{A_{tpc}}{\pi \cdot Det \cdot (L - 0.0127)} \quad NTT_c = 54.326$$

$$\text{Número total de tubos: } NTT := NTT_c \cdot NPC \quad NTT = 108.651 \quad NTT := 112$$

7. Determinación de las condiciones por el tubo

$$\text{Flujo másico: } M_t := \frac{Q}{C_{pf} \cdot (tsf - tef)} \quad M_t = 2.677 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\text{Caudal de fluido frio: } Q_{ff} := \frac{M_t}{\rho_f} \quad Q_{ff} = 2.685 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Velocidad del flujo por los tubos (debe ser mayor a 1 m/s para evitar estanqueidad):

$$V_{ft} := \frac{M_t}{\rho_f \cdot \left(\frac{N_{TT}}{N_{PT}} \right) \cdot \pi \cdot \frac{D_{it}^2}{4}} \quad V_{ft} = 1.528 \frac{m}{s}$$

8. Determinación de h_i por los tubos:

Área interna de transferencia de calor: $A_{itrc} := \pi \cdot D_{it} \cdot L \quad A_{itrc} = 0.014 \text{ m}^2$

Área externa de transferencia de calor: $A_{etrc} := \pi \cdot D_{et} \cdot L \quad A_{etrc} = 0.017 \text{ m}^2$

Número Reynolds por los tubos: $Re_i := \rho_f \cdot V_{ft} \cdot \frac{D_{it}}{\mu_f} \quad Re_i = 1.126 \times 10^4$

Según el número de Reynolds el flujo es turbulento y el coeficiente de convección se puede calcular por la ecuación:

Número Nusselt por los tubos: $Nu_t := 0.023 \cdot Re_i^{\frac{4}{5}} \cdot Pr^{0.4} \quad Nu_t = 81.152$

Coeficiente de transferencia interno de calor por convección:

$$h_i := Nu_t \cdot \frac{k_f}{D_{it}} \quad h_i = 7.871 \times 10^3 \frac{W}{K \cdot m^2}$$

9. Determinación del coeficiente externo de transferencia de calor (h_e). flujo por el casco:

Características geométricas de la distribución de los tubos:

Distribución de tubos a 90°, con separación: $L_{tp} := 0.010 \text{ m}$

Diámetro del círculo de los tubos: $Dotl := 0.136 \text{ m}$

Diámetro interno seleccionado del casco: $D_s := 0.148 \text{ m}$

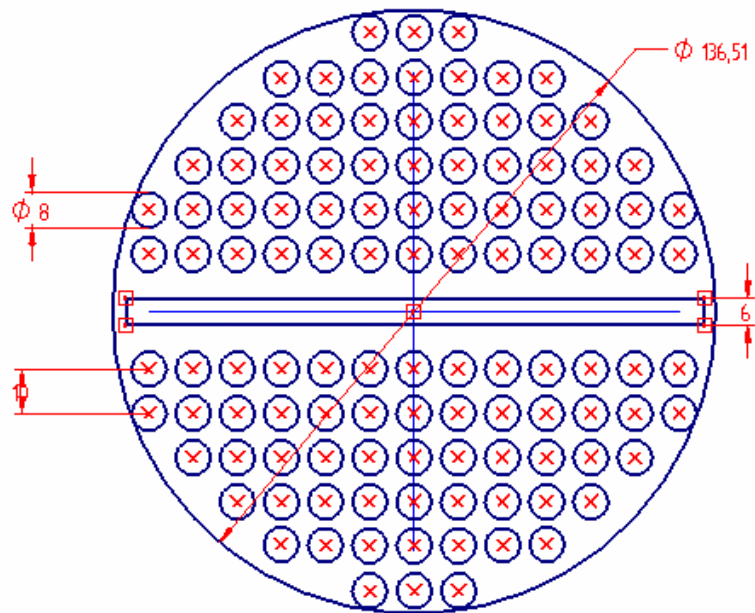
Diámetro externo del casco seleccionado: $D_c := 0.155 \text{ m}$

Separación mínima diametral entre casco y $Dotl$ (fig. 6):

$$L_{bb} := D_s - Dotl \quad L_{bb} = 0.012 \text{ m}$$

Espaciado entre baffles: $L_{bc} := 0.08 \text{ m}$

Fig. 6. Determinación del $Dotl$ para los 112 tubos, medidas en mm



Condiciones de operación:

$$\text{Area de sección de flujo: } S_m := L_{bc} \cdot \left[L_{bb} + \frac{Dotl}{L_{tp}} \cdot (L_{tp} - Det) \right]$$

$$S_m = 3.201 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Velocidad de masa transversal: $V_{mt} := \frac{m}{S_m}$ $V_{mt} = 1.165 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{s} \cdot \text{m}^2}$

Número de Reynolds: $Res := \frac{Det \cdot V_{mt}}{\mu c}$ $Res = 2.697 \times 10^4$

Número Prandtl: $Prc := C_{pc} \cdot \frac{\mu c}{k c}$ $Prc = 2.146$

Factor para banco de tubos ideal: $a := \frac{1.187}{1 + 0.14 \cdot Res^{0.37}}$

$$J_i := 0.37 \cdot \left(\frac{1.33}{\frac{L_{tp}}{Det}} \right)^a \cdot Res^{-0.395} \quad J_i = 6.637 \times 10^{-3}$$

Coeficiente base de transferencia de calor por convección en el banco de tubos ideal:

$$\alpha_i := J_i \cdot C_{pc} \cdot V_{mt} \cdot Prc^{-0.6666} \quad \alpha_i = 1.951 \times 10^4 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Corte del bafle como porcentaje de D_s : $BC := 20\%$

$$\theta_{otl} := 2 \cdot \left[\frac{180}{\pi} \arccos \left[\left(\frac{D_s}{D_{otl}} \right) \cdot \left[1 - 2 \cdot \left(\frac{BC}{100} \right) \right] \right] \right] \quad \theta_{otl} = 98.473$$

Fracción de tubos ubicados en la ventana del bafle:

$$F_w := \left(\frac{\theta_{otl}}{360} \right) - \frac{\sin(\theta_{otl})}{2 \cdot \pi} \quad F_w = 0.414$$

Fracción de tubos en flujo cruzado: $F_c := 1 - 2 \cdot F_w \quad F_c = 0.172$

Separación diametral casco-baffles: $L_{sb} := 0.0016 + 0.004 \cdot D_s \quad L_{sb} = 2.192 \times 10^{-3} \text{ m}$

$$L_{sb} := 0.001 \text{ m}$$

Angulo central entre intersección del corte del baffle y la pared interna del casco:

$$\theta_{ds} := 2 \cdot \left[\frac{180}{\pi} \arccos \left[1 - 2 \cdot \left(\frac{BC}{100} \right) \right] \right] \quad \theta_{ds} = 106.26$$

Área de fuga casco-baffle: $S_{sb} := \pi \cdot D_s \cdot \left(\frac{L_{sb}}{2} \right) \cdot \left[\frac{(360 - \theta_{ds})}{360} \right] \quad S_{sb} = 1.639 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

Área del hueco de fuga tubo-baffle, para un baffle:

$$S_{tb} := \left[\left(\frac{\pi}{4} \right) \cdot \left[(Det + 0.007)^2 - Det^2 \right] \right] \cdot [NTT \cdot (1 - F_w)]$$

$$S_{tb} = 8.254 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Relación entre las áreas de fugas casca-baffle:

$$r_s := \frac{S_{sb}}{S_{sb} + S_{tb}} \quad r_s = 0.019$$

Relación de área de fuga y área de sección de flujo:

$$r_{lm} := \frac{(S_{sb} + S_{tb})}{S_m} \quad r_{lm} = 2.629$$

Factor de corrección por los efectos de fugas por el baffle en la transferencia de calor: $J_l := 0.44 \cdot (1 - r_s) + [1 - 0.44 \cdot (1 - r_s)] \cdot \exp(-2.2 \cdot r_{lm}) \quad J_l = 0.433$

Área de bypass para un baffle:

$$S_b := L_{bc} \cdot (D_s - D_{otl}) \quad S_b = 9.6 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Relación entre áreas de bypass y sección de flujo:

$$F_{sbp} := \frac{S_b}{S_m} \quad F_{sbp} = 0.3$$

Número de tubos efectivos cruzando la sección de flujo:

$$N_{tcc} := \left(\frac{D_s}{L_{tp}} \right) \cdot \left[1 - 2 \cdot \left(\frac{BC}{100} \right) \right] \quad N_{tcc} = 8.88$$

Factor de corrección por el efecto en la transferencia de calor del bypass (para

Reynolds mayor de 100:

$$J_b := \exp \left[-1.25 \cdot F_{sbp} \cdot \left[1 - \sqrt[3]{2 \cdot \left(\frac{N_{PT}}{N_{tcc}} \right)} \right] \right] \quad J_b = 0.916$$

Factor de corrección por ventana del baffle:

$$J_c := 0.55 + 0.72 \cdot F_c \quad J_c = 0.674$$

Factor de corrección por gradiente de temperatura adverso en flujo laminar:

como $Re_s > 100$ entonces $J_r := 1$

Coefficiente real de transferencia de calor por convección:

$$h_e := \alpha_i \cdot J_c \cdot J_l \cdot J_b \cdot J_r \quad h_e = 5.217 \times 10^3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

10. Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor.

Se define en términos de la resistencia térmica total para la transferencia de calor entre dos fluidos.

Conductividad térmica de los materiales (cobre): $k_m := 401 \frac{W}{m \cdot K}$

Resistencia por tubería: $R_p := \frac{\ln\left(\frac{D_{et}}{D_{it}}\right)}{2 \cdot \pi \cdot k_m \cdot L}$ $R_p = 1.294 \times 10^{-4}$

Valor de U x A: $UA := \frac{1}{\left(\frac{1}{h_i \cdot A_{itrc}}\right) + R_p + \frac{1}{h_e \cdot A_{etrc}}}$ $UA = 49.387$

Valor de U calculado: $U := \frac{UA}{A_{itrc} + A_{etrc}}$ $U = 1.575 \times 10^3 \frac{W}{K \cdot m^2}$

Porcentaje de error: $\%E := \left[\frac{(U - U_a)}{U} \right] \cdot 100$ $\%E = 4.754$ menor del 5%

ANEXO C. COTIZACION DE EQUIPOS NECESARIOS PARA LA PROPUESTA DE MODERNIZACION DEL LMTA

C.1 DINAMOMETRO DE CORRIENTES DE EDDY AG400 Y AG150

La siguiente es la cotización enviada por **FROUDE CONSINE** gracias a una solicitud realizada por el autor del presente proyecto de grado.



***400KW EDDY CURRENT DYNAMOMETER
PACKAGE***

***150KW EDDY CURRENT DYNAMOMETER
PACKAGE***

FOR

UNIVERSITY OF SANTANDER

TENDER REFERENCE:

3449

Dated 23 FEBRUARY 2005

SUBMITTED BY:

FROUDE CONSINE

BLACKPOLE ROAD

WORCESTER

WR3 8YB

TEL +44 (0)1905 856810

FAX +44 (0)1905 856811

FROUDE CONSINE QUALITY ASSURANCE

This section highlights the quality accreditations obtained by Froude Consine.

- BS EN ISO 9001: 1994 Certificate of Registration No: Q 10350



- Environmental Management to BS EN ISO 14001.



Certificate of Registration No: ENS45645

- Quality Management system to BS EN ISO 9001



Certificate of registration No: Q 10350

- Ford  Quality Operating System (QOS).



1.0 FROUDE CONSINE: COMPANY BACKGROUND

The original Froude hydraulic dynamometer goes back to 1877 when William Froude developed a device for naval applications. Originally established in Manchester, the Heenan & Froude Company moved to Worcester in 1903. The company was involved in varied engineering and construction activities and became a leading employer in the Midlands supplying some of the first test equipment to the emerging UK automotive industry.

In the 1980's the company acquired related businesses and continued to expand its market leadership in engine and vehicle test systems. In 1987 Froude Consine became part of FKI plc, moving in 1995 to a new facility in Worcester. Froude Hofmann Prueftechnik was acquired in 1996 and offices in France and USA were established to service these markets.

Froude Consine employs 150 people housed in a single modern factory in Worcester. Products include Engine and Chassis Dynamometers and Control Systems for Performance, Endurance, Emission, Climatic, EMC and NVH testing. Engine dynamometers of Hydraulic, Eddy Current and AC types are available for the automotive, power generation and aviation industries. A Robot Driver system for vehicle endurance and emissions testing is available that was recently honoured with the presentation of the UK Design Council Millennium Award. Froude Hofmann, a sister company based in Elze, Germany, produces a complementary range of Dynamometers and End of Line Vehicle Test systems.

Froude Consine have a dedicated quality department and are holders of Ford Q1, ISO9001, TickIT, ISO14001, and Investors In People accreditations. Facilities at

Worcester include in house test areas, where all products are fully tested prior to delivery and a dedicated Customer Training Facility that allows training and testing in a genuine test environment. Engineering design is carried out utilising CAD (2D and 3D) systems that also generate full equipment production parts listings.

The parent FKI plc. is a FTSE 250 company and an international specialist engineering group with an annual turnover in 2000/2001 of \$2,500,000,000. There are four divisions and Froude Consine is part of the Energy Technology Division. Froude Consine is an important unit within this Division of FKI plc and benefits from the financial security and stability of membership of a large industrial group. Froude Consine is committed to long-term investment in facilities and products and maintains a policy of continuous product development.

2.0 EXECUTIVE SUMMARY

This quotation is in response to your request relating to an *400kW Eddy Current Dynamometer Package*

OVERVIEW OF THE OFFER

Froude Consine recognise the very high quality standards required from our customers and we welcome this opportunity to build a professional relationship between our two organisations to provide a state of the art chassis dynamometer for use in an RF Anechoic Chamber.

Froude dynamometers have an extremely high reputation within the industry for performance, reliability and longevity. The design of this *400kW Eddy Current Dynamometer Package* means that the maintenance requirements are extremely low, with only the main roller bearings requiring grease lubrication every 5000

hours. Low maintenance requirements and running costs are a direct result of the high design and production standards imposed by Froude Consine and expected by our customers.

3.0 QUOTATION OF THE PACKAGE

400kW Eddy Current Dynamometer Package	Price (£)
AG400 Dynamometer	36000
Calibration Assembly	1035
Calibration Weights	1175
Filter	145
Texcel V4ECE Controller	11540
Desk Top Case	560
TX21 Throttle Actuator	2780
Texcel V4plus Data Acquisition	13655
16 Ch. I/O Package	2585
150kW Eddy Current Dynamometer Package:	
AG150 Dynamometer	20000
Calibration Assembly	1035
Calibration Weights	1175
Filter	145
Texcel V4ECE Controller	11540
Desk Top Case	560
TX21 Throttle Actuator	2780
Texcel V4plus Data Acquisition	13655
16 Ch. I/O Package	2585

C.2 EQUIPO ANALIZADOR DE GASES DE ESCAPE MEXA 7100

A continuación la cotización enviada por la empresa **HORIBA** como respuesta a petición realizada por el autor del proyecto.

 <i>A World Ahead In Environmental Technology</i> 5900 Hines Drive, Ann Arbor, Michigan 48108 Telephone: 734-213-6555 and 800-3HORIBA (800-346-7422) Fax: (734) 213-6525 www.horiba.com		COST ESTIMATE Page 1 of 4	
To:	Universidad Industrial de Santander Bucaramanga, Columbia	Date :	January 29, 2005
Attention:	Luis Alfredo Niño	Quotation No.:	3010608
		Customer Inquiry No:	Verbal
Item	Qty	Description	Unit Price US\$
			Net Price US\$

1.0 1 MEXA-7100DEGR ENGINE OUT ANALYTICAL BENCH

\$170,171. \$170,171.

This system consists of one 19 inch analytical rack with raw sample line, OVN-723A (Oven with Heated FID and Heated NO_x), EGR sample system, and is controlled by a MCU (Main Control Unit).

The system includes the following items:

A. MEXA-7100DEGR (ANR) Analyzers Engine Out Sample Point

Contains the following cold analyzers for Preconverter sampling:

Model	Constituent	Range(s)
AIA-721	C0(L)	0-50~5000 ppm
AIA-722	CO(H)	0-0.5~12%
	CO ₂	0-0.5~20%
AIA-722	C0 ₂ EGR	0-0.5~7%

B. OVN-723A Oven - Engine Out Sample Point

Contains the following hot analyzer for Preconverter sampling:

Model	Constituent	Range(s)
FIA-725A	THC	0-10~500 ppmC and 0-1,000~50,000 ppmC
CLA-720MA	NO _x (atmospheric 100% O ₂)	0-10~500ppm and 0-1K~10K ppm

C. IFC - Interface Controller

One IFC will reside in MEXA cabinet and the other in the OVN cabinet. The IFC provides data collection and command transfer to and from the MCU and system components.

D. SHS -- Sample Handling System

The SHS contains pumps, filters, and chiller for the cold instruments. The SHS is contained in the MEXA cabinet and has casters for easy roll-out access

E. SVS -- Solenoid Valve System

The SVS houses the valves used for the control of gases to the analyzers. One SVS supports up to 5 analyzers.

F. PSU -- Power Supply System

One line PSU supplies the 5 VDC and 24 VDC power required for the system.

G. Cables and Tubing

- 7m power cable for main unit
- 7m power cables for the OVN
- LAN cable for MCU-MEXA
- LAN cable for the MCU-OVN
- 10m 26/19 exhaust tube
- 10m 22/15 SHS drain tube
- 10m 26/19 exhaust tube for the OVN

H. Other Items

- 19-inch rack
 - Rack height 1500mm
 - Standard Horiba paint
- Two span solenoids for the FIA-725A and CLA-720MA
- Shop Air Purge
- (1) six meter (6/4) Teflon heated hose

II. MCU – Main Control Unit

The bench is controlled through a tabletop MEXA 7000 MCU (main

control unit). The MCU incorporates a Flat screen user interface.
The MCU consists of the following:

- INTEL based microprocessor with 17" Flat screen
- Real-time operating system (Linux-RedHat OS)
- Host interface - LAN using MEXA-7000 command protocol or AK GPIB (To be determined at time of order)
- GDC gas divider interface
- Full complement of stand alone functions such as: (calibration, QC checks, diagnostics, etc.)
- IFC LAN cable for MEXA IFC-HOST

1.1 1 OPTION: SECOND INLET INTO OVEN UNIT **\$1,017** **\$1,017**
Allows for sampling from a second test. (Not simultaneously)

Selecting this option will require purchase of an additional six meter (6/4)

Teflon heated hose

1.2 1 OPTION: HF-10 HEATED FILTER WITH 10M CABLE **\$6,486,** **\$6,648.**
System OVN-723A unit includes a built in filter. This is a secondary filter in case of extremely dirty exhaust.

1.3 1 OPTION: ADDITION OF MPA-720 O₂ ANALYZER **\$14,139.** **\$14,139.**

<i>Model</i>	<i>Constituent</i>	<i>Range(s)</i>
MPA-720	O ₂	0-1~25%

Includes an additional SVS unit to support this analyzer.

1.4 1 OPTION: PORTABLE LINE LEAK CHECKER **\$1,287,** **\$1,287.**

1.5 1 OPTION: GDC-703 GAS DIVIDER AND NO_x CHECKER -ON CART \$46,272, \$46,272.

This Gas Divider provides 500 to 1 dilution ratio using highly accurate mass flow controllers. The MCU calibration software allows the user to select up to 40 cut points for each curve. This unit also includes a NO_x converter checker.

This unit can be quick-connected to the MEXA 7000 for automated linearization (portable).

1.6 LOT START UP COMMISSIONING AND TRAINING FOR THE MEXA

7100DEGR

\$13,970. \$13,970.

This quotation assumes that facility work (span lines, AC power, and bench ventilation) are provided and installed by others prior to dispatch of Horiba personnel. Horiba will verify final connections and perform start-up and check-out.

Training will consist of three (3) days on site covering operation and maintenance. Class size will be limited to not more than five (5) participants. Training manuals will be provided.

Offer assumes that training will commence immediately after start-up.

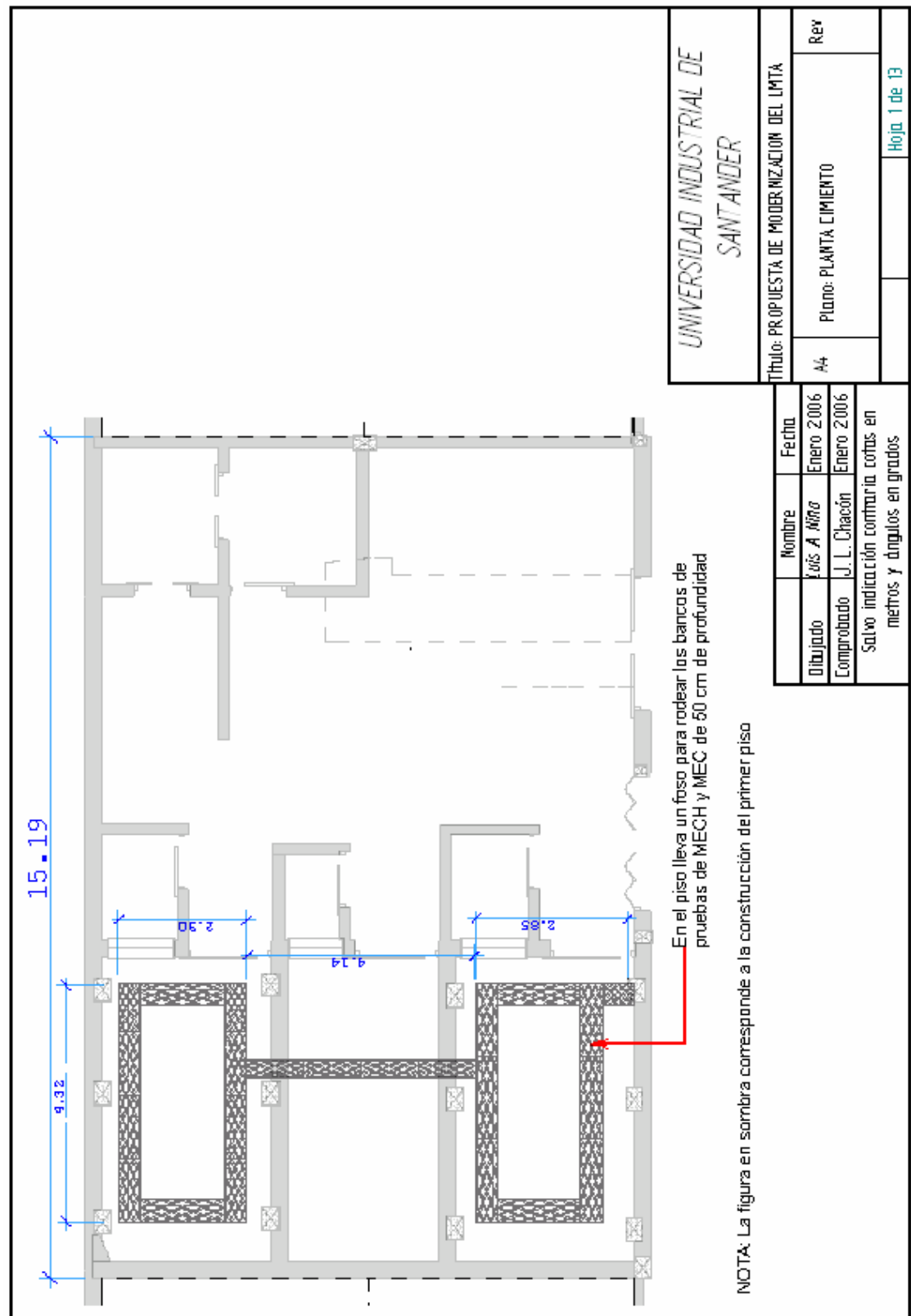
Includes travel and living expenses.

NOTE:

*THIS IS A COST ESTIMATE, HORIBA
WOULD BE HAPPY TO PROVIDE A
FORMAL QUOTATION IN THE FUTURE.
WE WILL ADDRESS PURCHASES
TERMS DELIVERY CONDITIONS AT
THAT TIME*

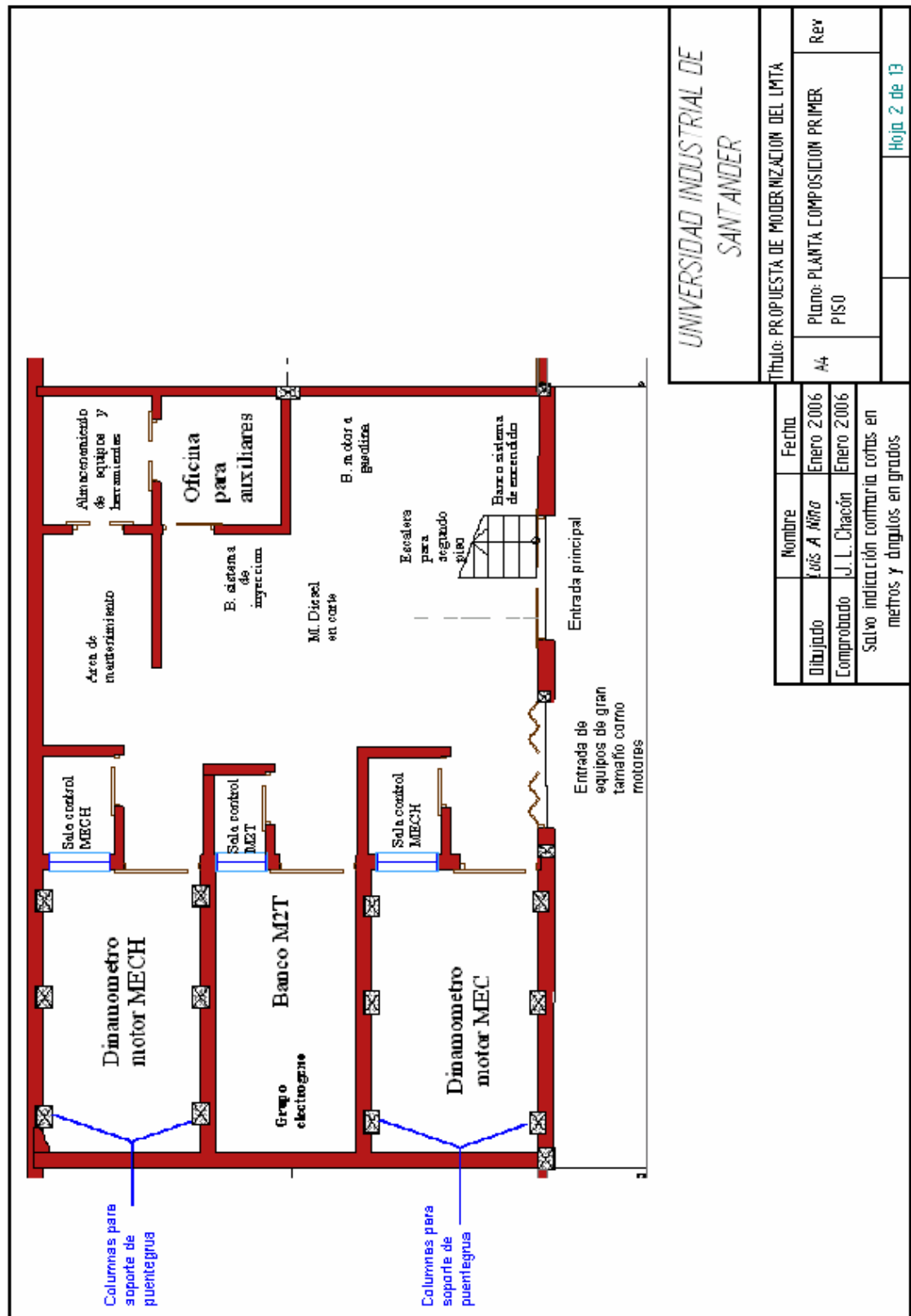
**ANEXO D. PLANOS DE LA PROPUESTA DE
MODERNIZACION DE LABORARORIO DE MAQUINAS TERMICAS
ALTERNATIVAS**

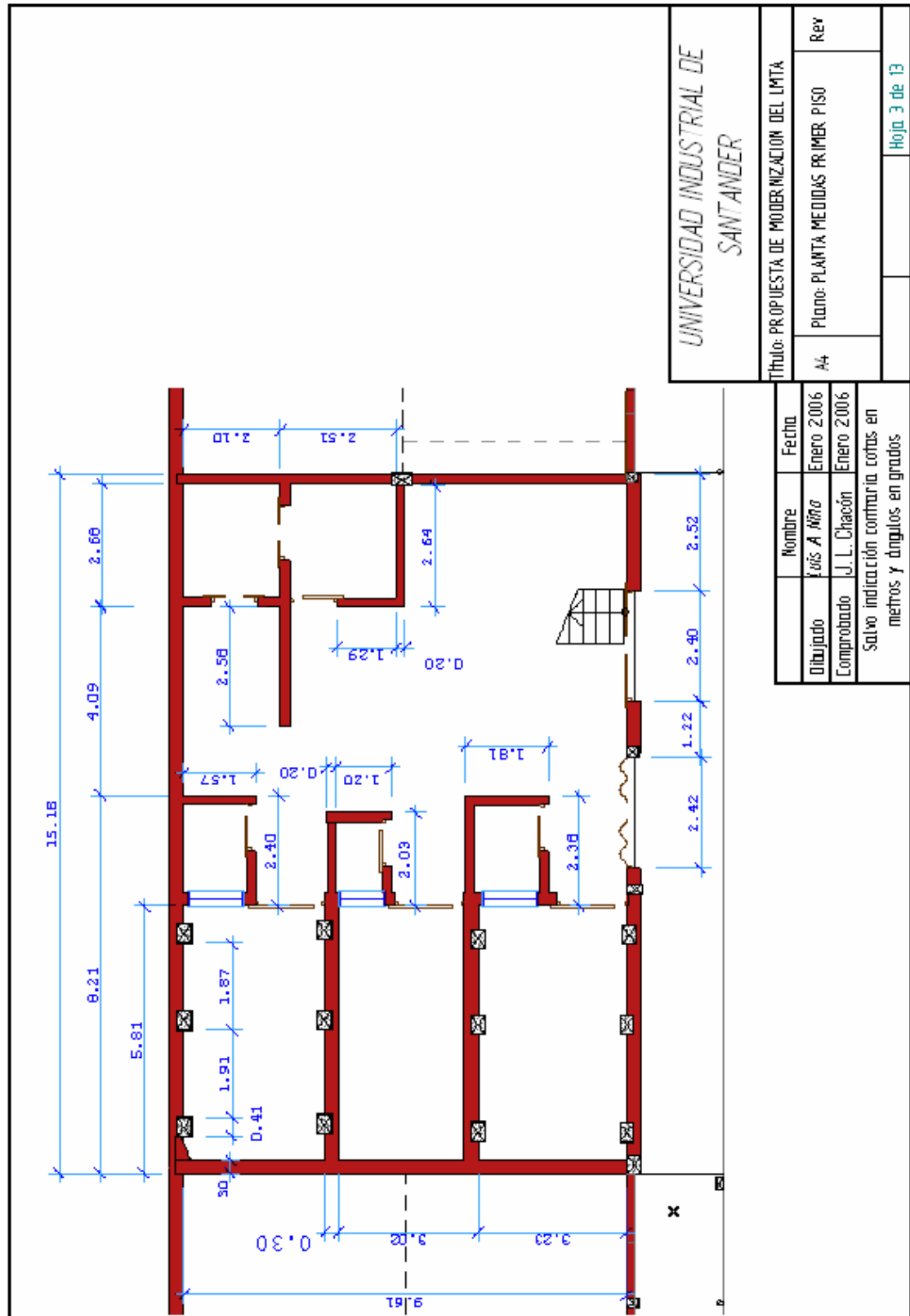


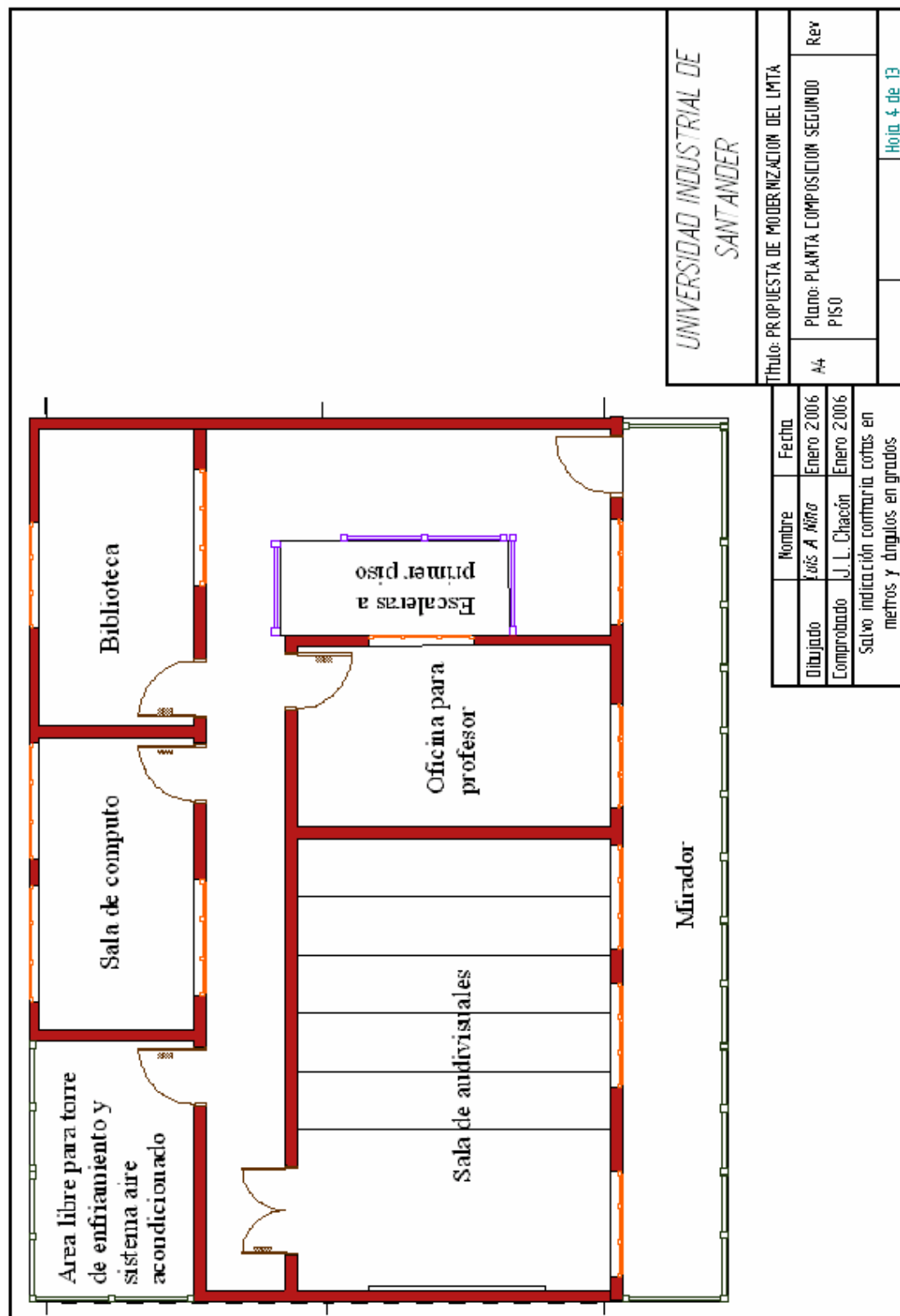


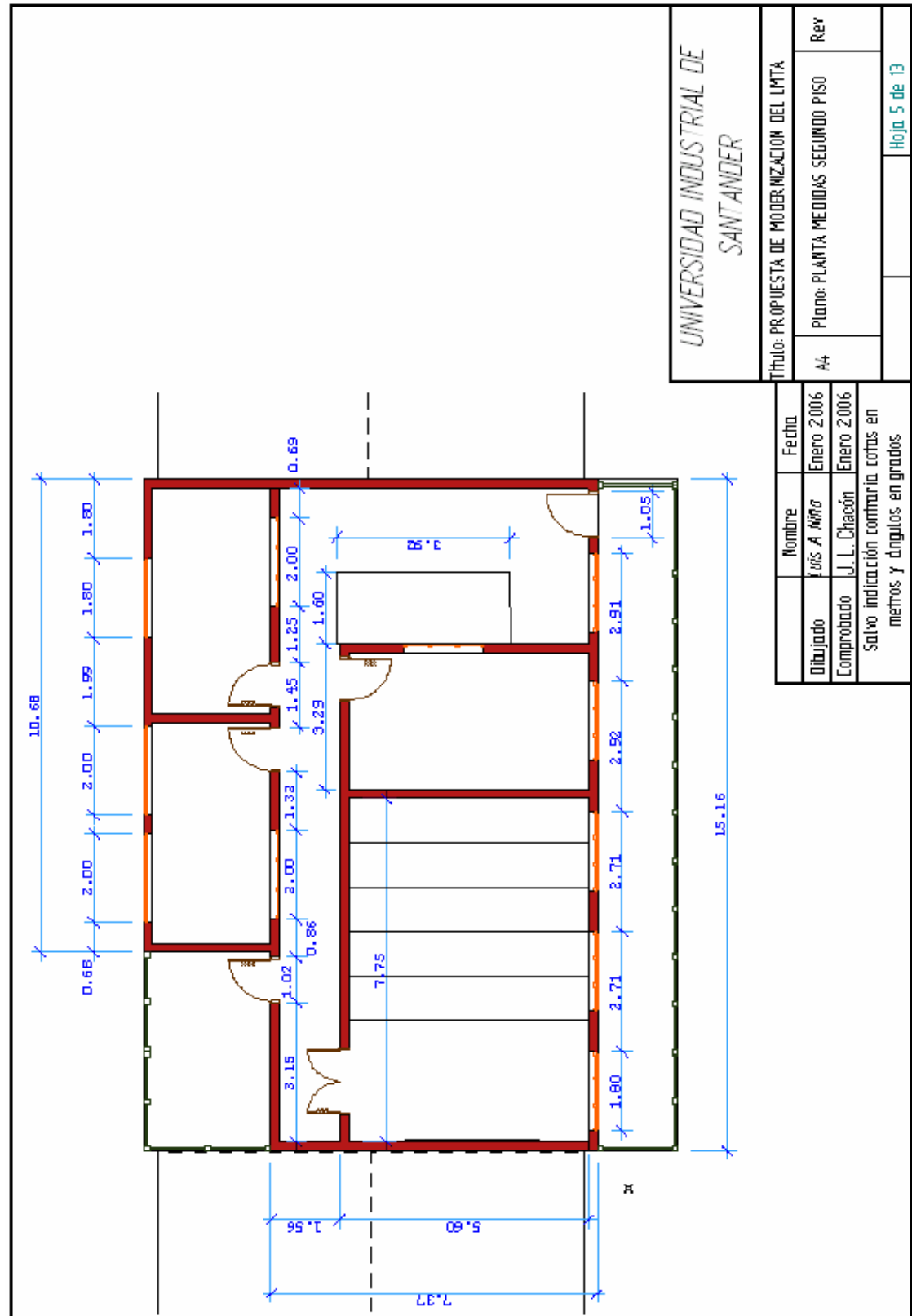
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
Título: PROPUESTA DE MODERNIZACIÓN DEL LMTA	
A4	Plano: PLANTA CIMIENTO
Rev	
Hoja 1 de 13	

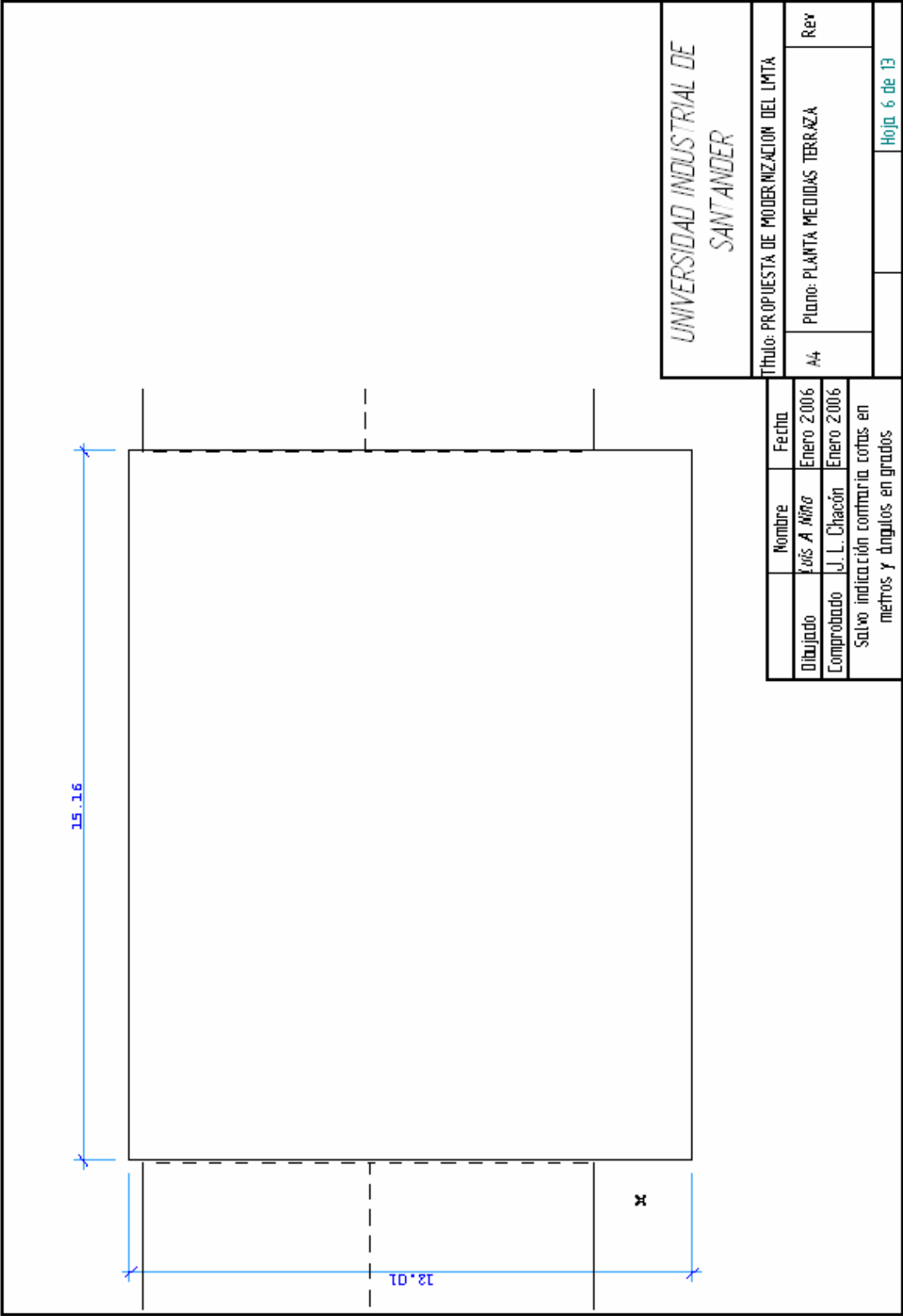
Dibujado	Nombre	Fecha
Comprobado	J. L. Chacón	Enero 2006
Salvo indicación contraria cotas en metros y ángulos en grados		

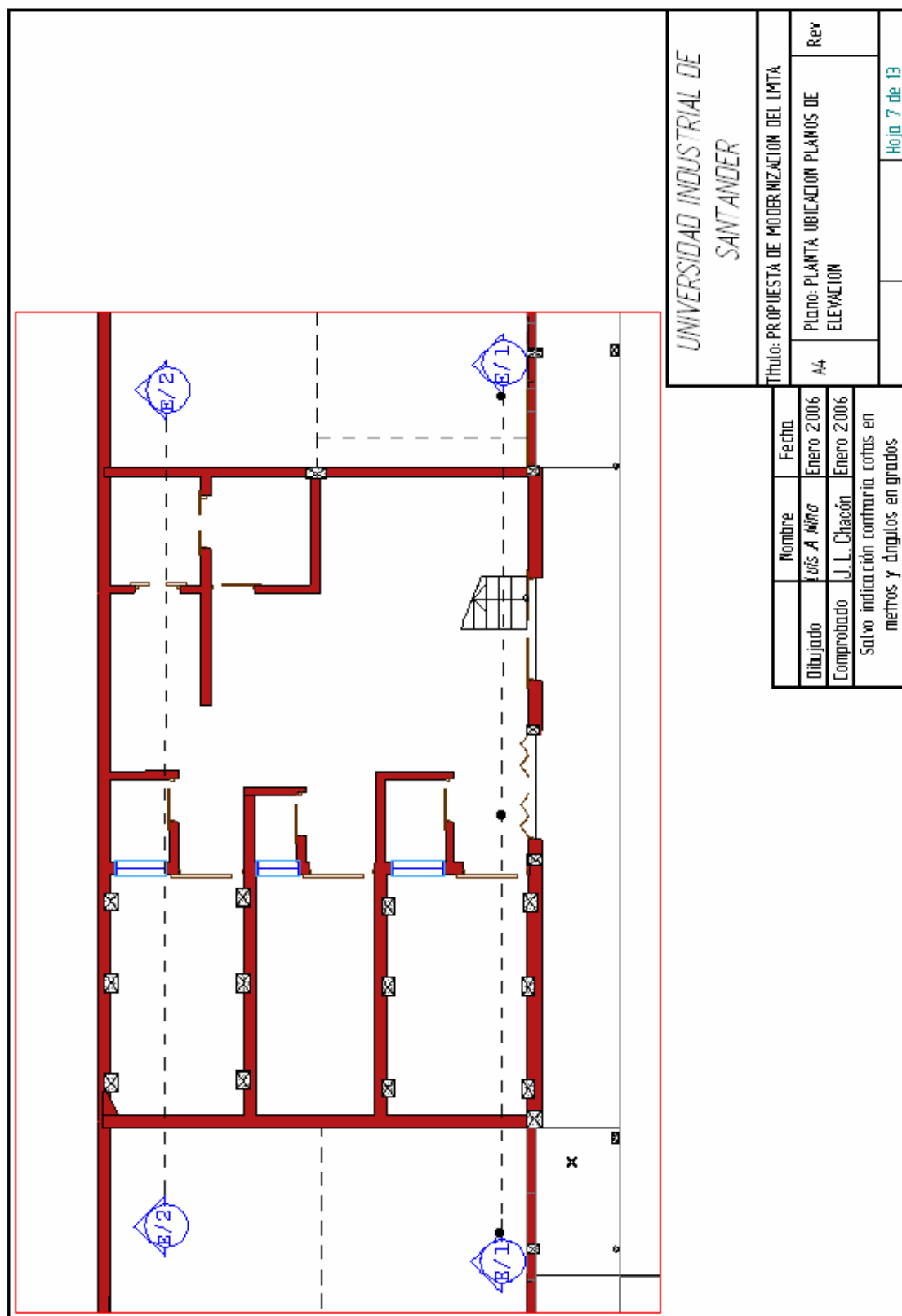












UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER

Título: PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL LMTA

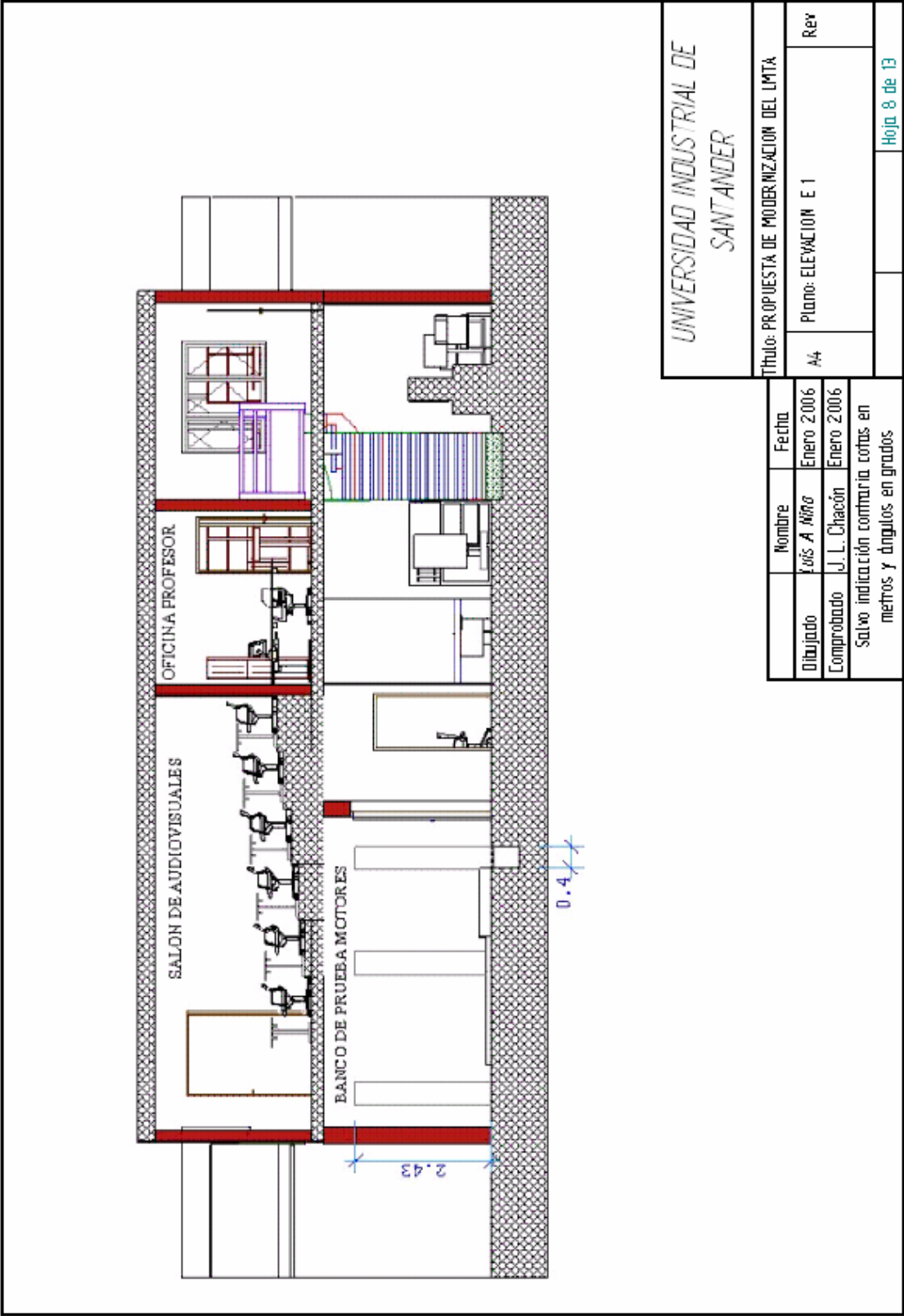
Plano: PLANTA UBICACION PLANOS DE
ELEVACION

A4

Rev

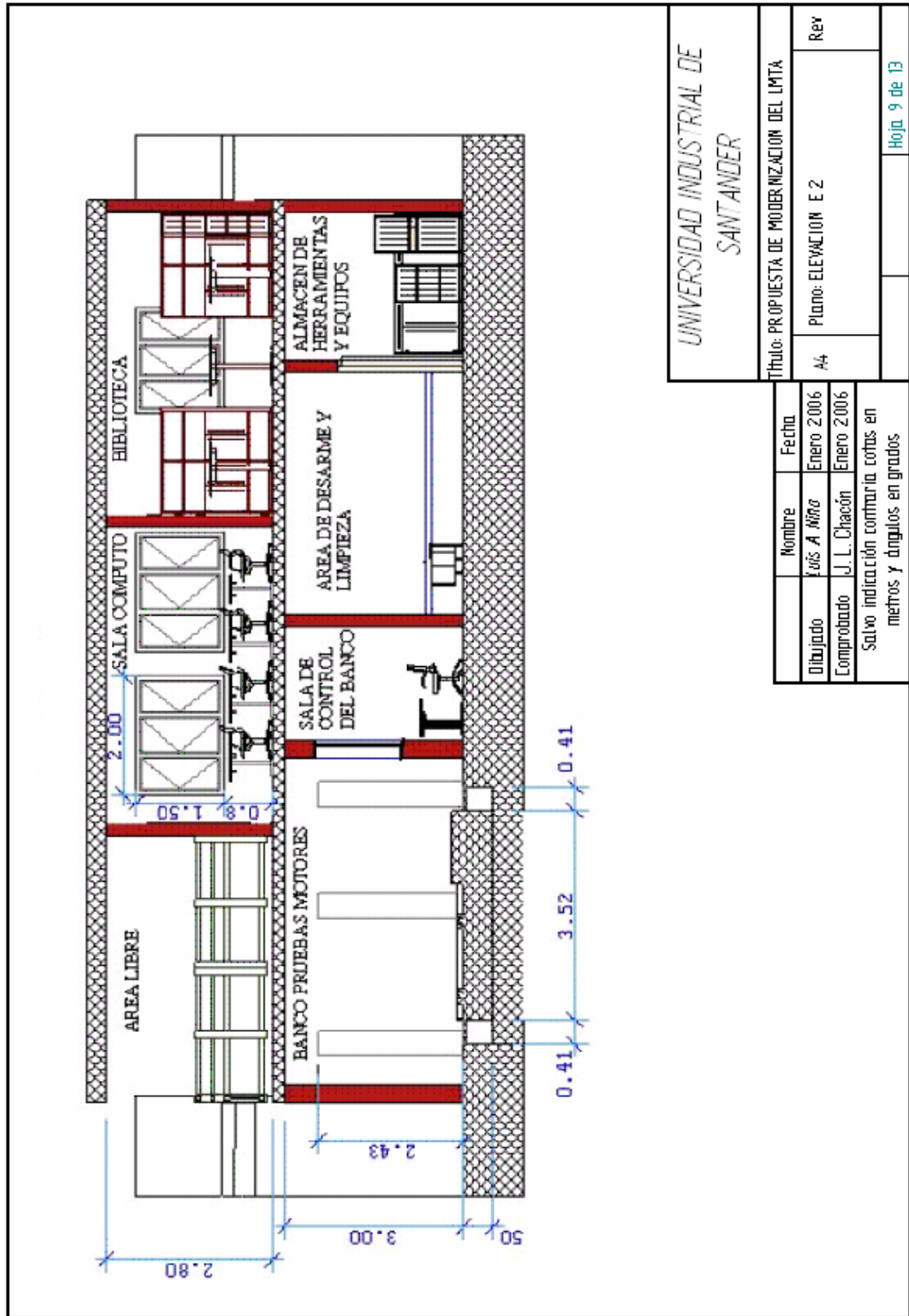
Dibujado	Nombre	Fecha
Elaborado	Luis A. Maza	Enero 2006
Comprobado	J. L. Chacón	Enero 2006
Salvo indicación contraria cotas en metros y ángulos en grados		

Hoja 7 de 13



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	
Título: PROPUESTA DE MODERNIZACIÓN DEL LMTA	
A4	Plano: ELEVACION E 1
Rev	

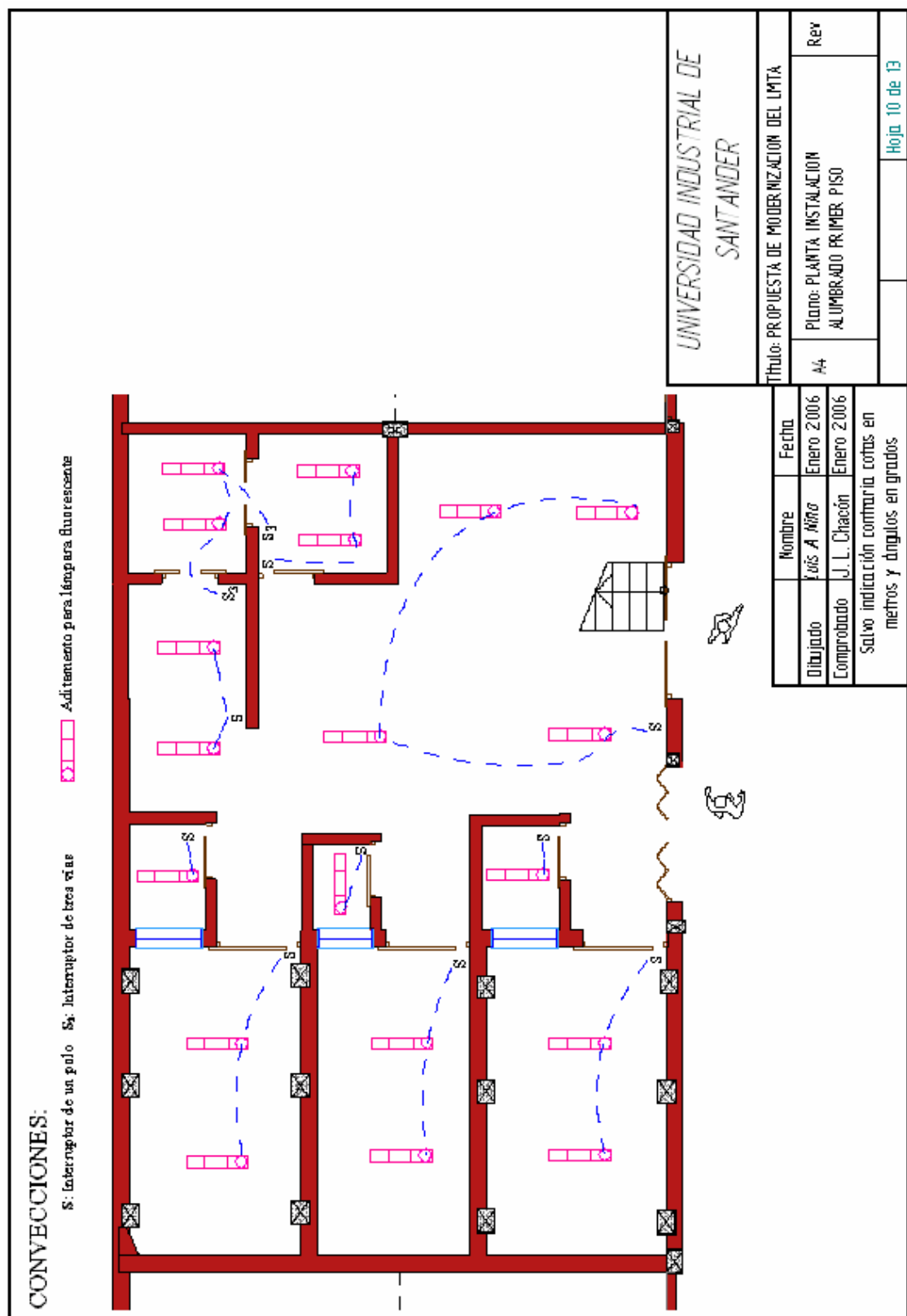
	Nombre	Fecha
Dibujado	Luis A. Niño	Enero 2006
Comprobado	J. L. Chacón	Enero 2006
Salvo indicación contraria cotas en metros y ángulos en grados		

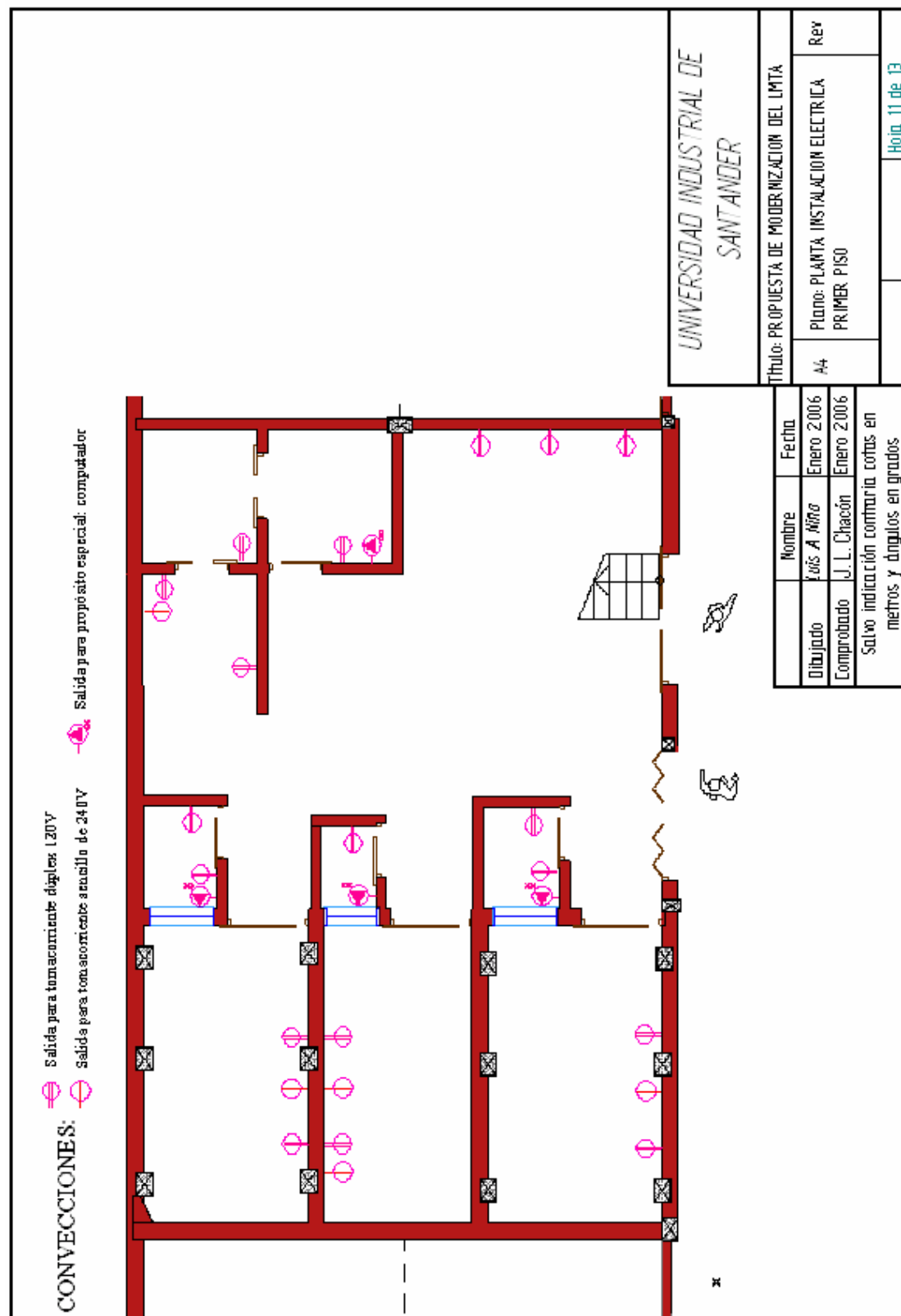


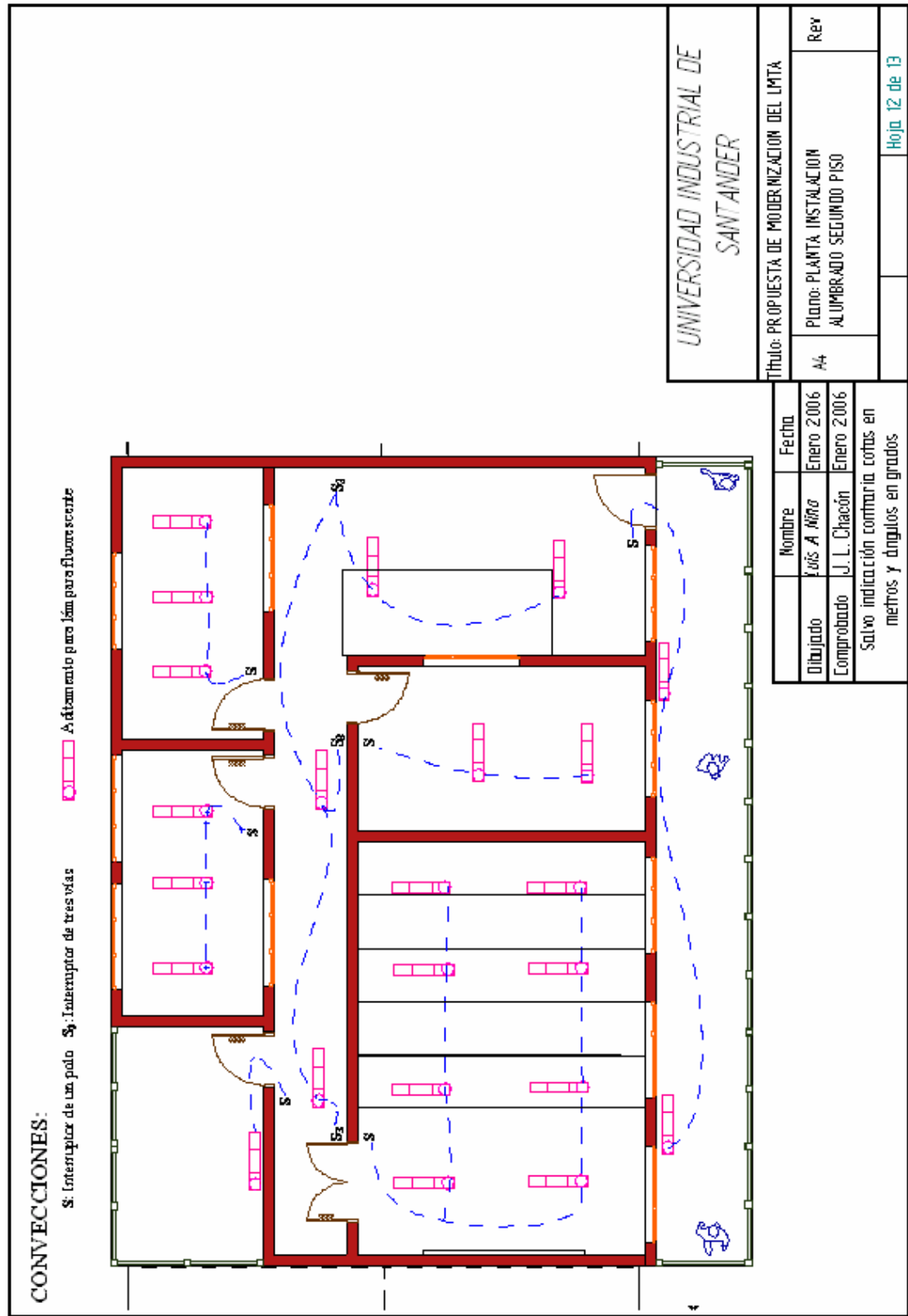
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER

Título: PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DEL LMTA

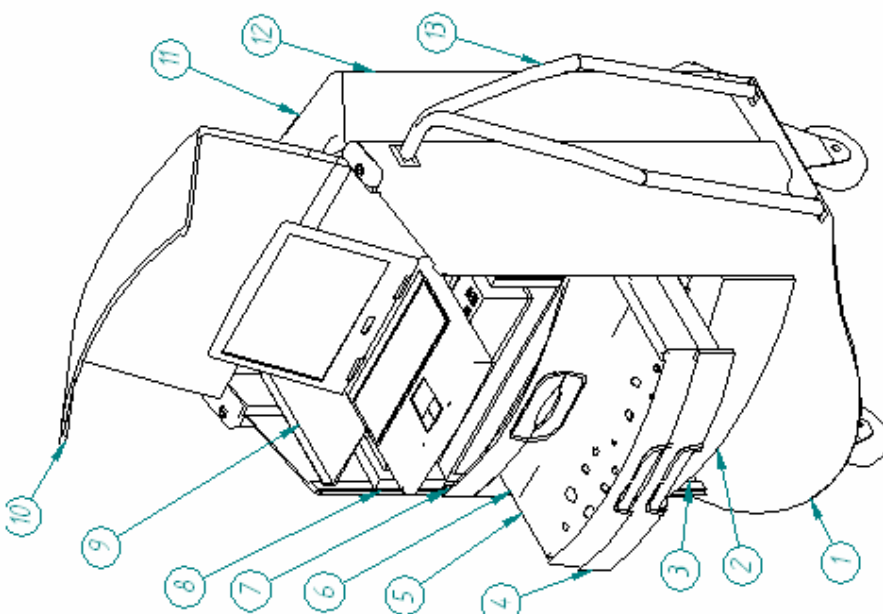
Elaborado	Nombre	Fecha
Diseñado	Luis A. Niño	Enero 2006
Comprobado	J. L. Chacón	Enero 2006
Salvo indicación contraria cotas en metros y ángulos en grados		
A4		Plano: ELEVACION E 2
Rev		Hoja 9 de 13







**ANEXO E. PLANOS DE CONTRUCCION DEL PROTOTIPO
 DEL EQUIPO DIAGMA D-100**

					
Número de elemento	Número de Documento	Título	Material	Cantidad	
1*	Planos 2 a 4	Base con sus 4 ruedas	Acero k 12	1	
2*	Planos 5 a 8	Bandeja conexiones eléctricas	Plástico-acero	1	
3*	Planos 9 y 10	Bandeja analizador de gases	Plástico-acero	1	
4*	Plano 11	Bandeja accesorios	Plástico-acero	1	
5*	Planos 12 a 14	Bandeja sensores	Plástico-acero	1	
6*	Planos 13	Bandeja documentos	Plástico-acero	1	
7*	Planos 15 A 17	Bandeja tarjetas	Plástico-acero	2	
8*	Planos 18	Bandeja impresora	Acero	1	
9*	Planos 19 y 20	soporte para pc portátil	Acero	1	
10*	Planos 21 y 22	Tapa móvil	Plástico	1	
11*	Planos 23	tapa fija	Plástico	1	
12*	Planos 24 y 25	Tapa lateral	Plástico	2	
13*	Planos 26 y 27	Manija	Tubería acero	2	

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

Título: PIEZAS EQUIPO DINGMA D-100

A4

Plano: EQUIPO COMPLETO

Rev

Material:

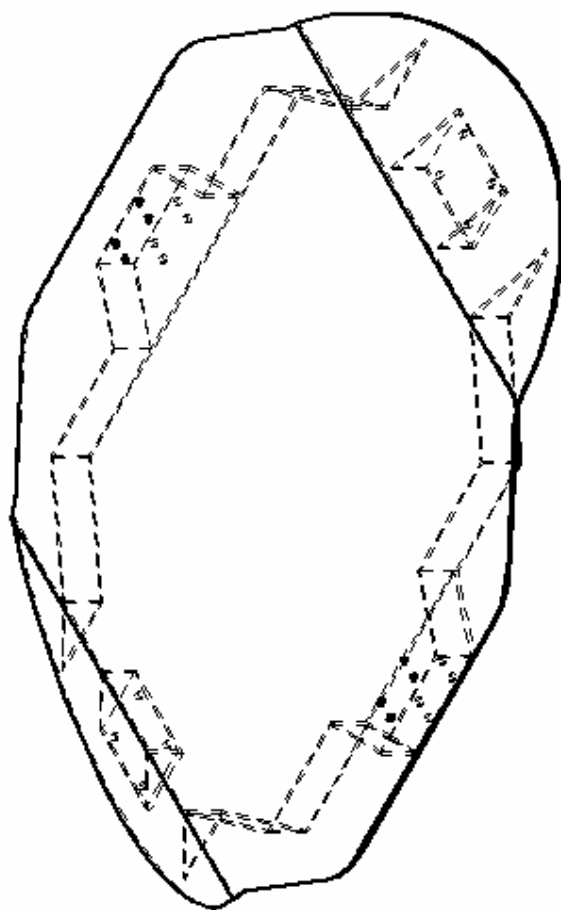
Escala: 1:1

Hoja: 1 de 27

Dibujado	Nombre	Fecha
Yolís A. Niño		Enero 2006
Comprobado	Nombre	Fecha
J. L. Chacón		Enero 2006

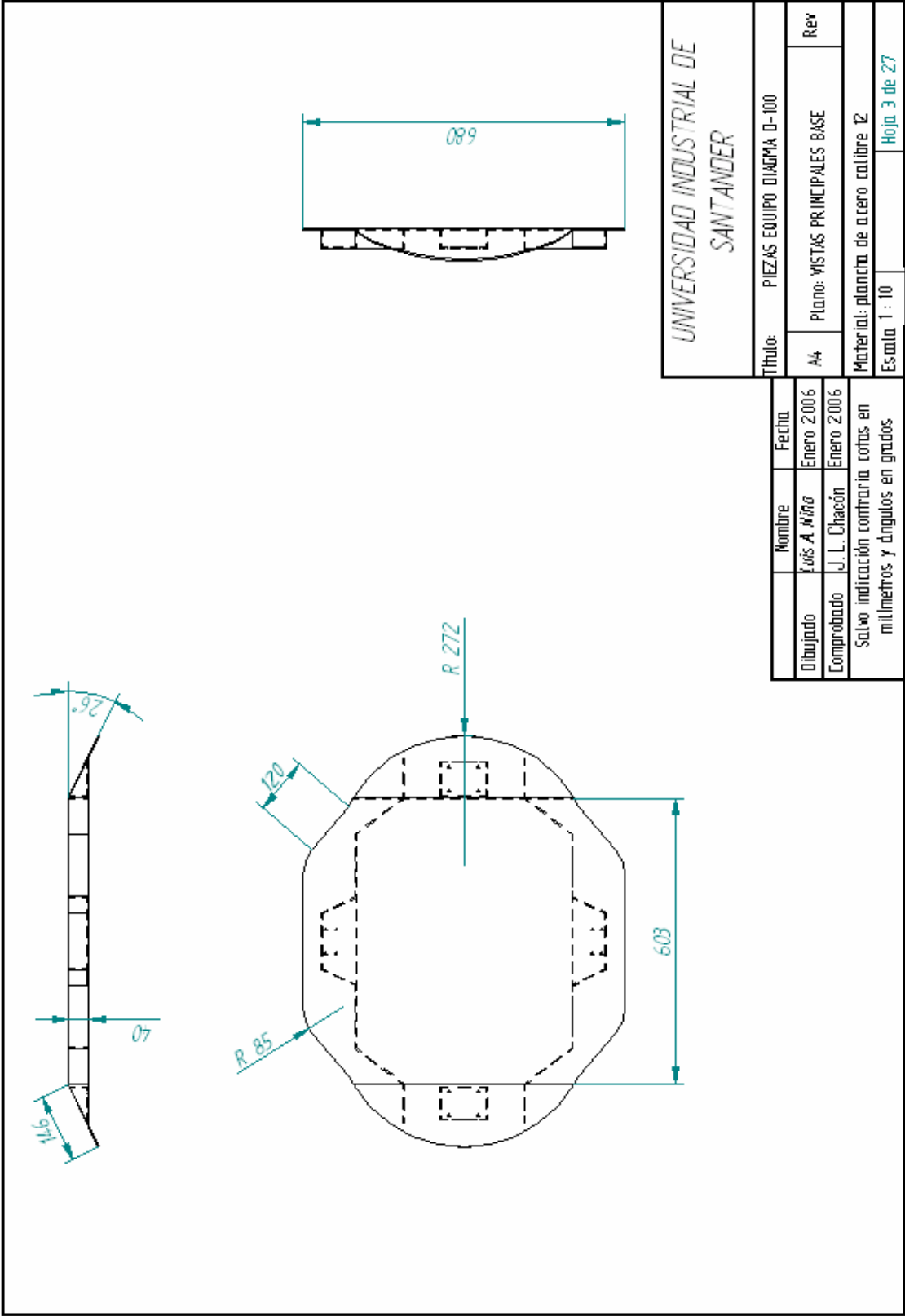
Salvo indicación contraria, todas en milímetros y ángulos en grados

198



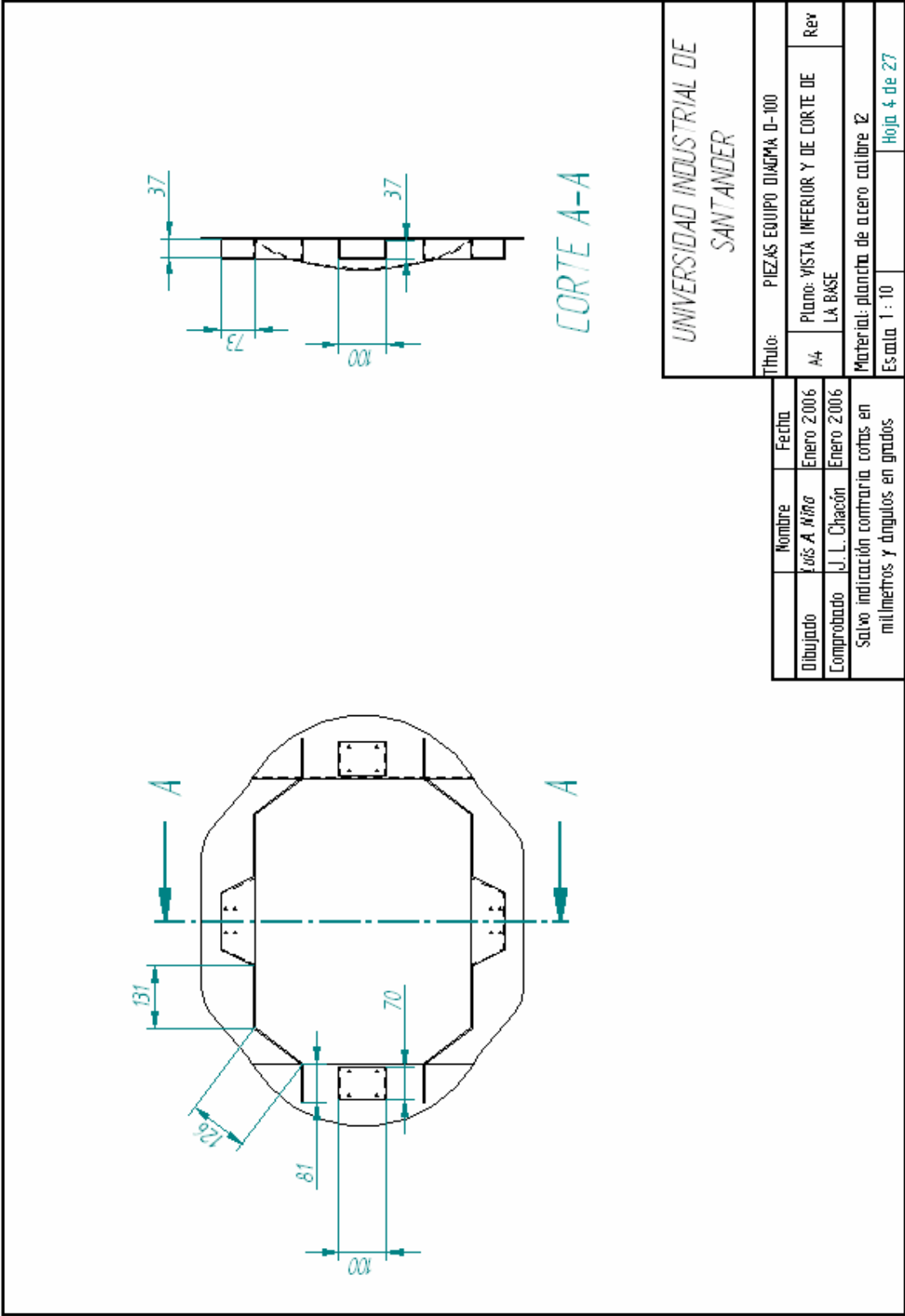
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER

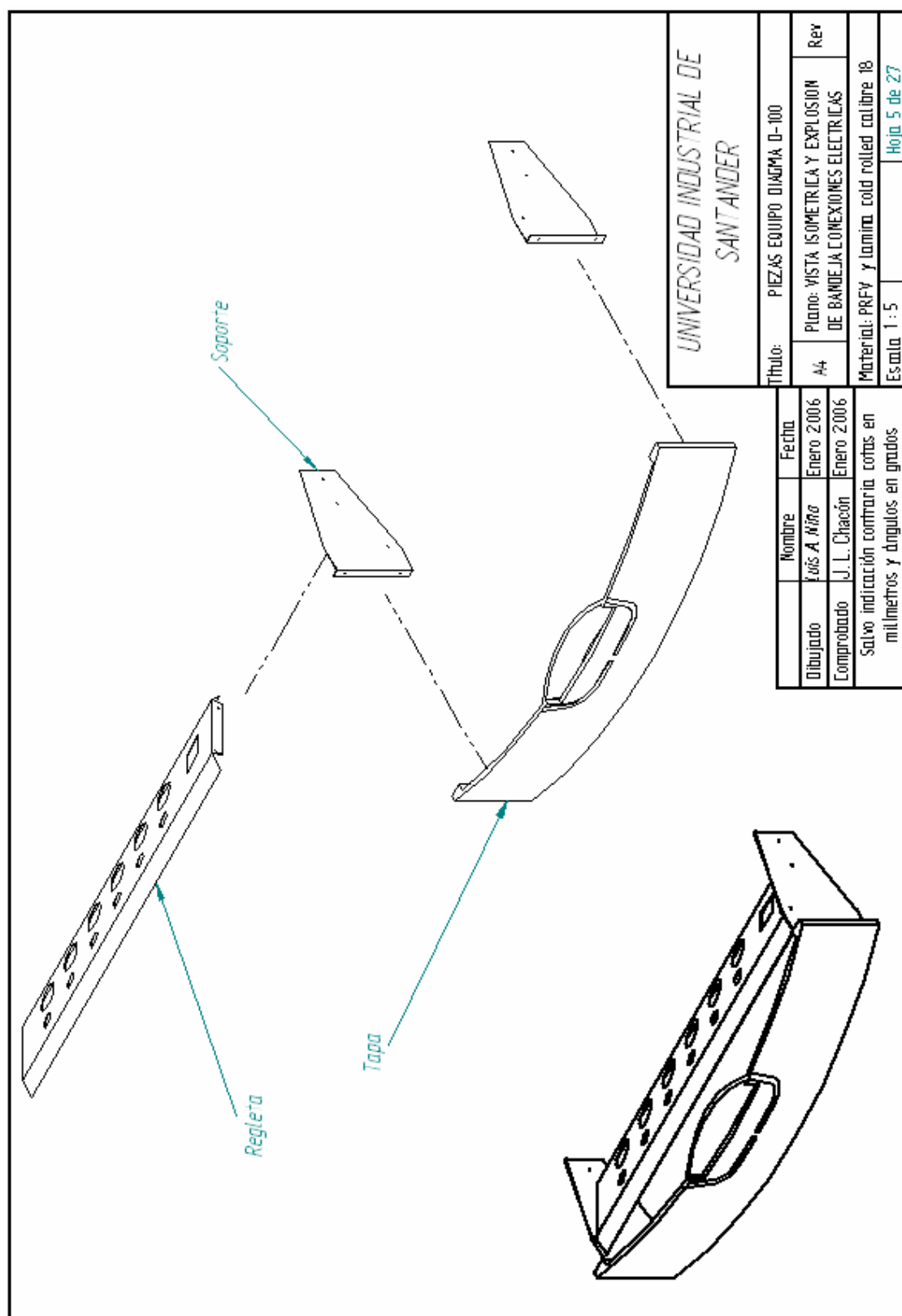
Título: PIEZAS EQUIPO DIADMA D-100		Rev	
Dibujado	Nombre	Fecha	
Comprobado	Nombre	Fecha	
Salvo indicación contraria, cotas en milímetros y ángulos en grados		Material: plancha de acero calibre 12	
Escala: 1 : 5		Hoja 2 de 27	

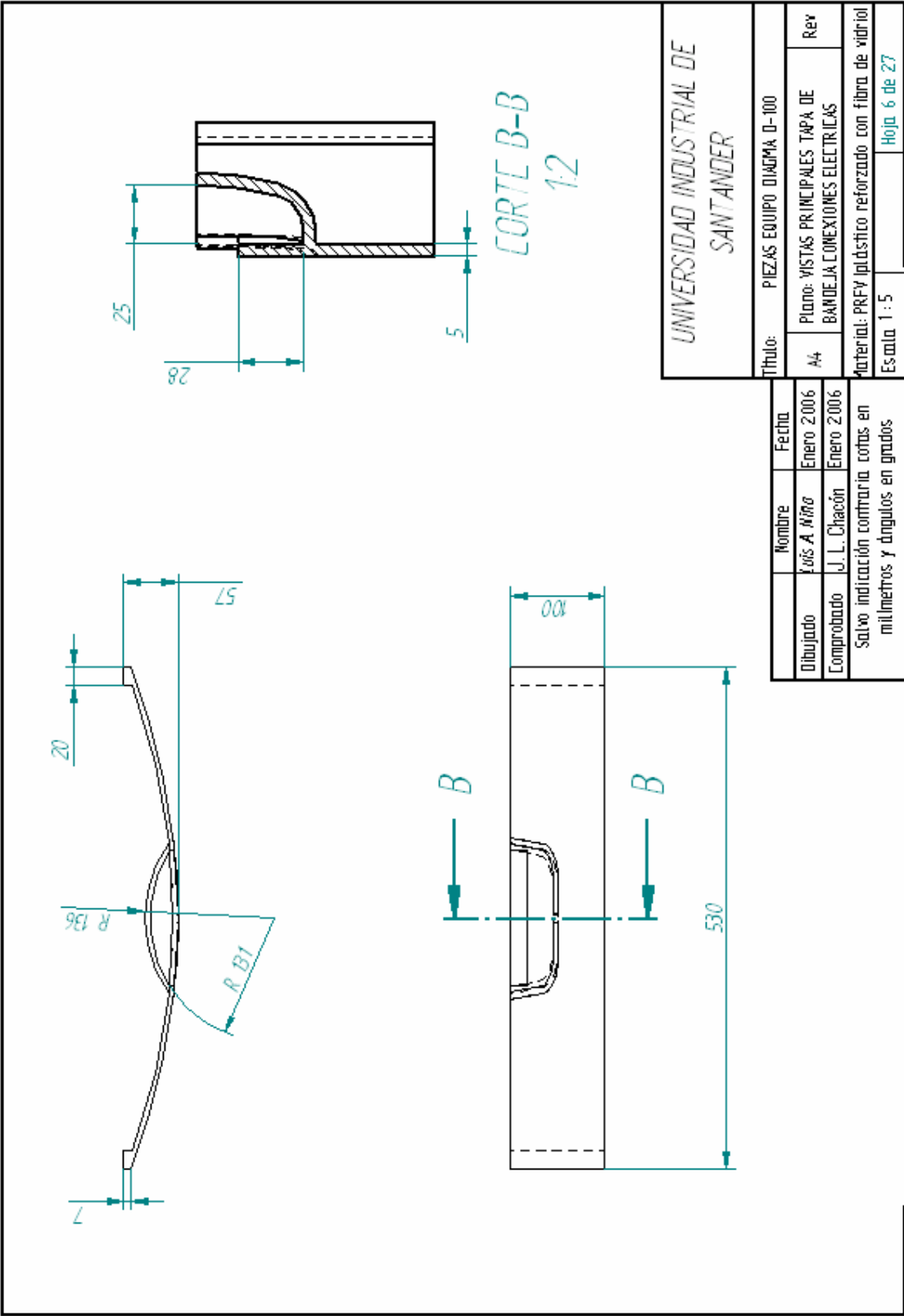


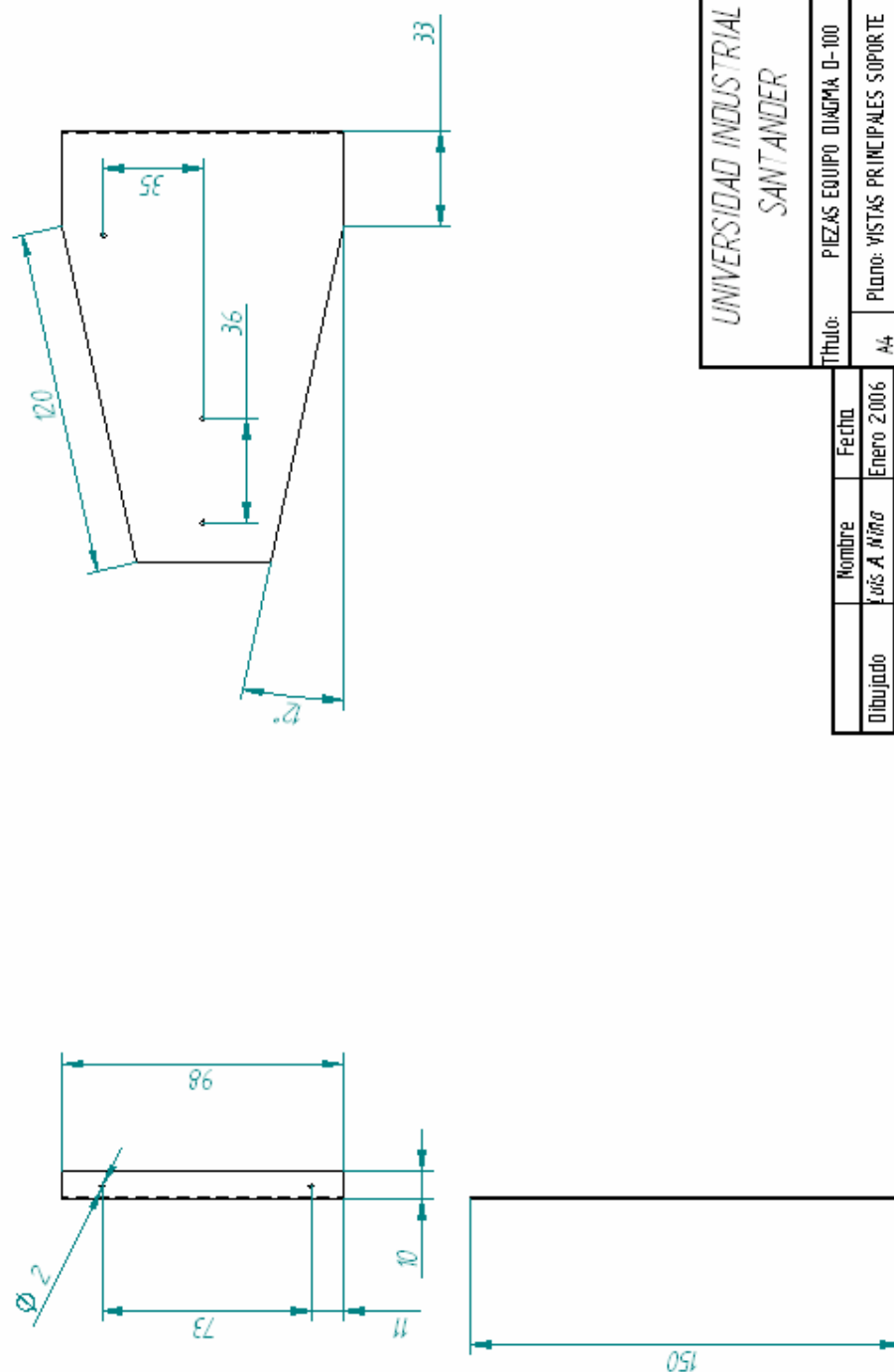
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER

Título: PIEZAS EQUIPO DIAGMA D-100		Rev	
Dibujado	Nombre	Fecha	
Comprobado	J. L. Chacón	Enero 2006	
Salvo indicación contraria todos en milímetros y ángulos en grados		Escala 1 : 10	
Material: plancha de acero calibre 12		Hoja 3 de 27	



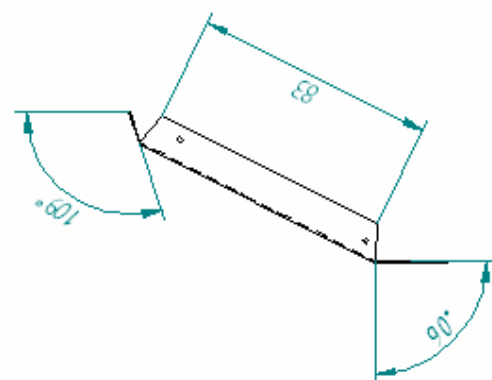




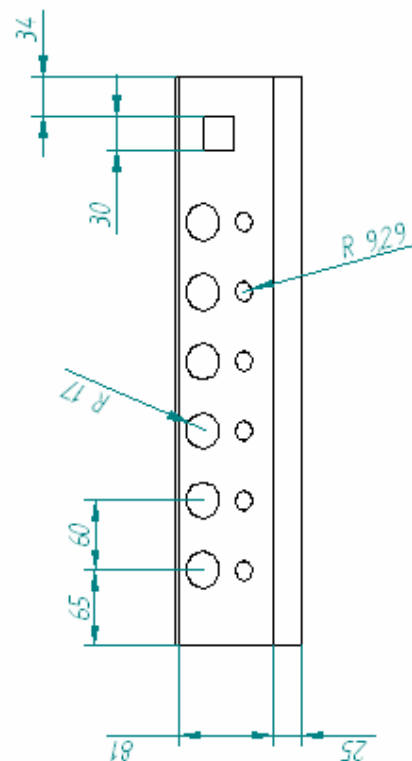


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER

Título:		PIEZAS EQUIPO DIAGRAMA D-100	
Dibujado	Nombre	Fecha	Rev
Comprobado	José A. Mena	Enero 2006	A4
Salvo indicación contraria cotas en milímetros y ángulos en grados		Enero 2006	Plano: VISTAS PRINCIPALES SOPORTE BANDEJA CONEXIONES ELECTRICAS
		Material: lamina cold rolled calibre 18	
		Escala: 1 : 2	Hoja 7 de 27

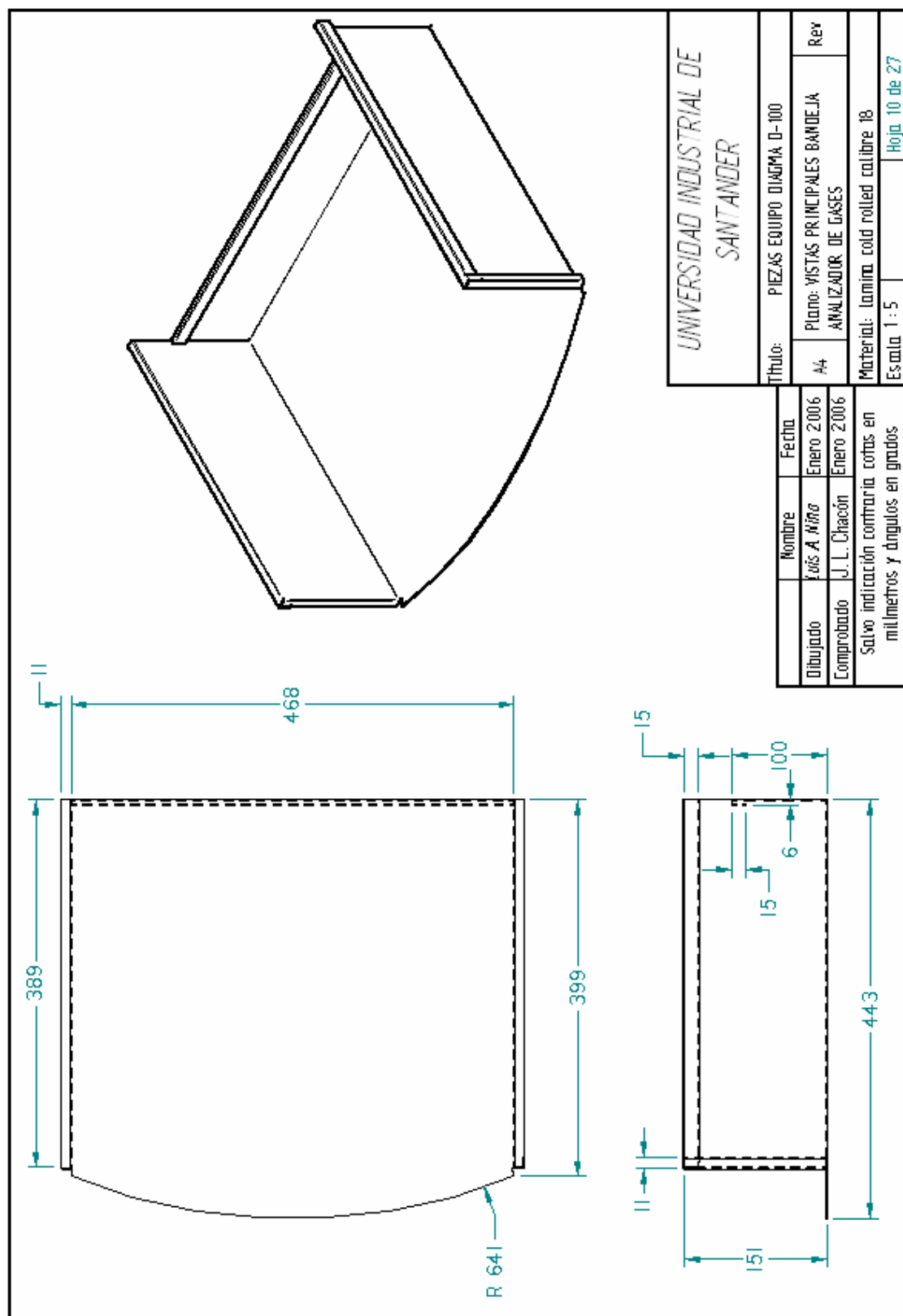


12



15

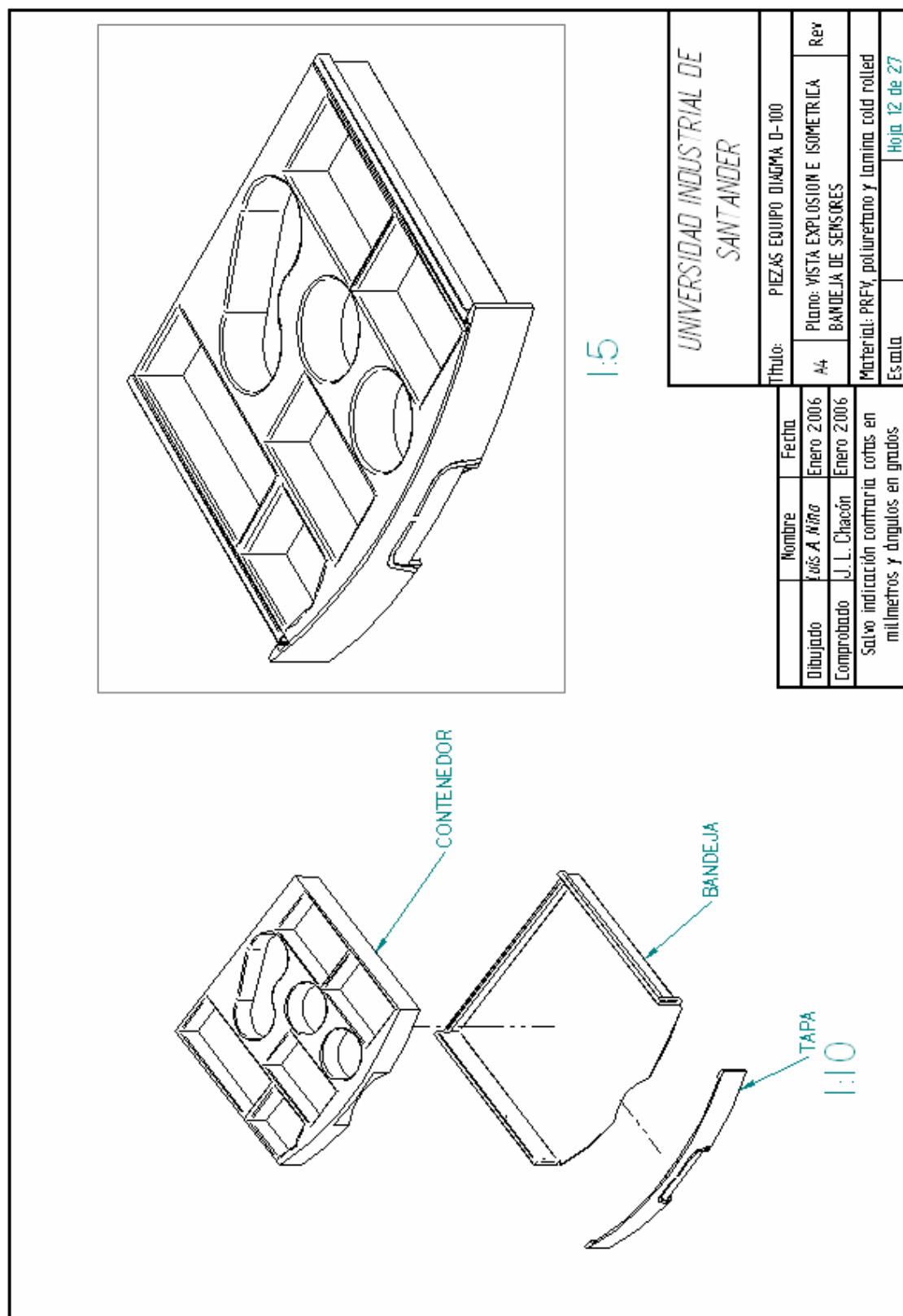
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER			
Título: PIEZAS EQUIPO DIADIMA D-100		Rev	
Dibujado	Nombre	Fecha	Rev
Luis A. Niño	J. L. Chacón	Enero 2006	A4
Comprobado	J. L. Chacón	Enero 2006	Plano: VISTAS PRINCIPALES REGLETA DE LA BANDEJA CONEXIONES ELECTRICAS
Salvo indicación contraria cotas en milímetros y ángulos en grados		Material: lamina cold rolled calibre 18	
Escala		Hoja 8 de 27	

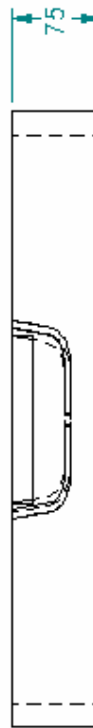
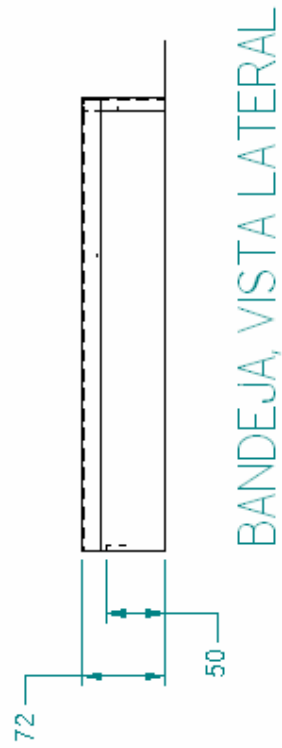


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER

Título: PIEZAS EQUIPO DINEMA D-100		Rev	
A4		Plano: VISTAS PRINCIPALES BANDEJA ANALIZADOR DE GASES	
Material: lamina cold rolled calibre 18		Escala 1:5	
Hoja 10 de 27			

Dibujado	Nombre	Fecha
Comprobado	J. L. Chacón	Enero 2006
Salvo indicación contraria cotas en milímetros y ángulos en grados		



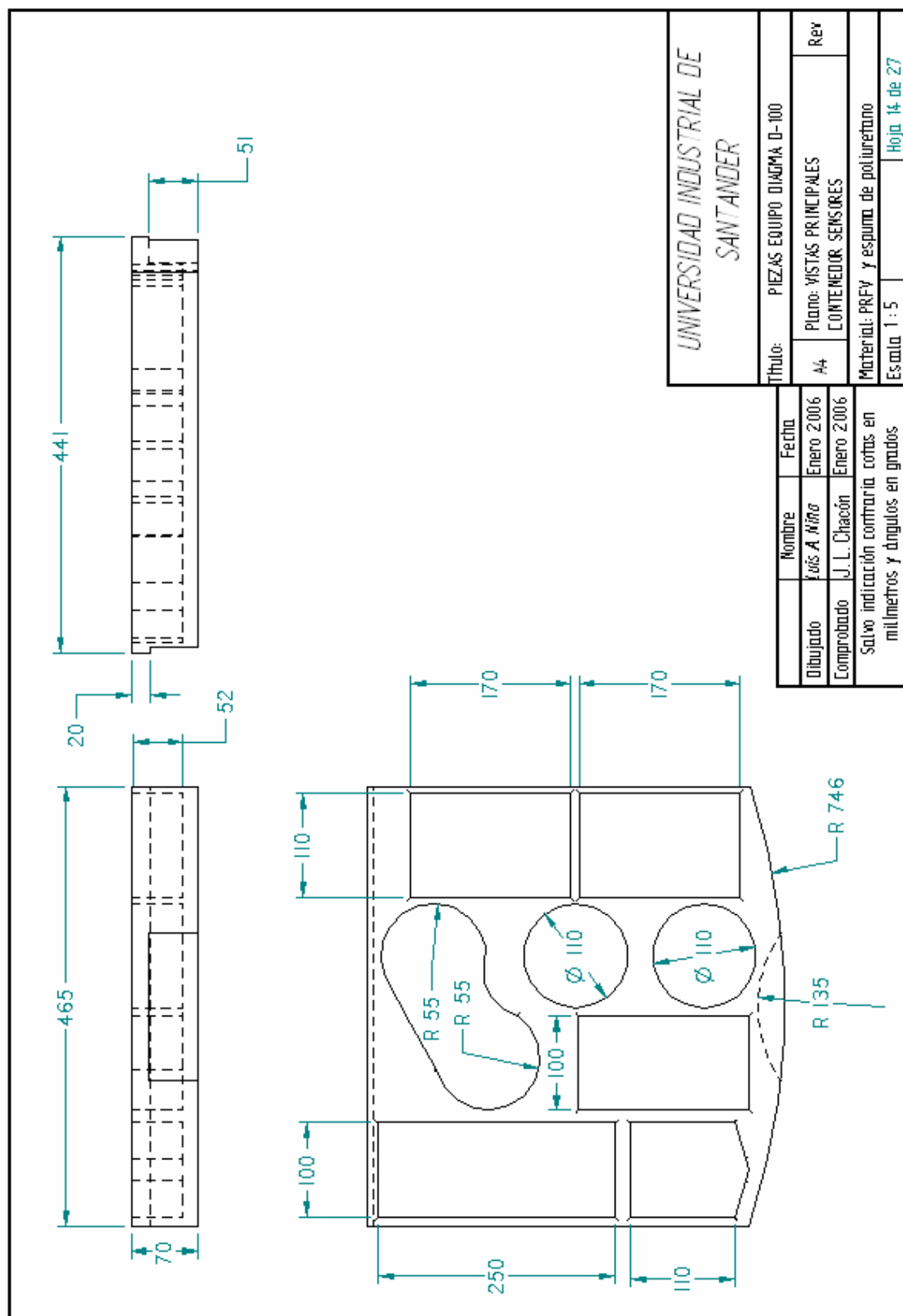


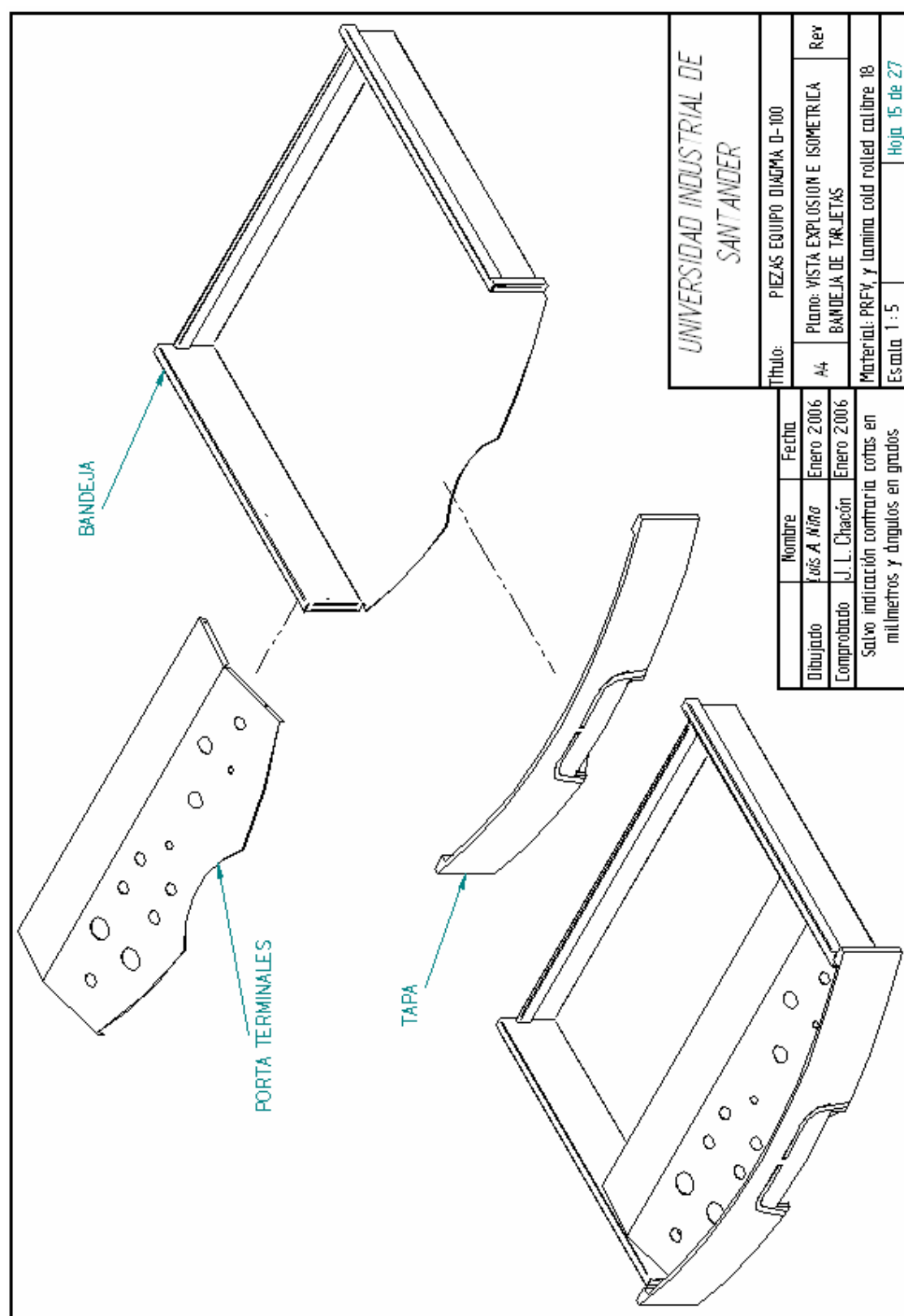
NOTA: Las dimensiones faltantes son las mismas del plano 9 y 10, solo cambian las especificadas en este plano.

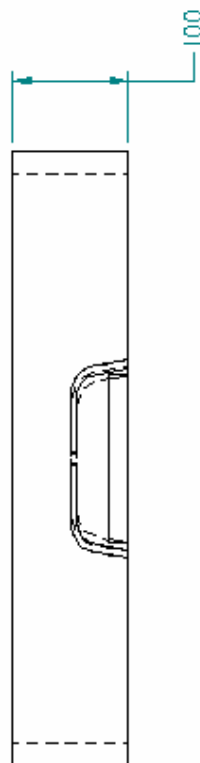
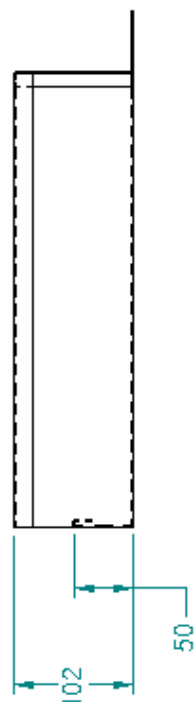
Estas dos piezas conforman la Bandeja de Documentos

	Nombre	Fecha
Dibujado	<i>Luis A. Nino</i>	Enero 2006
Comprobado	J. L. Chacón	Enero 2006
Salvo indicación contraria, todas en milímetros y ángulos en grados		

Título: PIEZAS EQUIPO DIAGMA D-100	
A4	Plano: VISTA FRONTAL Y LATERAL PARTES BANDA DE ALICATORIOS
Material: PRFV y laminas cold rolled calibre 18	
Escala: 1 : 5	Hoja: 13 de 27







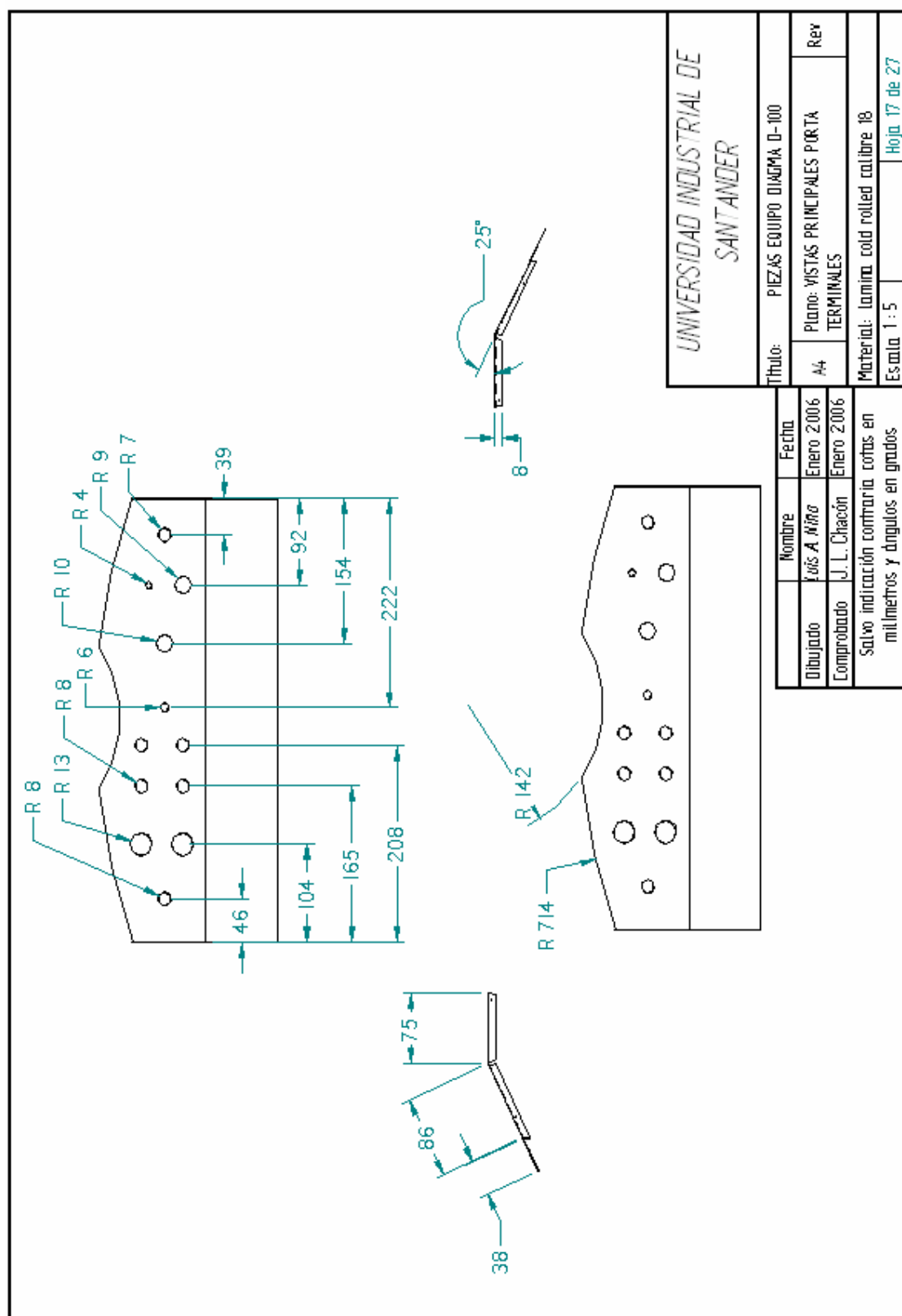
NOTA: Las dimensiones faltantes son las mismas del plano 9 y 10, solo cambian las especificadas en este plano.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER

	Nombre	Fecha
Dibujado	Luis A. Mira	Enero 2006
Comprobado	J. L. Chacón	Enero 2006

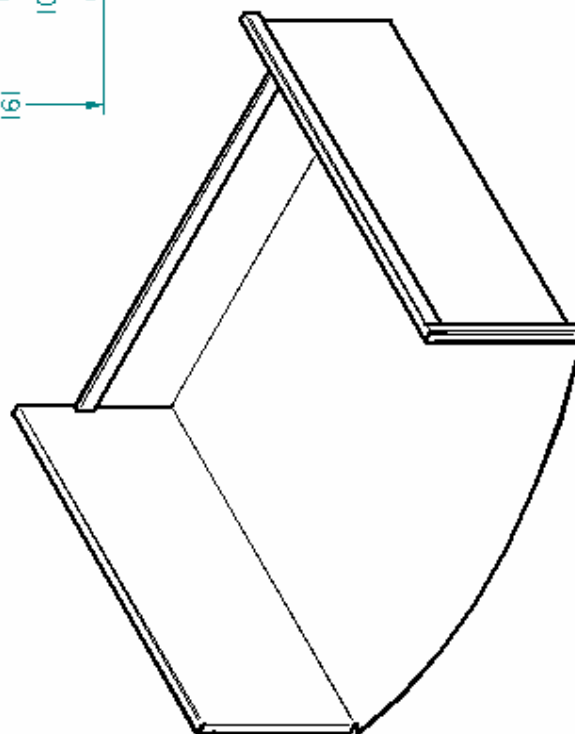
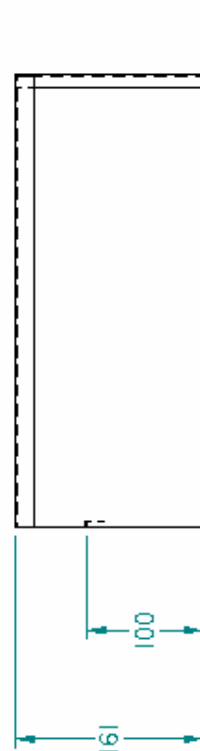
Salvo indicación contraria, todas en milímetros y ángulos en grados

Título: PIEZAS EQUIPO DIAGRAMA D-100	
A4	Plano: VISTA FRONTAL Y LATERA PARTES BANDEJA DE SENSORES
Material: PRFV y lamina cold rolled calibre 18	
Escala 1:5	Hoja 16 de 27



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER			
Título:		PIEZAS EQUIPO DIAGMA D-100	
A4	Plano: VISTAS PRINCIPALES Puerta TERMINALES		Rev
Material: lamina cold rolled calibre 18			
Escala: 1 : 5			Hoja: 17 de 27

Nombre	Fecha
Dibujado: Luis A. Wiro	Enero 2006
Comprobado: J. L. Chacón	Enero 2006
Salvo indicación contraria, cotas en milímetros y ángulos en grados	

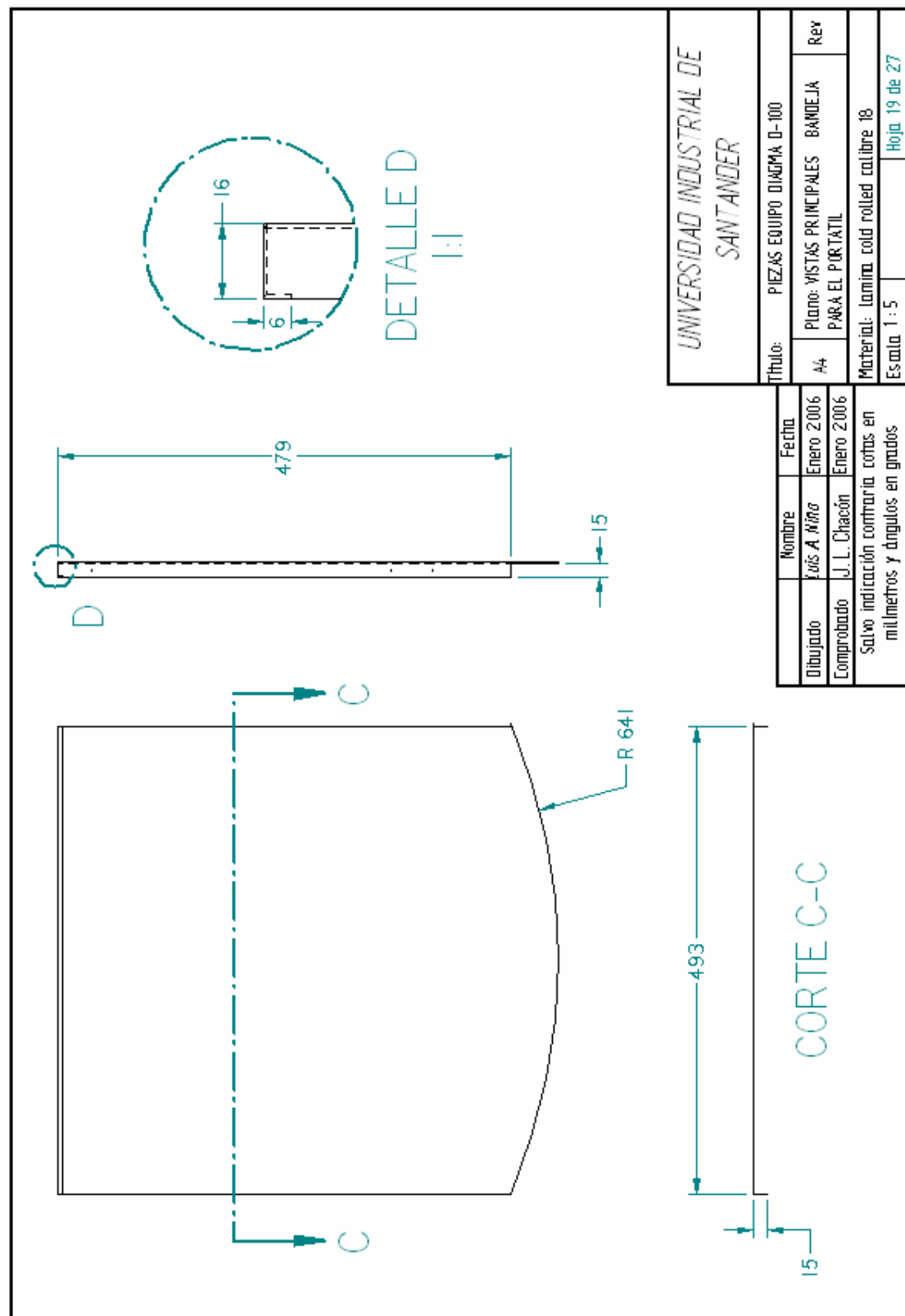


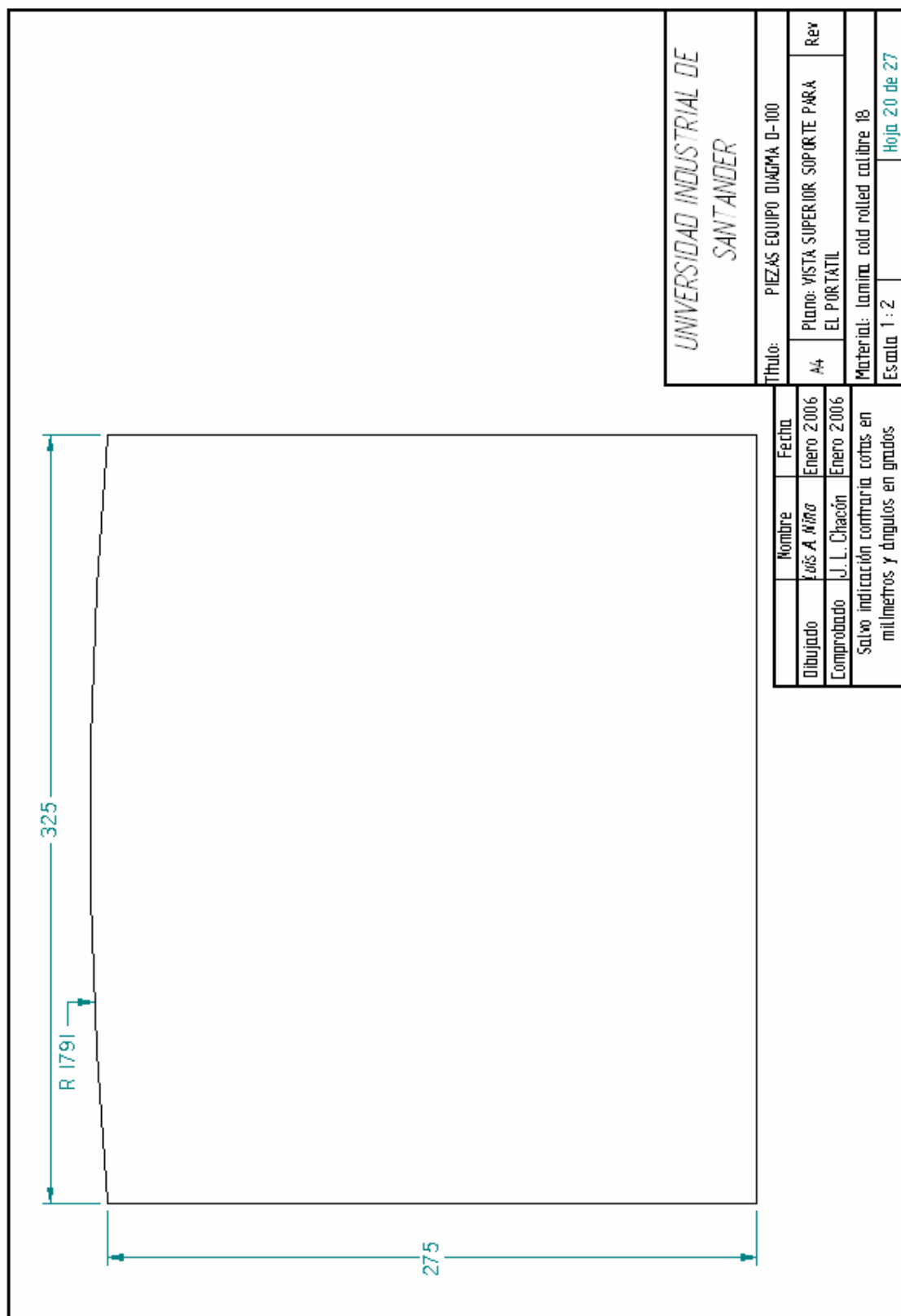
NOTA: Las dimensiones faltantes son las mismas del plano 10, solo cambian las especificadas en este plano.

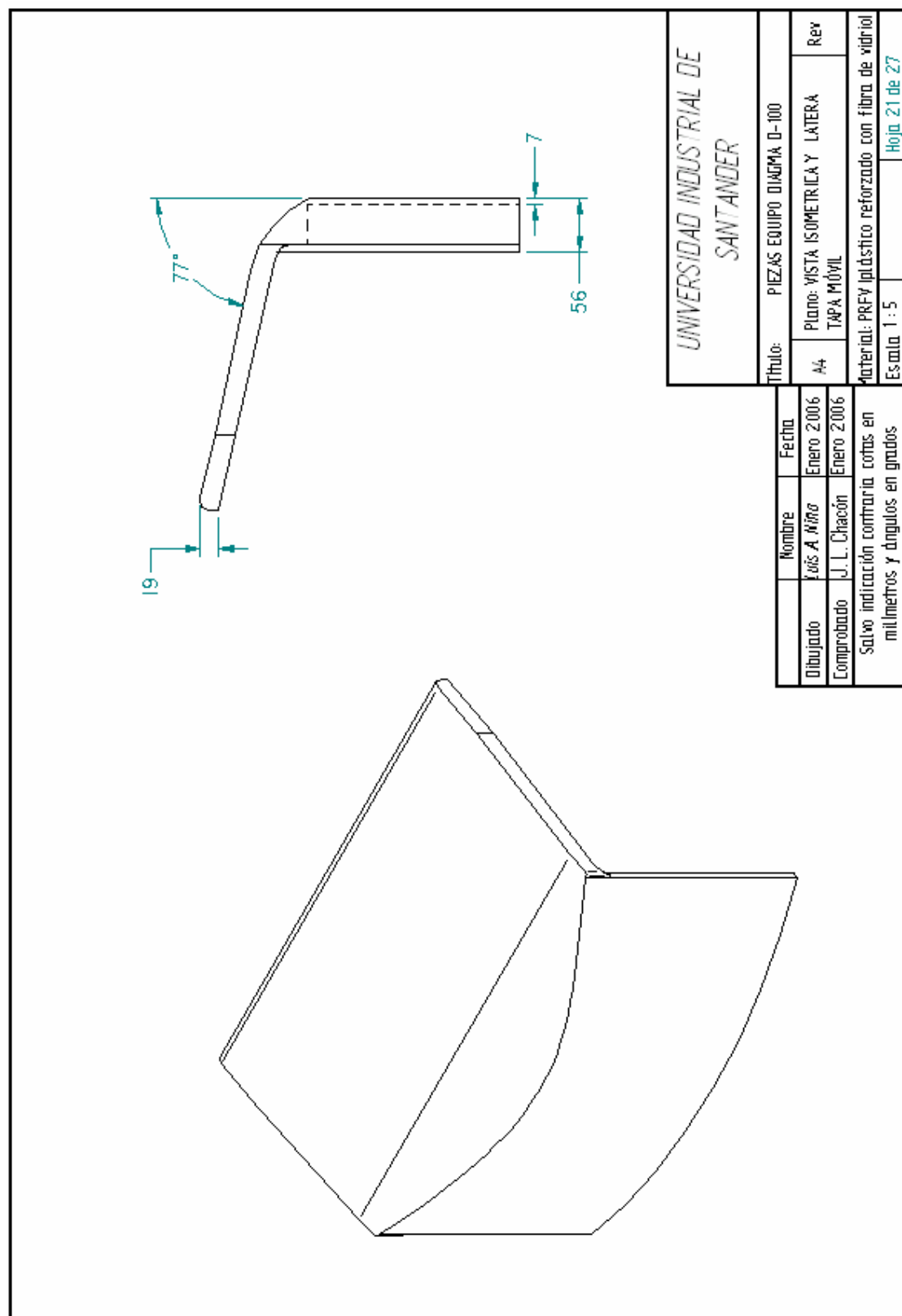
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER

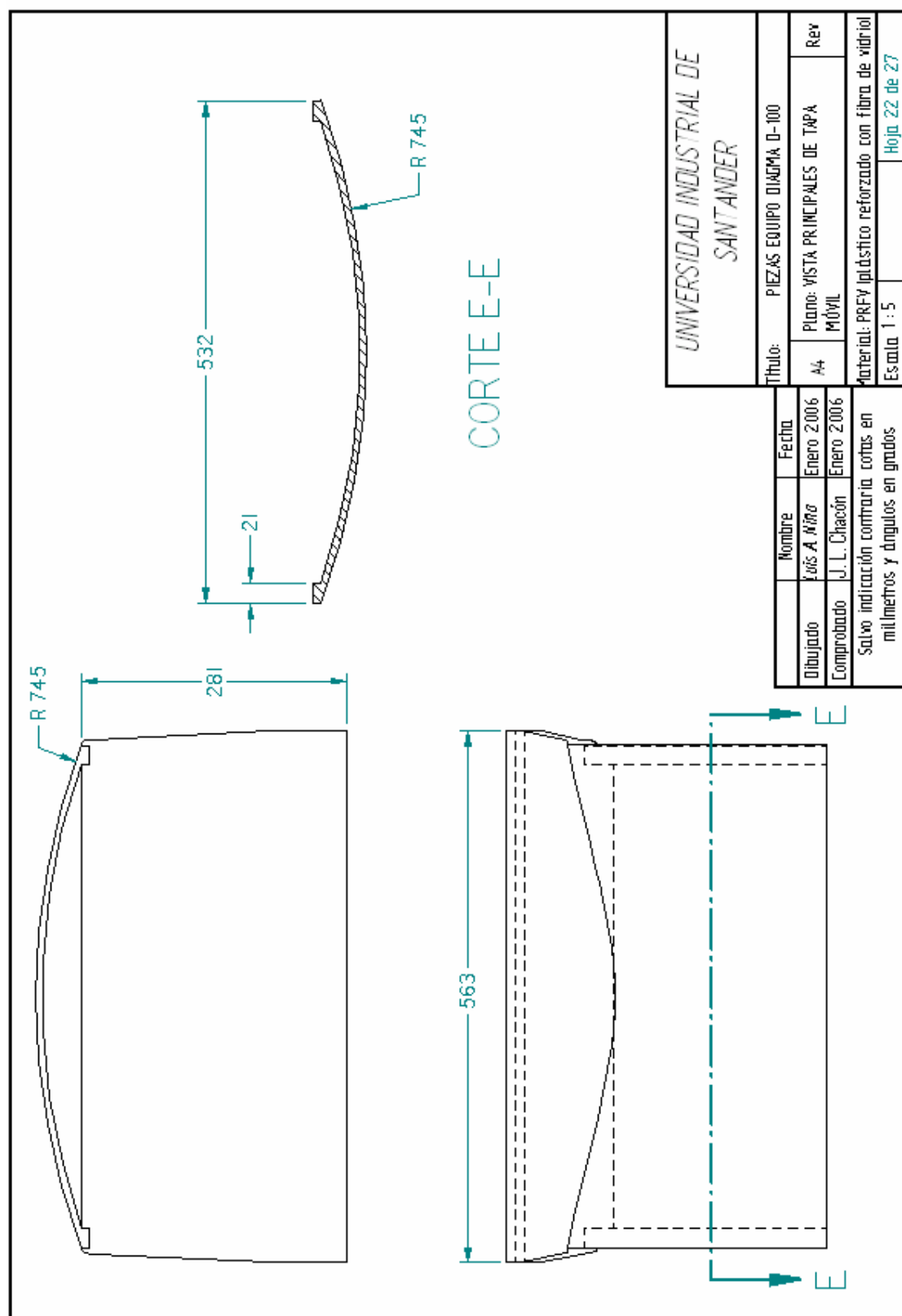
Título: PIEZAS EQUIPO DIAGMA D-100		Rev	
A4	Plano: VISTA ISOMETRICA Y LATERA BANDEJA DE IMPRESORA		
Material: lamina cold rolled calibre 18			
Escala 1 : 5		Hoja 18 de 27	

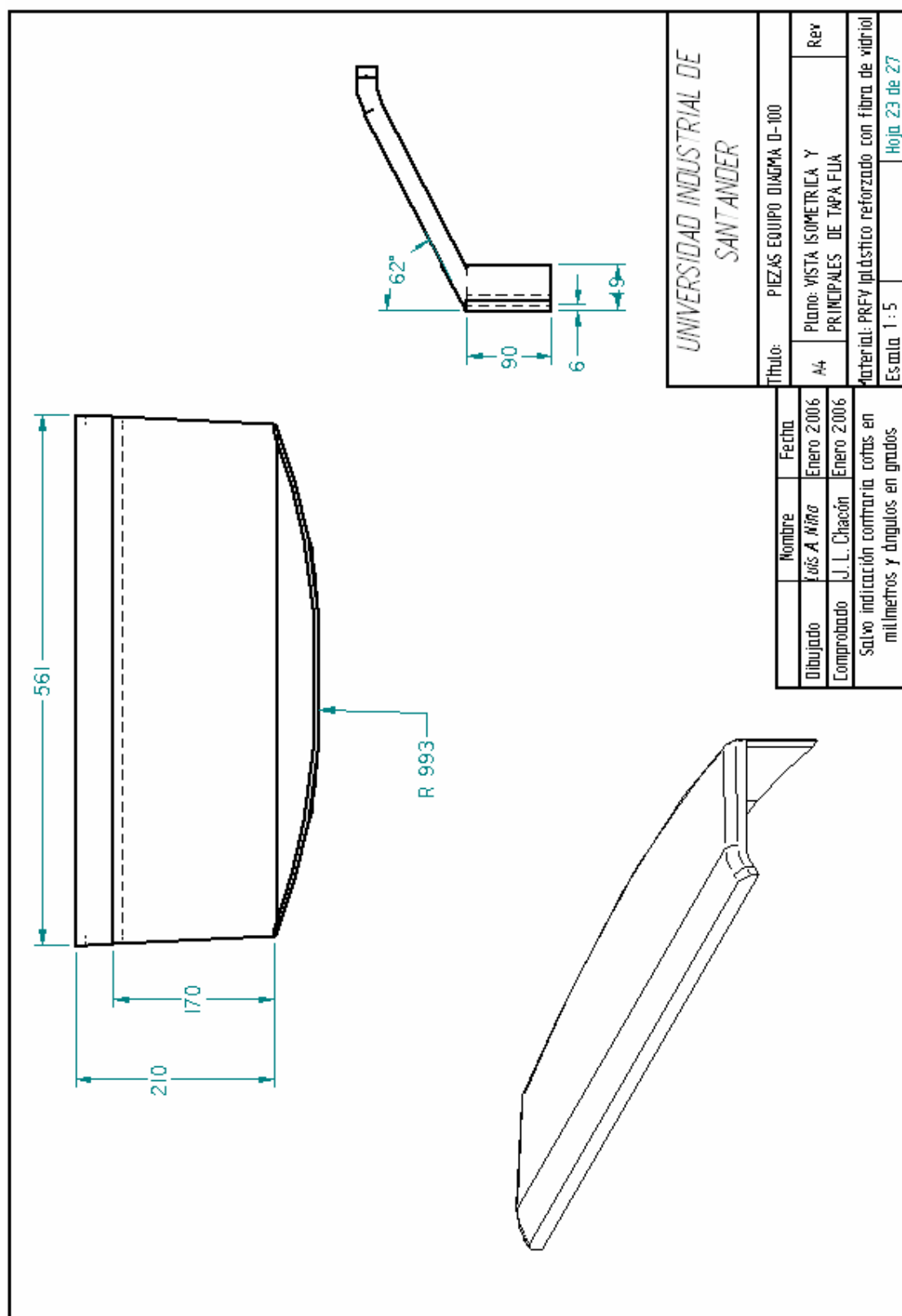
Dibujado	Nombre	Fecha
Comprobado	J. L. Chacón	Enero 2006
Salvo indicación contraria, todos en milímetros y ángulos en grados		

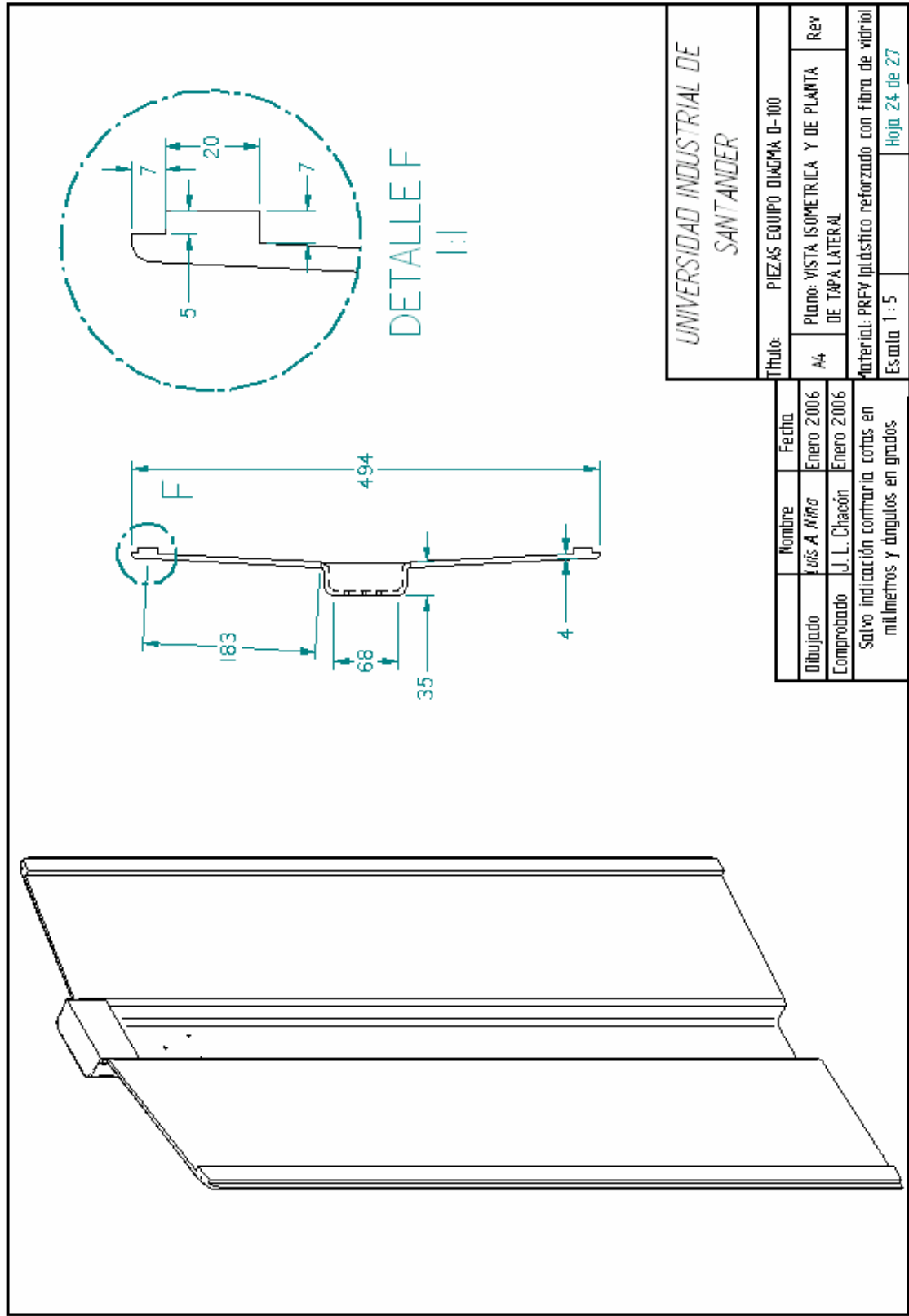




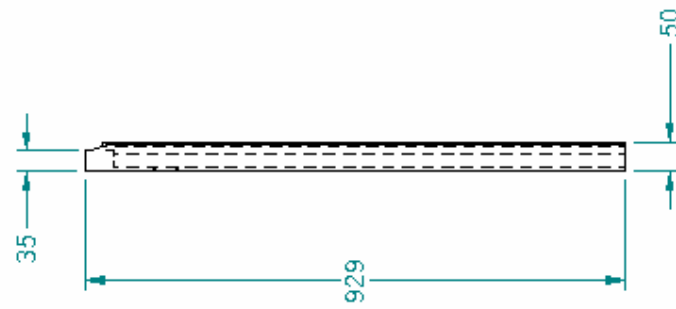
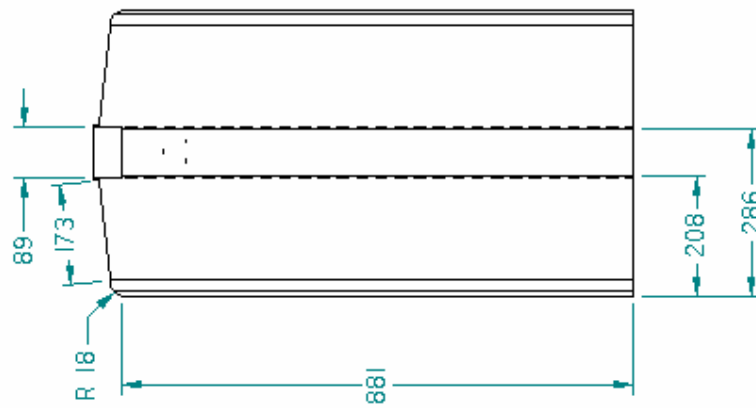






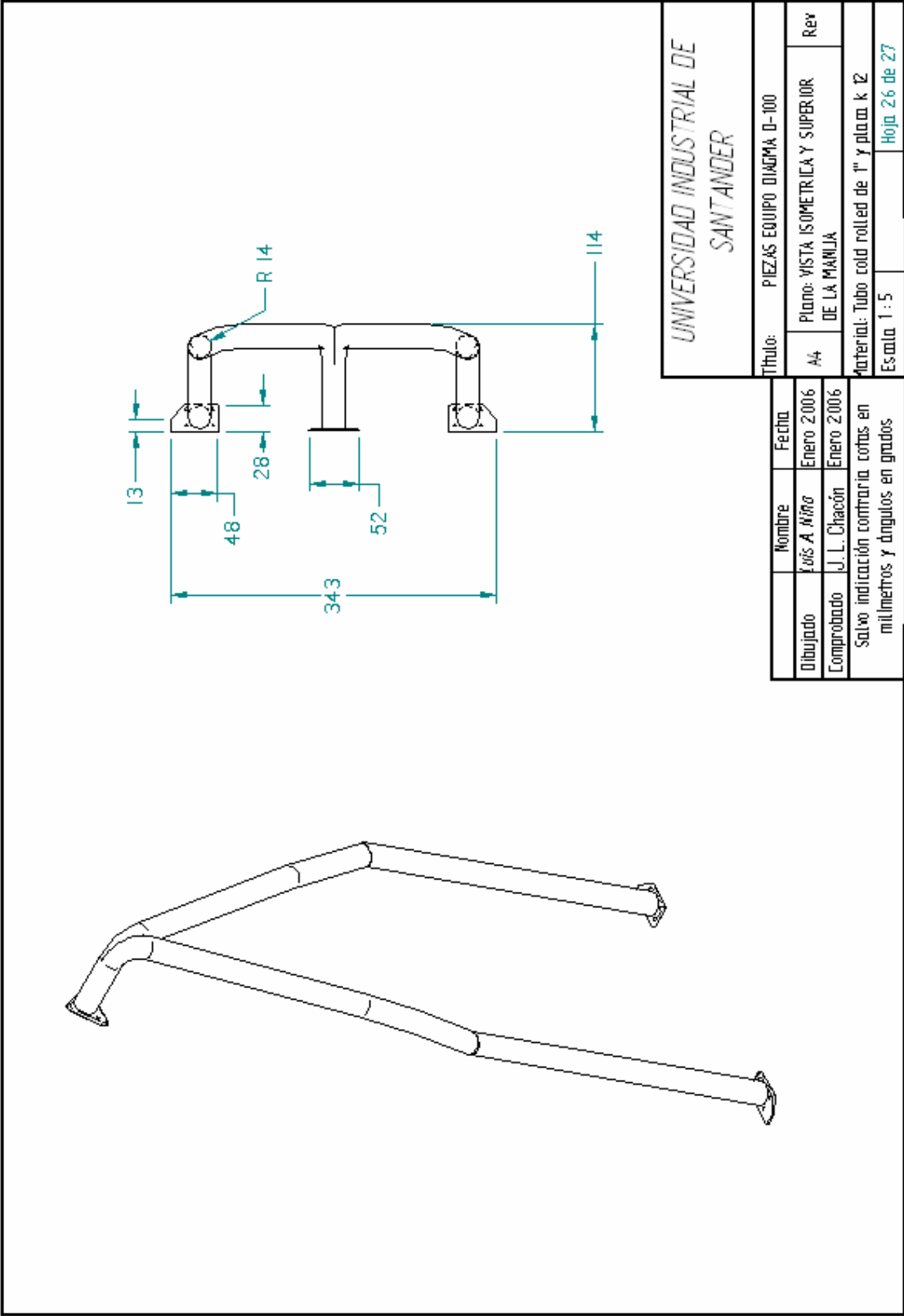


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER			
Título: PIEZAS EQUIPO DIAGMA D-100		Rev	
Dibujado	Nombre	Fecha	Plano: VISTA ISOMETRICA Y DE PLANTA
José A. Wina	José A. Wina	Enero 2006	A4
Comprobado	J. L. Chacón	Enero 2006	DE TAPA LATERAL
Salvo indicación contraria cotas en milímetros y ángulos en grados			Materia: PRFY plástico reforzado con fibra de vidrio
			Escala: 1 : 5
			Hoja 24 de 27



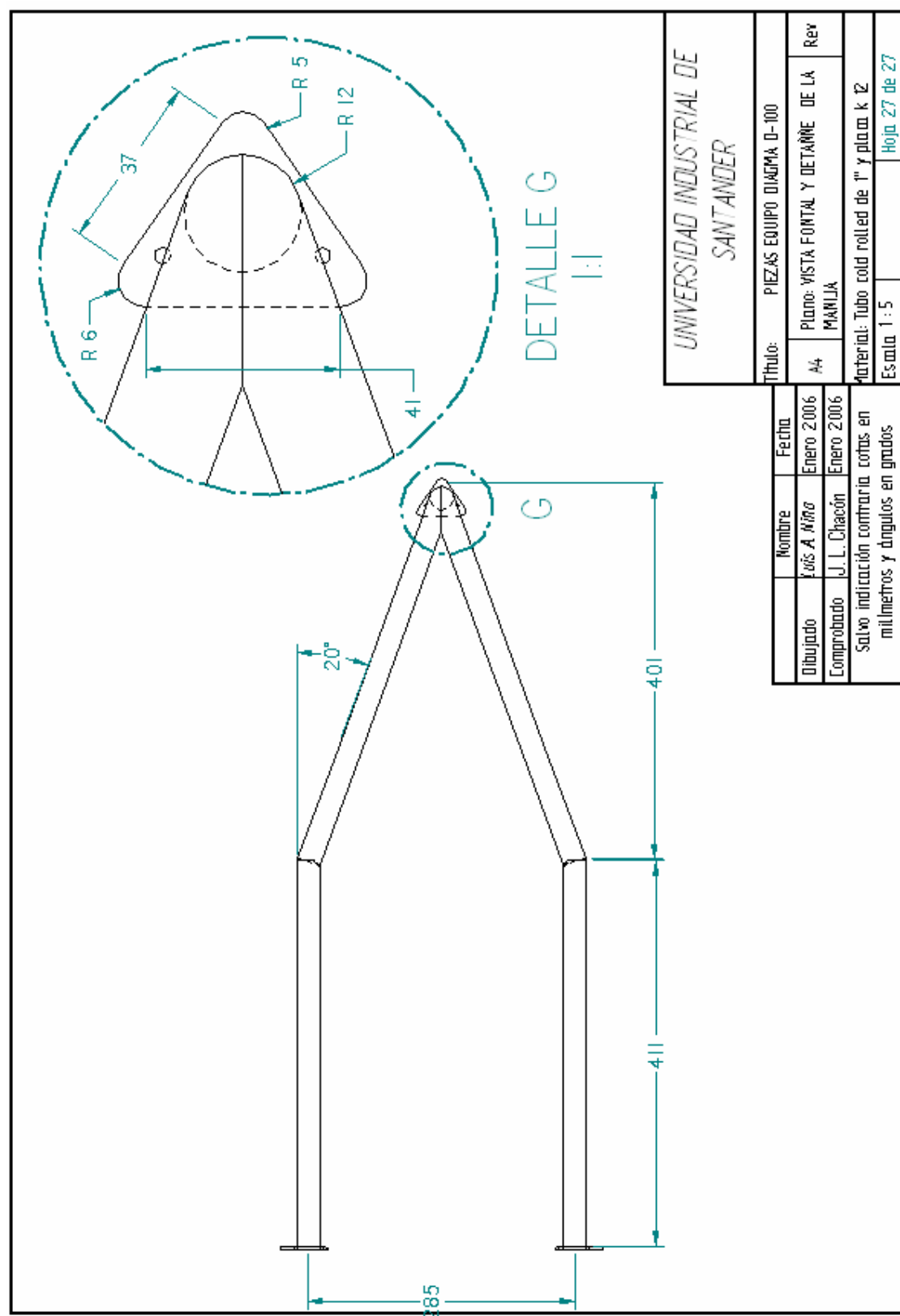
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER

Título: PIEZAS EQUIPO DIADIMA D-100		Rev	
Dibujado	Nombre Luis A. Mena	A4	Plano: VISTA FONTAL Y LATERAL DE TAPA LATERAL
Comprobado	J. L. Chacón	Enero 2006	Material: PRFY Iplástico reforzado con fibra de vidrio
Salvo indicación contraria cotas en milímetros y ángulos en grados		Escala 1 : 10	Hoja 25 de 27



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER

		Título: PIEZAS EQUIPO DIADIMA D-100	
Dibujado	Nombre	Fecha	
Comprobado	J. L. Chacón	Enero 2006	
		Plano: VISTA ISOMETRICA Y SUPERIOR DE LA MANILJA	
		Rev	
Material: Tubo cold rolled de 1" y planch 12			
Salvo indicación contraria cotas en milímetros y ángulos en grados		Escala 1:5	Hoja 26 de 27



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE
SANTANDER

Título:	PIEZAS EQUIPO DINAMA D-100		
A4	Plano: VISTA FONAL Y DETALLE DE LA MANIJA	Rev	
Material: Tubo cold rolled de 1" y plom k 12			
Esca 1:5		Hoja 27 de 27	

Dibujado	Nombre	Fecha
Comprobado	Luis A. Nima	Enero 2006
Salvo indicación contraria, cotas en milímetros y ángulos en grados		
J.L. Chacón		
Enero 2006		

ANEXO F. EXPERIMENTACION ERGONÓMICA PARA EL PROTOTIPO DEL EQUIPO DIAGMA D-100

Con el objeto de determinar el alcance logrado de los requerimientos de diseño establecidos para el prototipo del equipo DIAGMA D-100, tal como están plasmados en el numeral 5.1.5, se realizó la siguiente experimentación ergonómica; para ello se contó con la colaboración de dos estudiantes de pregrado de Ingeniería Mecánica (Jorge Castellanos y Oscar Camargo), el ingeniero electrónico Jorge Higuera y el profesor y director de proyecto Ing. Jorge Luís Chacón.

F.1 EXPERIENCIA N° 1: UBICACIÓN DE CADA COMPONENTE DE FORMA QUE PERMITA SU FÁCIL UBICACIÓN.

Se les indico a los participantes identificar los componentes generales, que son computador portátil, impresora, equipo analizador de gases de escape, opacimetro, sensores y tablero de conexión de sensores, fig. 7.

Fig. 7. Participante identificando tarjetas de conexión



Fuente: El autor

Se observó que identificaron con facilidad los componentes de las partes superiores, presentando alguna inseguridad para ubicar el opacimetro y el analizador de gases.

F.2 EXPERIENCIA N° 2: RELACIÓN DIMENSIONAL, EL USUARIO ESTARÁ DE PIE DURANTE LA REALIZACIÓN DE LA PRUEBA.

Los usuarios tienen la función de interactuar con el equipo y realizar una prueba de campo, fig. 8.

Fig. 8 Participantes en operación con el equipo



Fuente: El autor, fotografías tomadas en el LMTA y en las instalaciones de CODISEL

Durante esta experiencia se encontró que el equipo dimensionalmente corresponde a las condiciones antropométricas y biomecánicas de los usuarios, la fatiga se encontró durante la realización de la prueba ya que se produjo cansancio por tiempo de permanencia de pie a tal grado que el usuario recurrió a un medio para descansar sin detener la operación en ejecución.

F.3 EXPERIENCIA N° 3: CONSIDERAR LA SITUACIÓN EN LA CUAL OTRAS PERSONAS, DIFERENTE AL REALIZADOR DE LA PRUEBA, OBSERVE EN TIEMPO REAL LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

Se le sugirió a otra persona a participar en la observación de la información suministrada en la pantalla del computador y a expresar lo sentido por él, fig. 9.

Fig. 9. Participantes en operación con el equipo



Fuente: El autor, fotografía tomadas en las instalaciones de CODISEL

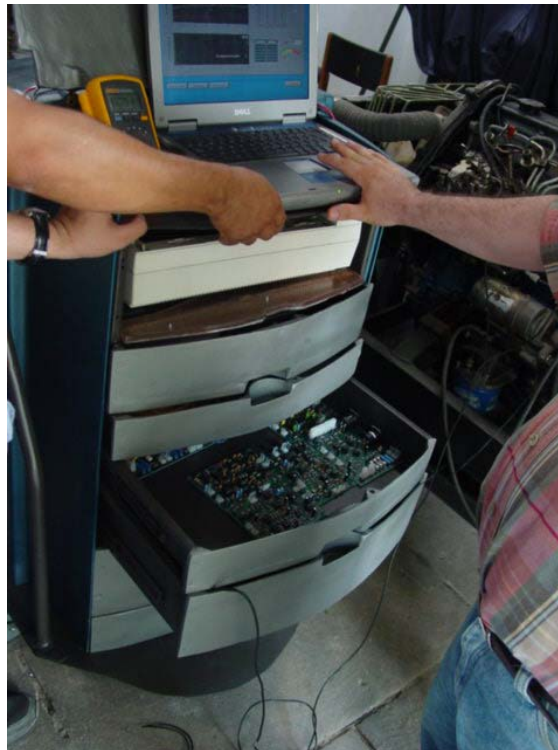
El segundo participante expresa observar sin mayores contratiempos la

información de la pantalla.

F.4 EXPERIENCIA N° 4 SE DEBE OFRECER SEGURIDAD AL USUARIO DE FORMA QUE EL EQUIPO NO ENTRAÑE RIESGO FÍSICO.

El usuario entra en contacto con diferentes partes del equipo con el objeto de determinar la facilidad de maniobra y si representa alguna situación insegura para su bienestar, fig. 10.

Fig. 10. Usuario realizando palpación de equipo



Fuente: El autor

Se realiza una observación por parte del usuario en cuanto la posibilidad de riesgo físico en lo referente a la base, según lo expresado se podría presentar un golpe severo de la parte metálica contra el pie del usuario cuando el equipo se encuentre en movimiento. Las demás partes de equipo no representan riesgo alguno.

F.5 EXPERIENCIA N° 5 UTILIZACIÓN DEL EQUIPO EN DIFERENTES AMBIENTES DE CAMPO

Se pidió la utilización del equipo en un ambiente diferente al del LMTA, para ello se utilizó las instalaciones de CODISEL y CAMPESA, fig. 11.

Fig. 11. Realización de una prueba bajo condiciones climáticas desfavorables.



Fuente: El autor, fotografía tomada en las instalaciones de CODISEL

Durante la realización de pruebas en diferentes ambientes los mayores problemas se presentaron cuando se realizaban en áreas abiertas y con ambientes calurosos o de lloviznas, para este último caso la prueba no se puede dar por terminada en forma inmediata (por razones de software), tal que los usuarios hicieron uso de accesorios de última hora, para evitar daño de tarjetas electrónicas, computador y presencia de corto circuito en los puntos de conexión de sensores.