

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
VALPARAÍSO-CHILE



“DESARROLLO DE UN MÉTODO PARA EL
MONTAJE Y PRUEBA DE SENSORES DE PRESIÓN
EN UN MOTOR CICLO DIÉSEL PARA LA
IMPLEMENTACIÓN DE NUEVAS EXPERIENCIAS
DE LABORATORIO EN EL LABORATORIO DE
TERMOFLUIDOS DEL DIMEC”

MIGUEL ÁNGEL TABILO SALVO

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL MECÁNICO

PROFESOR GUÍA:

DR. – ING. GERMÁN AMADOR D.

PROFESORES CORREFERENTES:

ING. RAFAEL MENA Y.

DIPL. ING. UDO RHEINSCHMIDT.

Octubre 2020

“A mis padres, aquellos que siempre creyeron en mí, incluso más que yo.”

Agradecimientos

Quiero agradecer primeramente a Dios, a mi familia y en especial a mi novia por sus consejos y apoyo constante en el proceso de redacción de este trabajo.

Quisiera agradecer a mis profesores, Germán Amador, Rafael Mena y Udo Rheinschmidt, por su guía y apoyo en el desarrollo de esta memoria.

Gracias a la Universidad Técnica Federico Santa María por su apoyo en la compra de los equipos e instrumentos utilizados.

Gracias al profesor Mauricio Osses y a todo el equipo del proyecto PEMS-FONDEF, por su apoyo a este trabajo.

Gracias al equipo de RMENA INGENIERÍA por su disposición y trabajo de excelencia.

Finalmente quisiera agradecer a los apoyos académicos de la Universidad Técnica Federico Santa María, al señor Pedro Ruiz, junto con todo el equipo del Taller Metalmecánica y al señor Daniel Galleguillos del Laboratorio de Motores, por poner a disposición toda su experiencia y buena voluntad.

Resumen

La presente memoria se desarrolla en el contexto de la modernización del laboratorio de motores de combustión interna del Departamento de Ingeniería Mecánica. Esta modernización se realiza mediante la actualización de la instrumentación de un motor Diesel Mercedes-Benz.

El objetivo principal de este trabajo es desarrollar un método para el montaje y prueba de sensores de presión en este motor, para implementar nuevas experiencias de laboratorio.

La metodología de la presente memoria se basa en el estudio de la culata del motor, que permite la determinación del lugar de instalación de los sensores, el método óptimo de montaje y el sistema de medición de los datos, junto con los equipos auxiliares necesarios, para finalmente incorporar este sistema al laboratorio, y utilizarlo en nuevas actividades docentes.

El resultado principal obtenido de este trabajo, es el desarrollo de una metodología que permite abordar la instalación de sensores de presión. Se realizó un modelo 3D de la culata del motor, junto con el levantamiento de sus planos, la determinación del lugar de instalación del sensor y el método de montaje. Se calcularon, cotizaron y adquirieron los equipos de adquisición de datos, que permiten recopilar la información de los sensores y analizarla mediante un *software* dedicado. Se elaboró un sistema para el análisis de la combustión, en un motor Mercedes-Benz OM366 LA, basado en sensores de presión en cámara, sensores de presión en el escape, sensores de temperatura y medición del ángulo del cigüeñal. Se desarrolló el método de instalación de estos instrumentos y su incorporación a un sistema central, mediante tecnología cDAQ para su análisis conjunto en un programa informático.

Finalmente, se desarrollaron dos guías de laboratorio, que incorporan la utilización de esta nueva tecnología, a las experiencias docentes del laboratorio de motores de combustión interna, de la Universidad Técnica Federico Santa María.

Abstract

This report is developed in the context of the modernization of the internal combustion engine laboratory of the Department of Mechanical Engineering. This modernization is carried out by updating the instrumentation of a Mercedes-Benz Diesel engine.

The main objective of this work is to develop a method for the mounting and testing of pressure sensors in this engine, to implement new laboratory experiences.

The methodology of this report is based on the study of the engine cylinder head, which allows the determination of the sensor installation location, the optimal mounting method and the data measurement system, together with the necessary auxiliary equipment, to finally incorporate this system to the laboratory, and use it in new teaching activities.

The main result obtained from this work is the development of a methodology that allows approaching the installation of pressure sensors. A 3D model of the engine cylinder head was made, together with the lifting of its drawings, the determination of the sensor installation site and the mounting method. Data acquisition equipment was calculated, priced and purchased, which allows the information from the sensors to be collected and analyzed using a dedicated textit software.

A system for combustion analysis was developed in a Mercedes-Benz OM366 LA engine, based on chamber pressure sensors, exhaust pressure sensors, temperature sensors and measurement of the crankshaft angle. The installation method for these instruments and their incorporation into a central system was developed, using cDAQ technology for their joint analysis in a computer program. Finally, two laboratory guides were developed, which incorporate the use of this new technology, to the teaching experiences of the internal combustion engine laboratory at the Universidad Técnica Federico Santa María.

Acrónimos

LHV Poder Calorífico Inferior. 112

sfc consumo específico de combustible. 12

ADC Convertidor Analógico-Digital. 65

ATB Biselado Alterno o Variable. 31

BNC "Bayonet Neill-Concelman". 53, 68–70

CAD Diseño asistido por computadora. 2, 21, 42–44, 47, 49

CAN *Controller Area Network*. 57, 60

cDAQ Adquisidor de datos compacto. 69–72

DAQ Adquisición de Datos. 64, 67

DCE Exposición Directa del Chip. 54, 55

DH En Punta Cóncavo. 32

DIMEC Departamento de Ingeniería Mecánica. 1–3, 35, 125

E/S *Entrada/Salida*. 65, 72

EVO apertura de la válvula de escape. 110, 111

FTG Plano o Recto. 31

GUI *Graphical User Interface*. 58

HRR tasa de liberación de calor. 111, 112, 122

HSS Acero Rápido. 30, 35, 147

ISO International Organization for Standardization. 21

IVC cierre de la válvula de admisión. 110

LVDS *low-voltage differential signaling*. 62

LVDT *Linear Variable Differential Transformer*. 65

MECESUP Mejoramiento de la Calidad y Equidad de la Educación. 3

PC *Personal Computer*. 9, 58

PMI Punto Muerto Inferior. 9

PMS Punto Muerto Superior. 9, 108, 112

PTFE Politetrafluoroetileno. 56

PVE Polivinileter. 55

RTD *Resistance Temperature Detector*. 65

SCP Plataforma de Acondicionamiento de Señal. 57–60, 62, 68, 70, 98, 102, 104

TCG Plano o Trapezoidal. 31, 32, 35

TEDS Hoja de Datos del Transductor Electrónico. 58, 59

TTL *Transistor-Transistor Logic*. 62, 68, 69

Índice General

Acrónimos	V
1. Introducción	1
1.1. Objetivos	2
1.1.1. Objetivo General	2
1.1.2. Objetivos específicos	2
1.2. Motivación del proyecto	3
2. Antecedentes Generales y Situación Actual	4
2.1. Descripción Laboratorio Termofluidos	4
2.2. Descripción Motor	5
2.3. Descripción Sala de Ensayo Motor OM 366 LA	7
2.4. Parámetros y métodos actuales de obtención	9
2.4.1. Torque	9
2.4.2. Potencia	11
2.4.3. Consumo Específico de Combustible	12
2.4.4. Presión Media Efectiva	13
2.4.5. Presión instantánea en la cámara de combustión	13
2.5. Sensores de presión para motor Diesel OM366 LA	14
3. Levantamiento de planos para Culata de Motor OM366 LA	19
3.1. Mediciones y modelo general	19
3.1.1. Medición Culata de motor OM366 LA	20

3.2.	Medición de la geometría interna	24
3.2.1.	Selección Método de Corte	25
3.2.2.	Corte de culata con disco dentado	26
3.3.	Proceso de Corte	37
3.3.1.	Primer Corte	38
3.3.2.	Segundo Corte	39
3.3.3.	Tercer Corte	41
3.4.	Modelo CAD de Culata de Motor OM366 LA	42
3.5.	Configuraciones para instalación de Camisa 6525ASP	44
3.5.1.	Configuración en ángulo	44
3.5.2.	Configuración vertical	46
3.5.3.	Proyección Instalación Vertical	47
4.	Instrumentos y Equipos de Medición	50
4.1.	Equipos e Instrumentos KISTLER	50
4.1.1.	Sensor de Presión 6052C	50
4.1.2.	Sensor de Presión 4007...DS	54
4.1.3.	Sistema SCP Slim y Amplificadores de Señal	57
4.1.4.	<i>Set Encoder</i> Tipo 2614CK0	61
4.2.	Sensores de Temperatura	62
4.3.	Sistema de Adquisición de Datos	64
4.3.1.	Selección Sistema de Adquisición de Datos	67
4.4.	Sistema de Adquisición de Datos <i>National Instruments</i>	68
4.4.1.	Señal sistema SCP	68
4.4.2.	Señal <i>Encoder</i>	69
4.4.3.	Señal Termocuplas	70
4.4.4.	Incorporación de señales	71
5.	Montaje y Prueba de Equipos e Instrumentos	74
5.1.	Montaje Camisa 6525ASP	74
5.1.1.	Agujero para montaje de Camisa 6525ASP	75

5.1.2.	Instalación Camisa 6525ASP	76
5.2.	Montaje Sensor 6052C	78
5.2.1.	Puntos de comprobación antes de la instalación	80
5.2.2.	Montaje de Sensor 6052C	81
5.2.3.	Desmontaje y mantenimiento	82
5.3.	Mecanizado de Agujero para montaje de Sensor 4007D005FDS1	83
5.4.	Montaje Sensor 4007D005FDS1	84
5.4.1.	Puntos de comprobación antes de la instalación	85
5.4.2.	Montaje Sensor 4007D005FDS1	86
5.5.	Montaje Amplificadores y Sistema SCP	87
5.6.	Montaje <i>Encoder</i>	88
5.6.1.	Montaje <i>Encoder</i> óptico en Motor Mercedes Benz OM366 LA	89
5.6.2.	Montaje <i>Encoder</i> Electrónico	92
5.7.	Montaje Equipo de Adquisición de datos	94
5.7.1.	NI cDAQ - 9174	94
5.7.2.	Instalación Módulos <i>National Instruments</i>	95
5.8.	Instalación Sistema Completo	96
5.9.	Prueba de Equipos	98
5.9.1.	LabVIEW y NI-DAQmx	98
5.9.2.	Prueba de Sensores y sistema SCP Slim	102
6.	Guías de Laboratorio	107
6.1.	Análisis de presión en cámara de combustión	108
6.1.1.	Obtención de la presión en la cámara de combustión	110
6.2.	Análisis de intercambio de gases	115
6.3.	Guías de Laboratorio	117
6.4.	Cálculos esperados en Guías de Laboratorio	118
6.4.1.	Guía N°1: Curva de presión en cámara motor OM366 LA	120
6.4.2.	Guía N°2: Parámetros para análisis de combustión	120

7. Conclusiones y Recomendaciones	124
7.1. Recomendaciones	125
Bibliografía	127
Anexos	131
A. Catálogo Sensores 6052C y 4007D005FDS1	131
B. Vistas Culata de Motor OM366 LA	138
C. Elementos para realizar mediciones en taller	139
D. Mediciones generales Culata OM366 LA	140
E. Catálogo <i>Tester</i> de Dureza TH-110	142
F. Planos Fresadora <i>Milwaukee</i> 307 S-12	144
G. Tipos de Discos de Corte	147
H. Planos Elementos de Sujeción	148
I. Catálogo Dormer Discos Dentados D750-D751	150
J. Plano Culata de motor Mercedes-Benz OM366 LA	151
K. Plano de Camisa 6525ASP	153
L. Plano de Soporte para Instalación de Camisa	154
M. Plano de Instalación Camisa 6525ASP	155
N. Procesos en Manufactura de Precisión	157
Ñ. Plano <i>Dummy Sensor</i> 6445	163
O. Costos	164
P. Guía N°1	165
Q. Guía N°2	168

Índice de Figuras

2.1. Motor OM 366 LA	5
2.2. Curvas de Desempeño motor Mercedes Benz OM 366 LA	6
2.3. Elementos de un Banco de Ensayos	7
2.4. Descomposición de la fuerza ejercida en el pistón por los gases de combustión . . .	10
2.5. Sensor Piezoeléctrico	15
2.6. Sensor 6052C	18
3.1. Motor OM 138 del modelo Mercedes-Benz 260D	20
3.2. Motor OM366 LA	20
3.3. Vista posterior de motor, culata, <i>manifold</i> de admisión y escape.	21
3.4. Modelo 3D culata de motor OM366 LA	23
3.5. Dimensiones Generales Culata y dirección deseada de los cortes	24
3.6. Fresa <i>Milwaukee</i> 307 S-12	27
3.7. Fundición Gris: Dureza Brinell v/s Espesor	28
3.8. Zonas de Medición de Dureza	29
3.9. Representación montaje preliminar de culata en la Fresa	33
3.10. Elementos de Montaje en Fresa	34
3.11. Fresa y Proyección del montaje para el Corte	35
3.12. Montaje de Disco D751 y Culata OM366 LA en Fresa Milwaukee	36
3.13. Zona Primer Corte: Zona media de válvula de escape, cilindro 5	38
3.14. Primer corte en culata OM366 LA	39
3.15. Zona Segundo Corte: Perno de culata paralelo a válvula de admisión, cilindro 6 . .	40
3.16. Segundo Corte realizado en culata OM366 LA	40

3.17. Zona Tercer Corte: Paralelo al inyector, zona media cilindro 6	41
3.18. Tercer corte realizado en culata OM366 LA	42
3.19. Modelo 3D: Presentación Culata y sus cortes	42
3.20. Tercer corte realizado en culata OM366 LA	43
3.21. Modelo 3D de Instalación en Ángulo	45
3.22. Dibujo Limitaciones de Instalación en ángulo	45
3.23. Esquema de Instalación vertical de camisa 6525ASP	46
3.24. Tercer corte realizado en culata OM366 LA	48
3.25. Visualización zona de instalación camisa 6525ASP	48
3.26. Visualización Instalación camisa 6525ASP	49
4.1. Estructura de sensor 6052C	51
4.2. Estructura de sensor modelo 4007	54
4.3. Instalación Sensor 4007D005FDS1	55
4.4. SCP Slim 2852B12 con Amplificadores	57
4.5. Amplificador 5064D11	59
4.6. Amplificador 4665B1	60
4.7. <i>Set Encoder</i> 2614CK0	61
4.8. Código de Colores	63
4.9. Termocupla tipo K	63
4.10. Sistema de Adquisición de Datos General	64
4.11. Módulo NI 9401	69
4.12. Módulo NI 9215	70
4.13. Módulo NI 9213	71
4.14. Chasis NI cDAQ-9174	72
4.15. Componentes Sistema de Adquisición de Datos	73
5.1. Vista Isométrica: Instalación Camisa 6525ASP	77
5.2. Vista en Corte: Instalación Camisa 6525ASP	77
5.3. Conjunto 6052C39U20: Sensor, Cable M4 y Conector BNC.	78
5.4. Llave de Montaje SW 5,5 Tipo 1300A9	79

5.5. Llave de Torque 1...6 [Nm] Tipo 1300A17	79
5.6. Elementos Complementarios	80
5.7. Condición óptima de la superficie para montaje de Sensor 6052C	80
5.8. Montaje Sensor 6052C	81
5.9. Montaje Sensor 6052C - Continuación	82
5.10. Indicaciones para Montaje Sensor 4007D005FDS1	83
5.11. Sensor 4007D005FDS1-2,0	84
5.12. Llave de Montaje SW 5,5 Tipo 1300B12	85
5.13. Sellos de cobre 6,2x5x1,3	85
5.14. Sensor 4007D005FDS1 - Asiento para Sello de Cobre	86
5.15. Montaje Sensor 4007D005FDS1	86
5.16. Sistema SCP Slim - Detalle de conexiones	87
5.17. Sistema SCP <i>Slim</i> con Amplificadores para Sensores 6052C y 4007D005FDS1	87
5.18. Amplificadores - Conexión de Sensores	88
5.19. Adaptador de Cigüeñal	89
5.20. Premontaje de <i>Encoder</i>	90
5.21. Ranuras en Brida de Montaje	90
5.22. Montaje <i>Encoder</i>	91
5.23. Montaje de <i>Encoder</i>	92
5.24. Conexión <i>Encoder</i> 2614C11	93
5.25. Conexión TTL	93
5.26. Dimensiones chasis cDAQ 9174	94
5.27. Conexiones chasis cDAQ-9174	95
5.28. Pestillos Módulos <i>National Instruments</i>	95
5.29. Ensamble de módulos en chasis cDAQ-9174	96
5.30. Instalación en Sala de Pruebas	97
5.31. Monitor del Dispositivo	100
5.32. Ventana MAX	101
5.33. <i>Self-Test</i>	101
5.34. Instalación <i>software</i> KISTLER	102

5.35. Instalación Latronix	103
5.36. Finalizar Instalación <i>software</i> KISTLER	103
5.37. Configuración <i>software</i> SCP	104
5.38. Configuración <i>software</i> SCP (continuación)	105
5.39. Configuración <i>software</i> SCP (continuación)	106
6.1. Curva de Presión en Cámara	108
6.2. Esquema de Posición Sensor Piezorresistivo	115
6.3. Curva de Presión en <i>Manifold</i>	116
6.4. Comparación curvas de presión - Ciclo Otto y Ciclo Diesel	118
6.5. <i>Software Engauge Digitizer</i>	119
6.6. Datos obtenidos mediante <i>Engauge Digitizer</i>	119
6.7. Diagrama Indicador	121
6.8. Volumen Instantáneo	121
6.9. Análisis de la combustión	122
6.10. Fracción de Quemados	123
7.1. Vistas Ortogonales Culata de motor OM366 LA, dispuestas según norma ISO 128-82138	
7.2. Mediciones Vista Frontal	140
7.3. Vistas Laterales	140
7.4. Vista Superior	140
7.5. Vista Inferior	141
7.6. Vista Posterior	141
7.7. Plano Fresa Milwaukee 307 S-12	144
7.8. Plano Cabezales Fresa <i>Milwaukee</i> 307 S-12	144
7.9. Plano Fresa <i>Milwaukee</i> 307 S-12 en Planta	145
7.10. Planos Mesa y Soportes de Fresa <i>Milwaukee</i> 307 S-12 en Planta	146
7.11. Plano Pletina de sujeción	148
7.12. Plano Perno de sujeción	149
7.13. Catálogo Dormer Discos Dentados	150
7.14. Plano Camisa 6525ASP	153

7.15. Plano Soporte de Camisa	154
7.16. Plano Sensor Falso	163

Índice de Tablas

2.1. Características Motor Mercedes-Benz OM 366 LA	6
2.2. Tipos de Sensores de Presión	14
3.1. Procesos de Corte	25
3.2. Mediciones de Dureza	29
3.3. Especificaciones Disco Dentado Dormer D751	36
3.4. Parámetros de mecanizado seleccionados para trabajo en Fresa	37
4.1. Condiciones de Operación Sensor 6052C39U20	52
4.2. Descripción Sensor 6052C y sus accesorios	53
4.3. Condiciones de Operación Sensor 4007D005FDS1	56
4.4. Descripción Sensor 4007D...DS y sus accesorios	56
4.5. Equipos electrónicos - KISTLER	62
4.6. Sensores Comunes en la Industria	65
4.7. Datos Catálogo NI 9401	69
4.8. Datos Catálogo NI 9215	70
4.9. Datos Catálogo NI 9213	71
4.10. Datos Catálogo NI cDAQ-9174	72
6.1. Datos derivados de los sensores KISTLER	107
6.2. Datos Motor Mercedes-Benz OM366 LA	120
7.1. Elementos de Protección Personal en Taller Metalmecánica	139
7.2. Instrumentos de Medición	139
7.3. Cotas correspondientes a los planos de las Figuras 7.7 y 7.8	145

7.4. Cotas correspondientes a los planos de las Figuras 7.9 y 7.10	146
7.5. Discos de Corte Según Materiales	147
7.6. Costos Insumos y otros Productos	164
7.7. Costos Productos KISTLER	164
7.8. Costos Productos National Instruments	164

Capítulo 1

Introducción

El Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica Federico Santa María, de ahora en adelante DIMEC, prepara a los estudiantes para abordar los distintos desafíos de la ingeniería mecánica en sus distintas formas: diseño, manufactura, gestión energética, y en general en la búsqueda de soluciones a todo tipo de problemas tecnológicos que involucren movimiento. Una de las áreas de aplicación que está actualmente en desarrollo es el estudio de motores de combustión interna, cuyo laboratorio de ensayos y pruebas está dentro del laboratorio de Termofluidos del DIMEC.

En este contexto, se debe considerar que uno de los aspectos más importantes a la hora de realizar los estudios en un motor de combustión, es el contar con los instrumentos adecuados para ello. Se requiere de una correcta instalación de sensores de temperatura, de presión y en general de cualquier instrumento que permita la obtención de datos relevantes para la caracterización de los procesos que derivan de la puesta en marcha de un motor, y de su desempeño durante un ciclo de trabajo. Es necesario además, el uso de equipos que permitan registrar estos datos y procesarlos correctamente para obtener conclusiones del funcionamiento del motor y a su vez generar distintas condiciones de trabajo para evaluar su desempeño dinámico.

Actualmente, el laboratorio cuenta con dos motores ciclo Diesel y un motor ciclo Otto para el trabajo de docencia, investigación y ensayos a pedido de empresas externas, sin embargo, no todos cuentan con la instrumentación para realizar estudios específicos. En concreto, se desea poder medir la presión en la cámara de combustión, la cual aporta información relevante para el análisis del funcionamiento del motor.

En el marco del plan de desarrollo del DIMEC, en su versión del año 2019, se ha financiado la adquisición de equipamiento, con el fin de instrumentar los motores del laboratorio de Termofluidos. En este contexto emerge esta memoria, la cual busca desarrollar la metodología para la instrumentación de un motor “Mercedes-Benz OM 366 LA”. Metodología que pretende principalmente describir la instalación de un sensor de presión en la cámara de combustión del motor, y de este modo garantizar un aumento de las actividades docentes que se pueden realizar. Adicionalmente se busca generar las guías de laboratorio que permitan la obtención de datos de la combustión del motor, valiéndose de este nuevo instrumento, y del análisis que se pueda desprender de estos datos.

Se debe señalar que debido a condiciones externas al proyecto, existe un cumplimiento parcial de los objetivos específicos. El montaje y prueba de los sensores se ha planificado y simulado mediante herramientas CAD, mas su ejecución práctica ha sido postergada.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo General

Desarrollar un método para el montaje y prueba de sensores de presión en un motor ciclo diésel para la implementación de nuevas experiencias de laboratorio en el laboratorio de Termofluidos del DIMEC.

1.1.2. Objetivos específicos

- Determinar lugar de instalación del sensor de presión en la culata del motor, mediante modelación y visualización con herramientas CAD.
- Montar y probar los sensores de presión, de temperatura y el sistema adquirente de datos que permita registrar los datos durante las pruebas.
- Diseñar dos guías de laboratorio orientadas a reforzar los conocimientos concernientes a las nuevas tecnologías de emisiones y combustión en motores de combustión interna.

1.2. Motivación del proyecto

Este proyecto es motivado por la necesidad de una modernización del laboratorio de Termofluidos del Departamento de Ingeniería Mecánica (DIMEC), concretamente en el área de motores de combustión interna. Es necesario mencionar en primer lugar, que la última inversión realizada en este laboratorio, se hizo en los años 2001 al 2005, en este periodo se financió la construcción de las actuales cabinas de confinación de las salas, bajo el programa MECESUP del Ministerio de Educación. Desde entonces, las inversiones realizadas al laboratorio han estado orientadas únicamente al mantenimiento correctivo y a la compra de insumos para mantener la operación de los motores. La poca inversión realizada, ha disminuido hasta la fecha la disponibilidad de dicho laboratorio para las actividades de docencia. Si bien, el laboratorio cuenta con tres motores de mediana potencia acoplados cada uno, con frenos dinamométricos, sólo uno de ellos es utilizado para la realización de los laboratorios y desarrollo de memorias de titulación. Lo anterior, se debe a que los dos motores restantes (un motor ciclo Otto, y un motor ciclo Diesel) no están instrumentados, por lo que no pueden ser utilizados para el desarrollo de pruebas de laboratorio ni desarrollo de memorias que impliquen mediciones de parámetros específicos.

De acuerdo a los registros del laboratorio de Termofluidos, mencionados en el plan de desarrollo de laboratorios (año 2019), desde el año 2011 hasta la fecha, se han atendido un total de 4608 estudiantes, con un total de 816 horas de operación neta de trabajo del motor “Perkins”. En promedio, se atienden 576 estudiantes anualmente, en diferentes ramos tales como Motores de Combustión Interna, Maquinas Térmicas, Investigación Aplicada y Memoria de Titulación. Lo anterior, muestra el importante aporte que ha realizado el laboratorio de motores para la formación de los ingenieros mecánicos de la universidad. Adicionalmente, el laboratorio ha tenido un crecimiento de la demanda, ya que, el ramo de Máquinas Térmicas, es obligatorio para los estudiantes de Ingeniería Civil Mecánica desde que se actualizó la malla curricular para el año 2016. Es por esto, que se busca incrementar la disponibilidad y confiabilidad del laboratorio de motores para atender con altos estándares de calidad, a los estudiantes.

Capítulo 2

Antecedentes Generales y Situación Actual

2.1. Descripción Laboratorio Termofluidos

El Laboratorio de Termofluidos [1] es un extenso laboratorio de aplicación de ciencias básicas en ingeniería, como mecánica de fluidos y termodinámica, así como también en ciencias específicas como máquinas térmicas e hidráulicas. Se cuenta con bancos de ensayos dinamométricos para motores de ciclo Diesel y Otto, banco de ensayo de quemadores para combustibles líquidos y gaseosos, turbinas térmicas a vapor y gas, turbocompresores, turbinas hidráulicas, banco de ensayos de bombas centrífugas, equipos calibrados para medición de flujos en agua y aire, banco de pruebas hidrostáticas y de medición de flujo, túnel aerodinámico de viento, canal hidráulico, banco de pérdidas de carga en piping, analizadores de gases de combustión de fuentes fijas y móviles y un vertedero hidráulico.

Actualmente se tienen tres motores de combustión interna, dos de ciclo Diesel y uno ciclo Otto. No obstante, el único que se utiliza para docencia es el motor Perkins de ciclo Diesel, el cual cuenta con la instrumentación necesaria para llevar a cabo las actuales experiencias de laboratorio. El motor ciclo Otto BMW, no cuenta con sistema de adquisición de datos ni cuenta con sensores de temperatura en la admisión y escape. Del mismo modo, el motor ciclo Diesel Mercedes - Benz, tampoco cuenta con sensores ni equipo de adquisición de datos.

De acuerdo con datos del plan de desarrollo de laboratorios (año 2019), y desde el punto de vista del mantenimiento de los equipos, existe un desgaste considerable del motor que está operativo, ya que se realizan 13 experiencias de laboratorio por semestre, que suman un total de 111 horas

de operación, atendiendo en total 397 estudiantes. Por otra parte, existe una restricción de espacio para la atención de estudiantes. Esto indica que se atienden simultáneamente ocho estudiantes, que conforman dos grupos de trabajo en $20 m^2$, lo cual hace poco participativo el trabajo de laboratorio e incrementa los factores de riesgo en caso de emergencia, por tanto se hace urgente la necesidad de incrementar la disponibilidad de los otros dos motores, mediante la instrumentalización de estos.

En particular, el motor ciclo Diésel Mercedes-Benz es un equipo relativamente nuevo y confiable que no está siendo aprovechado adecuadamente. Es este motor el que será instrumentalizado en este proyecto, por lo cual se procede a describirlo con detalle.

2.2. Descripción Motor

El motor en el cual se realiza la presente memoria es un motor Mercedes-Benz OM 366 LA, el cual corresponde al motor de vehículos semipesados como los modelos Mercedes-Benz OF 1620 y Mercedes-Benz L 1620.

El motor que se tiene en el laboratorio de Termofluidos se encuentra totalmente fijo en la sala de ensayos, mediante una bancada de acero. La sala de ensayos cuenta con aislante de ruido y dos ventanales que permiten el control de la sala desde el exterior. El motor está destinado para actividades docentes y de prestación de servicios a unidades externas, actualmente se encuentra desempeñando solamente esta última función debido a la falta de instrumentalización, puesto que, en este momento sólo tiene acoplado un freno dinámico de corrientes parásitas, marca *Schenck*. Las características principales del motor se mencionan en la Tabla 2.1.

Para mayor información respecto a los componentes específicos del motor y su ensamblaje, se recomienda consultar el Manual de Operación 366, 366 A, 366 LA. Para detalles respecto a repuestos y partes, consultar Manual de Taller OM 366 A | LA, ambos de la marca Mercedes - Benz.

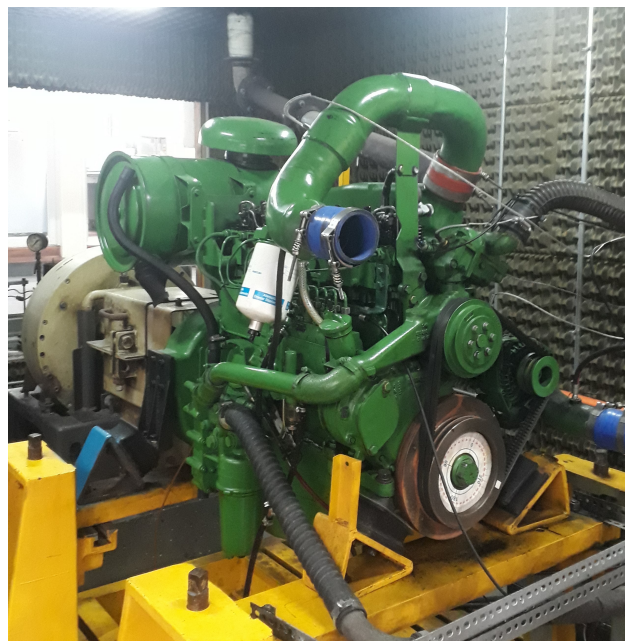


Figura 2.1: Motor OM 366 LA

Tabla 2.1: Características Motor Mercedes-Benz OM 366 LA

Característica	Valor para OM366 LA
Ciclo	Diesel cuatro tiempos
Sobrealimentación	Turbo con <i>intercooler</i>
Sistema de combustible	Inyección directa
Ubicación	Delantero longitudinal
Número de cilindros	6
Potencia [kW]	177
Régimen [r.p.m]	2600
Refrigeración	Agua
Cilindrada [c.c]	5958 cc
Orden de encendido	1-5-3-6-2-4
Par motor [Nm]	840
Relación de compresión [-]	18:1
Diámetro de cilindro [mm]	97.5
Carrera [mm]	133

Adaptado de E. Giakoumis, C. Rakopoulos, A. Dimaratos and D. Rakopoulos. (2011). “*Combustion noise radiation during the acceleration of a turbocharged diesel engine operating with bio-diesel or n-butanol diesel fuel blends*”.

A modo de descripción del motor, se entregan sus curvas de desempeño (Figura 2.2), las cuales presentan parámetros verificables con la instrumentación actual del laboratorio. Con este trabajo se pretende ampliar la cantidad de parámetros a medir en los ensayos.

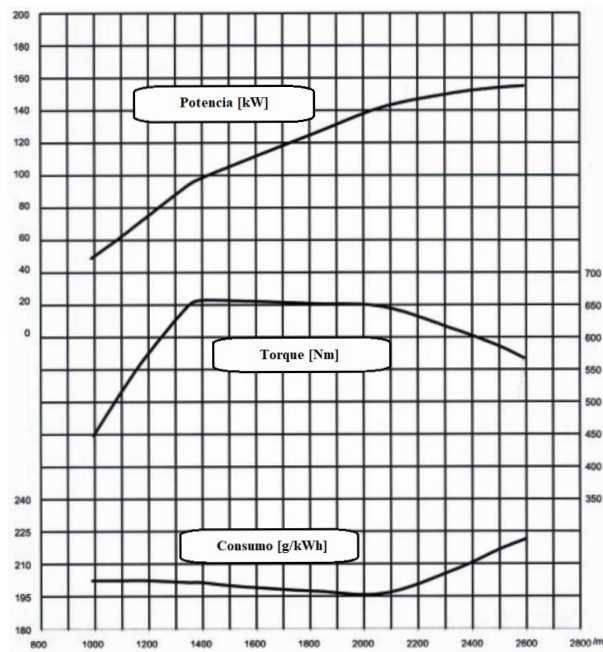


Figura 2.2: Curvas de Desempeño motor Mercedes Benz OM 366 LA
Adaptado de “Ficha Técnica Mercedes Benz L 1620 (2004)”

2.3. Descripción Sala de Ensayo Motor OM 366 LA

La sala de ensayos es aquella instalación en la cual se encuentra el motor, de manera aislada y estacionaria. Permite el funcionamiento controlado del motor y la medición de parámetros, en función del tipo de estudio que se requiera. Se basa principalmente en el régimen de giro del motor, por lo tanto es necesario que el banco de ensayos cuente con un freno dinamométrico, como elemento básico.

Actualmente, la sala de ensayos cuenta con un freno dinamométrico que genera una carga al motor, la cual es posible variar en función del ensayo a realizar. No obstante, para llevar a cabo ensayos más complejos y específicos, se requiere de una instrumentación adicional, como lo son los sensores de presión.

En cuanto a las condiciones de operación, la sala de ensayos actual cuenta con los elementos básicos de un banco de ensayos, los cuales son descritos a continuación y esquematizados en la Figura 2.3:

1. Sala de ensayo: Es una sala cerrada y aislada del exterior, cuenta con aislante de ruido, debido al alto nivel de contaminación acústica que produce el motor. Es el lugar en el cual se ubica el motor y toda la instrumentación necesaria para realizar los ensayos. Los elementos que no se encuentran dentro, son los elementos de control y de recopilación de datos.
2. Sala de control: Lugar destinado al control de las pruebas sobre el motor. Actualmente sólo cuenta con métodos de inspección visual a los datos que entrega el freno dinamométrico.

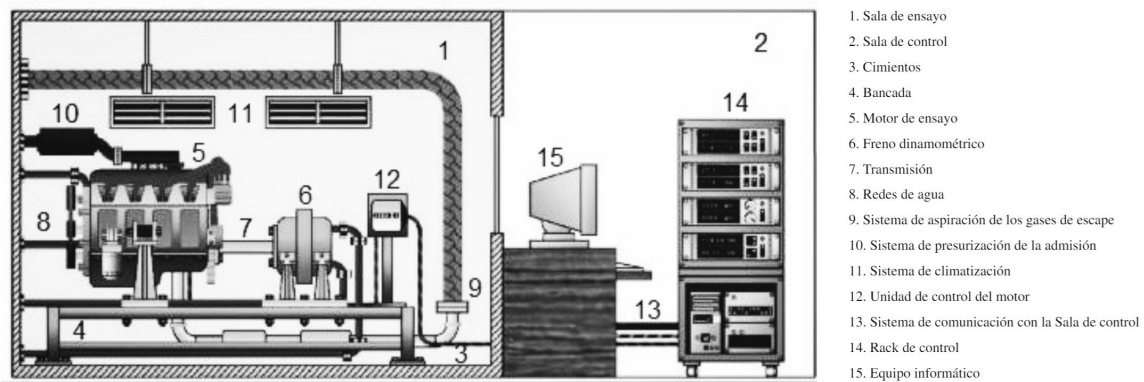


Figura 2.3: Elementos de un Banco de Ensayos

Adaptado de González D. (2015) *Motores Térmicos y sus sistemas auxiliares*

3. Cimientos: Superficie sobre la cual se instala el banco de ensayos. Absorbe las vibraciones y esfuerzos que se generan cuando el motor está en funcionamiento.
4. Bancada: Estructura fijada a los cimientos que soporta el motor, el freno, los elementos auxiliares del motor y en general toda la instrumentación que se requiere para llevar a cabo los ensayos.
5. Motor de ensayo: Motor Mercedes-Benz OM366 LA, instalado sobre la bancada, acoplado a un freno dinamométrico.
6. Freno dinamométrico: Elemento auxiliar de la marca Schenck, encargado de absorber la potencia del motor y a su vez someterlo a carga. Incorpora un dispositivo que mide el par motor.
7. Transmisión: Es el sistema de acople entre el motor y el freno dinamométrico.
8. Redes de agua: Se cuenta con un sistema de refrigeración del motor, que funciona en base a agua. El agua es descargada al desagüe de la sala.
9. Sistema de aspiración de los gases de escape: Actualmente se cuenta con una campana, que permite la evacuación de los gases generados por la combustión.
10. Sistema de presurización de la admisión: Actualmente, la bancada trabaja con el motor a presión atmosférica.
11. Sistema de climatización: Actualmente, la bancada trabaja con el motor a temperatura ambiente.
12. Unidad de control del motor: Actualmente el sistema de control se reduce al monitoreo de las revoluciones del motor.
13. Sistema de comunicación con la Sala de control: Actualmente las salas se comunican mediante un panel de vidrio, para las inspecciones visuales al motor y a los datos del freno dinamométrico.
14. *Rack* de control: Actualmente sólo se cuenta con un mesón en la zona de control, destinado a situar los distintos equipos.

15. Equipo informático: Actualmente no existe un computador dedicado para esta sala. La recopilación de datos se realiza mediante computador personal (PC), de la persona que realiza el ensayo.

2.4. Parámetros y métodos actuales de obtención

2.4.1. Torque

El torque efectivo [2] que produce el motor en función del régimen de giro en que se encuentra es uno de los parámetros más importantes en su estudio, puesto que con él se genera la curva de potencia efectiva. El torque, en general, se define como el producto de una fuerza F que actúa perpendicularmente sobre un brazo que puede girar alrededor de un eje de giro, el cual se encuentra a una distancia d .

$$T = F \cdot d \quad [\text{N}\cdot\text{m}] \quad (2.1)$$

Donde:

- T es el torque, en $[\text{N}\cdot\text{m}]$.
- F es la fuerza, en $[\text{N}]$.
- d es la distancia al eje de giro en $[\text{m}]$.

En el caso de los motores, el torque es el resultado de multiplicar la fuerza media que sufre la superficie del pistón debida a la presión que realizan los gases de combustión dentro del cilindro, transmitida a la manivela (distancia d) desde su Centro al Centro del eje de giro. Se habla de fuerza media sobre la cabeza del pistón porque la presión cambia dependiendo de la posición del pistón a lo largo de su carrera dentro del cilindro. Por otra parte, siguiendo la Figura 2.4 se tiene que, debido al cambio de posición de la biela con respecto al eje del cilindro, la descomposición de la fuerza perpendicular a la manivela varía su magnitud, la cual va de cero en el PMS, a un máximo en algún punto intermedio de la carrera, a cero otra vez en el PMI. En la Figura 2.4, F es la fuerza sobre la cabeza del pistón que se descompone de la siguiente manera dada su posición arbitraria a mitad de la carrera de expansión o compresión:

- F_N , Fuerza perpendicular a la superficie del cilindro y causante de las pérdidas de potencia por roce del émbolo contra las paredes del cilindro, originando su desgaste.
- F_b , Descomposición de la fuerza F a lo largo de la biela, la cual se transmite a lo largo de la misma y actuando sobre la manivela. La fuerza F_b se descompone en otras dos:
 - F_c , Fuerza centrípeta en la dirección del radio de la manivela.
 - F_t , Fuerza tangencial al movimiento circular de la manivela y por tanto perpendicular a su radio de giro (d) que genera el torque del motor (T).

Se desprende de la descomposición de fuerzas que, el torque que se genera en el motor varía en el tiempo según la posición en que se encuentre el mecanismo biela-manivela y de la fuerza que genere la presión de los gases dentro del cilindro. El torque del motor se calcula con el valor de la fuerza tangencial aplicada perpendicularmente al radio de la manivela a un determinado régimen de giro y carga del motor.

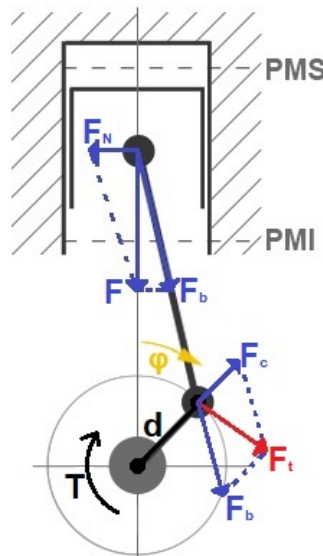


Figura 2.4: Descomposición de la fuerza ejercida en el pistón por los gases de combustión
Adaptado de Motor en Marcha (2014) *Mecánica Automotriz: Cinemática del Pistón*

La carga en un motor es el nivel de exigencia a las prestaciones de éste en un determinado momento. Esto puede relacionarse indirectamente con la posición del acelerador, esto es, si no se acciona el motor no tiene carga, si se posiciona en la mitad de su recorrido entonces el motor está a media

Carga y si se lleva al final de su recorrido el motor está a plena carga.

Las curvas características de torque, potencia y consumo específico que ofrecen los fabricantes (Figura 2.2) son hechas a plena carga. La curva de torque a plena carga ofrecida por el fabricante en las características técnicas del motor, es generada representando el torque para todo el rango de revoluciones a las que puede operar el motor, de esto se obtiene información relevante como el torque máximo del motor y a qué régimen de giro lo entrega.

La forma más utilizada para medir el par motor o torque es a través de un elemento que absorbe y a su vez disipa la potencia entregada por el motor, para ello, normalmente se utilizan frenos dinamométricos, el cual para cada régimen de giro del motor y un nivel determinado de carga, frena el embalamiento del motor de forma que el torque suministrado por el motor es igual al torque de frenado que aplica el freno, por lo tanto, al conocer el torque aplicado por el freno, se puede conocer el torque que aplica el motor.

2.4.2. Potencia

La potencia [2] corresponde al trabajo que es capaz de realizar el motor en un determinado tiempo. Al tratarse de una máquina rotativa, se calcula a partir del torque del motor y de su régimen de giro, tal como se señala en la relación dada por la ecuación 2.2. La potencia que se obtiene a partir del freno dinamométrico en el banco de pruebas, se conoce como potencia efectiva del motor, que corresponde a la potencia disponible en el cigüeñal. La curva de potencia efectiva que entrega el fabricante en las características técnicas del motor (Figura 2.2) entrega información sobre la potencia máxima que es capaz de entregar el motor y a qué régimen de giro sucede.

$$P = T \bullet \omega \quad [kW] \quad (2.2)$$

Donde:

- T , es el torque en $[N * m]$
- ω , es la frecuencia angular en $[rad/s]$

Un dato que resulta de gran utilidad a la hora de comparar motores es la potencia específica, que puede relacionar la potencia con el peso del motor, su cilindrada o con el área de sus pistones. La tendencia de las investigaciones es a buscar motores con mayor potencia específica, esto es, motores con una potencia elevada y un menor tamaño general.

2.4.3. Consumo Específico de Combustible

El consumo específico de combustible [2], denotado como sfc por sus siglas en inglés, corresponde a la cantidad de combustible que gasta el motor en determinadas condiciones de operación por unidad de potencia entregada y por unidad de tiempo de funcionamiento, tal como lo indica la ecuación 2.3. Para el cálculo del consumo específico en un banco de pruebas, se utiliza la potencia descrita en el apartado anterior y para el cálculo del tiempo de consumo de combustible, se emplean dos métodos: el método volumétrico y el método gravimétrico.

$$sfc = \frac{\dot{m}_f}{P} \quad \left[\frac{g/s}{kW} \right] \quad (2.3)$$

- Método gravimétrico: Este método es el más preciso, pues se utiliza directamente la masa como variable a medir, por lo tanto su uso está más extendido para ensayos de certificación e investigación.

Se basa en la medición del tiempo empleado en consumir una masa conocida de combustible, cuya precisión depende de la resolución del instrumento utilizado. En la actualidad esta medición puede realizarse en forma instantánea, mediante medidores que operan en forma continua, indicando el caudal másico instantáneo, son los denominados medidores gravimétricos dinámicos.

- Método volumétrico: Es el método que se utiliza actualmente en el laboratorio. Se basa en la medición del tiempo en que se consume un volumen determinado de combustible. Para implementarlo se requiere de una probeta graduada y de un sistema de cronómetro. Puede ser llevado a cabo tanto mecánica como electrónicamente, sin embargo introduce una incertidumbre en la medición del consumo de combustible, puesto que para determinar la masa consumida se calcula utilizando la densidad del combustible, el problema radica en que la densidad es una función de la temperatura.

2.4.4. Presión Media Efectiva

Al tener determinada la potencia efectiva del motor se puede proceder a calcular la presión media efectiva [2] por cada ciclo que se realiza en cada cilindro del motor. Este valor mide el nivel de aprovechamiento de la energía de los gases de combustión, es capaz de indicar que tan eficiente es el motor en el uso de su volumen de desplazamiento disponible, puesto que se calcula mediante la razón entre la potencia efectiva y el volumen total de la cámara de combustión que considera el volumen de todos los cilindros, como indica la ecuación 2.4.

$$pme = \frac{60 \cdot 10^6 \cdot P}{V_T \cdot n \cdot i} \quad [kPa] \quad (2.4)$$

Donde:

- P , es la potencia en [kW]
- V_T , es la cilindrada total del motor en [cm^3]
- n , es el régimen de giro del motor en [rpm]
- i , es el número de ciclos por cada revolución, siendo $i = 0,5$ para motores de 4 tiempos e $i = 1$ para motores de 2 tiempos.

2.4.5. Presión instantánea en la cámara de combustión

Para un estudio más preciso de la operación de un motor, no basta con la presión media efectiva. Es necesario contar con información acerca de la presión real e instantánea que alcanza el cilindro en cada posición del pistón a lo largo de todo el ciclo de trabajo.

La importancia de este parámetro se hace más evidente al analizar investigaciones en el área de motores. Desde publicaciones básicas para el estudio de motores como el trabajo de John B. Heywood [3] hasta trabajos más recientes como el de Buomsik Shin, Insoo Jung, Soonchan Pyo y Yohan Chi [4], que trata la optimización del control de los parámetros de combustión, el uso de la presión en la cámara de combustión es transversal a todos ellos.

Actualmente el laboratorio de motores no cuenta con esta tecnología en el motor Mercedes-Benz OM366 LA. Por lo tanto es necesario implementarla, junto con los instrumentos auxiliares y equipos de medición, necesarios para su utilización. La posibilidad de estudiar la presión al interior de la cámara de combustión, dotará al laboratorio de las herramientas necesarias para desarrollar investigaciones basadas en herramientas modernas, junto con entregar actividades docentes de mayor calidad.

A continuación se evalúa el tipo de sensor adecuado para el laboratorio, junto con los requerimientos para su instalación.

2.5. Sensores de presión para motor Diesel OM366 LA

De acuerdo con Béla G. Lipták [8], un sensor de presión es un transductor, que recibe información de la variable física presión y la convierte en otro tipo de señal, para ser procesada por un instrumento de medición. El tipo de señal que emite el sensor depende del tipo específico de sensor, siendo las señales más comunes voltaje y corriente eléctrica.

Existe una gran variedad de sensores, los cuales difieren en el rango de presión en que trabajan, en el principio de diseño en que están basados o en la aplicación misma del sensor. En la Tabla 2.2 se describen los sensores más utilizados en la industria.

Tabla 2.2: Tipos de Sensores de Presión

Tipo de Sensor	Rango [PSIG]	Temperatura [°C]	Precisión [%]	Aplicaciones
Bourdon	15 - 100,000	<316	5	Utilizados en medición de presiones medias a altas, tomada como referencia la presión atmosférica.
Fuelle	0 - 200	<93	2	Utilizados en medición de presiones bajas a medias y también para medir vacío.
Diafragma	0 - 200	-184 a 538	1	Utilizados en medición de presiones bajas a medias, tanto absolutas como manométricas.
Strain Gauge	0 - 200,000	-54 a 121	0.25	Su uso está muy extendido en el rubro de la construcción, por las altas presiones a las que puede trabajar. No es recomendable en motores por su sensibilidad a las vibraciones y altas temperaturas.
Capacitivos	0 - 10,000	32 a 74	0.01	Su uso está muy extendido en sistemas de control, ya sea control de nivel, control de humedad, de posición e inclusive en dispositivos táctiles.
Piezoeléctricos	0.1 - 10,000	-268 a 315	1	Su uso está muy extendido en medición de sistemas altamente dinámicos, principalmente sistemas de motores.

Adaptado de Béla G. Lipták.(2003). Pressure Measurement. En *Process Measurement and Analysis*(709-765).

Para seleccionar el tipo de sensor a utilizar en el motor Mercedes-Benz OM366 LA, es necesario examinar la naturaleza de la aplicación y en consecuencia, elegir un sensor diseñado para estos propósitos. En base a la Tabla 2.2, se determina que los sensores piezoeléctricos son los más adecuados para aplicaciones dinámicas, como es el caso de un motor de combustión interna. A continuación se procede a describir el funcionamiento de estos sensores y la selección de un proveedor para su adquisición.

Sensor Piezoeléctrico

Un sensor piezoeléctrico funciona en base al uso de cristales. Cuando los cristales están expuestos a presiones, son elásticamente deformados, el hecho de ser deformados, como se muestra en la Figura (2.5), genera una señal eléctrica, que es proporcional a la cantidad de fuerza y por lo tanto a la deformación que sufre el cristal. Estos sensores no son aptos para medir presiones estáticas, sin embargo son capaces de cuantificar fenómenos dinámicos con gran precisión, como lo es el caso de la condición dinámica de los motores, impactos, vibraciones o presiones asociadas a explosiones.

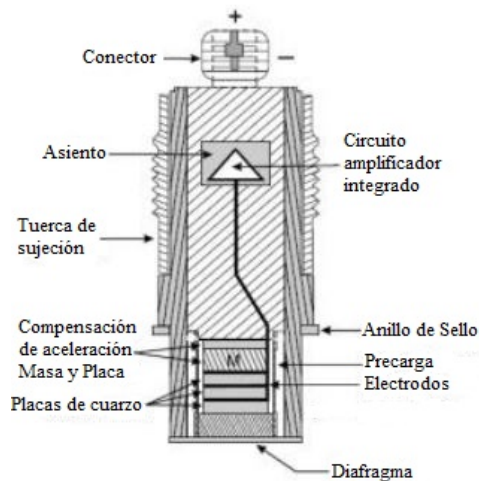


Figura 2.5: Sensor Piezoeléctrico

Fuente: A. Bianchini, A. Guzzini, M.

Pellegrini, C. Sacconi *Natural Gas distribution system: overview of leak detection systems*

Dada la naturaleza dinámica de este sensor, la salida de su señal es usualmente expresada en unidades de presión relativa (PSIR por ejemplo), donde la medición se referencia a las condiciones iniciales que existen antes del evento transiente que se mide. Normalmente se utiliza cristales de cuarzo o de turmalina como material piezoeléctrico, el cuarzo es de bajo costo, estable e insensible a los cambios de temperatura, la turmalina por su parte provee de una respuesta de microsegundos lo cual la hace muy adecuada para transductores usados para medir explosiones.

La ventaja principal de los sensores piezoeléctricos de presión incluyen su reducido tamaño, construcción robusta, alta velocidad de respuesta y una señal auto generada. Estos sensores están limitados al uso en mediciones

dinámicas, son sensibles a las variaciones de temperatura y requieren de un cableado especial y amplificadores de la señal de salida.

- Aplicaciones: Su uso está muy extendido en medición de sistemas altamente dinámicos, principalmente sistemas de motores.
- Rango de trabajo: 0.1 a 10,000 PSIG.
- Temperatura de diseño: Desde criogenia hasta 315 °C.
- Precisión: 1 % de la escala completa de medición.

En base a los criterios de la guía *Measuring process pressure-A users guide* [9], se tiene claridad respecto a los requerimientos para el sensor que se necesita. Esto se basa en las condiciones particulares del motor Mercedes-Benz OM366 LA:

- Se pretende medir la presión dentro de la cámara de combustión.
- Los valores mínimos y máximos de presión alcanzada se fijan entre 1 [bar], que corresponde al valor del motor sin funcionar y aproximadamente un *peak* cercano a los 120 bar a un 80 % de carga, valores que se extraen de ensayos similares en este motor [10].
- El factor de seguridad se puede fijar en un valor 2 tomando en cuenta consideraciones clásicas de diseño, considerando que se conoce el rango de trabajo del motor. Por lo tanto se requiere un sensor que trabaje en un rango de hasta 240 bar.
- El laboratorio está emplazado en cercanía del mar, por lo tanto se debe considerar la humedad de la zona. Por otro lado, Chile es un país sísmico, lo cual debe ser considerado a la hora de seleccionar el sensor.
- Se busca un sensor lo más pequeño posible puesto que debe ser instalado dentro de la cámara de combustión, idealmente debe interferir lo menos posible con el proceso de combustión desarrollado por el motor.
- Una buena precisión es altamente deseable pues se pretende analizar en detalle el comportamiento de la combustión.

Con estos antecedentes se busca un proveedor experto en la materia, con soluciones industriales para la medición de presión en motores. La medición de presión dentro de la cámara de combustión se realiza desde hace varios años en la comunidad científica internacional, por lo tanto existe una amplia cantidad de proveedores de instrumentos de medición. En el caso particular de este trabajo, se optó por KISTLER, empresa Suiza especializada en sensores piezoeléctricos, que como se ha mencionado, son los más adecuados para aplicaciones dinámicas como lo son los motores.

Con asesoría experta de KISTLER, se determina que el sensor más adecuado es el modelo 6052C, que es descrito en detalle en el Capítulo 4. Este sensor reúne las características necesarias (catálogo comercial documentado en el Anexo A) según los requerimientos mencionados anteriormente, y son descritos a continuación:

- Mide por sobre el rango requerido, llegando hasta 250 [bar], con un factor de sobrecarga de hasta 300 [bar].
- Cuenta con camisa de protección, diseñada para estar en contacto con refrigerante de motor.
- La señal de salida cuenta con un amplificador, cuya señal es directamente procesable por el computador mediante los sistemas KISTLER, además puede ser incorporada junto con otras señales, a un equipo de adquisición de datos.
- El montaje es aplicable en el laboratorio, pues todos los elementos se pueden adaptar al espacio físico actual.
- La precisión y tiempo de respuesta se encuentran dentro de las más altas en tecnología de sensores y son suficientes para los requerimientos actuales.
- Los materiales del sensor no revisten mayor contaminación, no contiene elementos tóxicos ni corrosivos.
- Dado que el sensor se encuentra dentro de una camisa de protección, los peligros de la zona geográfica se eliminan y puede operar con total seguridad.

Dada la instrumentación actual del laboratorio, y los requerimientos técnicos para el análisis de combustión, del motor Mercedes-Benz OM366 LA, se determina la necesidad de adquirir e instalar un sensor de presión en la cámara de combustión de uno de los cilindros. Se proyecta además la instalación de los instrumentos complementarios a este sensor.

En concreto, se pretende instalar en el motor: un sensor de presión en uno de los cilindros, un *Encoder*, sensores de temperatura, un sensor de presión en el escape y un equipo de adquisición de datos. El *Encoder* permite relacionar la presión obtenida por los sensores, con el ángulo del cigüeñal. Por otro lado el equipo de adquisición de datos, permite recopilar la información proveniente de todos los instrumentos, de manera tal de poder analizar todas las variables en forma paralela durante un ensayo del motor.

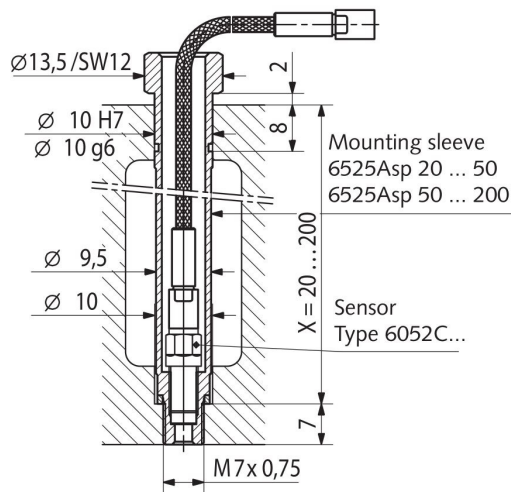


Figura 2.6: Sensor 6052C

Adaptada de Catálogo KISTLER -
High-Temperature Pressure Sensor Type
 6052C

En la Figura 2.6 se muestra la instalación del sensor 6052C, mediante una camisa protectora. Es necesario determinar la geometría del lugar de instalación del sensor, puesto que se debe dimensionar la camisa del sensor, para proceder con su montaje.

En los siguientes capítulos, se desarrolla el proceso de determinación del lugar de instalación óptimo. Posteriormente se desarrolla la metodología de montaje de éste y los demás instrumentos necesarios para la medición de presión en cámara. Finalmente se procede a desarrollar las guías de laboratorio, que derivan del uso de estos equipos.

Capítulo 3

Levantamiento de planos para Culata de Motor OM366 LA

3.1. Mediciones y modelo general

Para la instalación del sensor de presión lo primero que se debe considerar es el lugar de instalación, esto es de vital importancia pues de su correcta elección depende el desempeño del sensor y de que éste esté efectivamente midiendo la variable que se pretende analizar. Si observamos un modelo de motor de la marca mercedes, de la serie OM 138 (Figura 3.1), el cual es muy similar al modelo OM 366 LA en cuanto a la disposición de sus válvulas e inyector, se percibe de inmediato que para tener acceso a la cámara de combustión existen dos posibilidades: intervenir la culata del motor o el motor mismo. Puesto que esta última opción es peligrosa, ya que se intervendría el cilindro mismo, sin la garantía de estar sensando el recorrido completo del pistón en caso de ubicar el sensor en una posición inadecuada, la opción lógica es una intervención de la culata del motor.

Si se inserta un sensor en la culata de modo tal que tenga acceso a la cámara de combustión, el sensor tendrá la capacidad de medir la presión en todo el rango de recorrido del pistón, inclusive en el caso extremo de que éste llegase a topar la culata, lo cuál no ocurre pues por diseño existe un volumen muerto en la cámara de combustión. Debido a que no se encuentran disponibles en forma de libre acceso planos de fabricación de la culata, es necesario realizar un levantamiento de la culata y realizar un modelo en el cual se pueda proyectar la instalación del sensor.

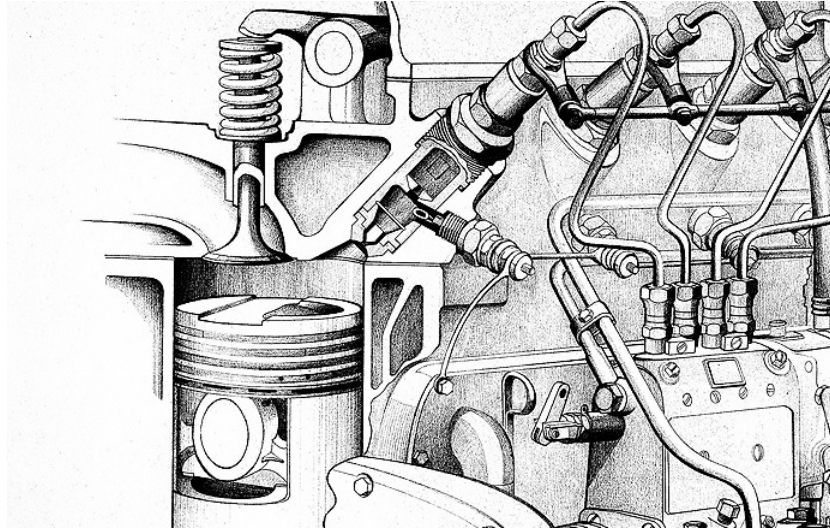


Figura 3.1: Motor OM 138 del modelo Mercedes-Benz 260D

Fuente: Guido Kruschke. (2016). *Mercedes-Benz 260 D: Urahn aller Diesel-Pkw*. Produktion Magazin

3.1.1. Medición Culata de motor OM366 LA

Para tener acceso a la culata se deben desmontar ciertos elementos del motor, primeramente se debe remover la tapa de válvulas (Figura 3.2a), desconectar el *manifold* de admisión y el de escape, retirar árbol de levas y válvulas, por lo tanto se deja inoperativo el motor por completo. Este proceso no se puede realizar en esta etapa de estudio, ya que actualmente se utiliza el motor para prestación de servicios a empresas externas. Por lo tanto se dispone de una culata adquirida como repuesto para ser utilizada en todo el proceso previo a la instalación del sensor de presión (Figura 3.2b).



(a) Motor OM366 LA, sin tapa de válvulas



(b) Culata de motor y válvulas

Figura 3.2: Motor OM366 LA

Fuente Figura b: Expedition Imports. (2020). *Cylinder Head OM366 LA*.

En el Anexo B, se encuentran las vistas de la culata a utilizar para las mediciones y ensayos de la instalación del sensor, se refiere de aquí en adelante a la vista frontal a aquella que está en la parte delantera de las Figuras 3.2a y 3.2b, el resto de vistas se muestran y nombran según el principio del primer diedro de la norma europea, equivalente a la norma ISO 128-30: *Basic conventions for views* [11].

En la Figura 3.2a se aprecia la vista frontal del motor, la cual ofrece información acerca de la disposición de las válvulas y de la geometría de la zona frontal de la culata. Sin embargo, para una comprensión acabada del funcionamiento del motor es necesario precisar los componentes de la vista posterior. Como se puede apreciar en la Figura 3.3 que muestra el motor según el manual del mismo, se tiene en la parte posterior del motor los *manifold* de admisión y de escape. Esta vista de la culata también será utilizada como referencia para mostrar el modelo 3D generado con las herramientas CAD.

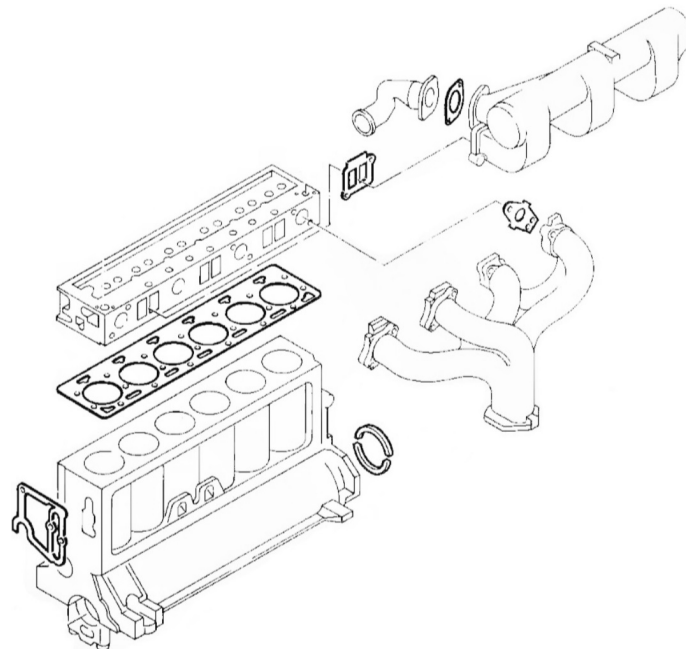


Figura 3.3: Vista posterior de motor, culata, *manifold* de admisión y escape.

Adaptada de Manual Mercedes Benz. *OM366 A I LA*

Se puede observar en la Figura 3.3, la existencia de un *manifold* de cuatro conductos y otro de tres. El manifold de admisión corresponde a aquel que posee tres conductos y el de escape cuenta con cuatro. La forma de las entradas a la culata son características para cada uno, así como el tamaño de los asientos de válvula, esta información ha de ser ingresada correctamente al modelo CAD.

El proceso de medición de la culata se llevó a cabo en el Taller Metalmecánica de la universidad, utilizando las herramientas e instrumentos de medición disponibles para los estudiantes. Todo proceso se realizó bajo las normas de seguridad del taller (Anexo C, Tabla 7.1) y bajo supervisión del apoyo académico. El registro de las medidas se hizo en forma manual, utilizando un dibujo preliminar de la culata como apoyo, el cual consistió en fotografías impresas en estilo monocromático para realzar los bordes y contrastes de la imagen.

La culata del motor presenta cierta simetría, sin embargo al observar la vista frontal y la inferior, se puede notar que hay diferencias sutiles y por lo tanto se debe hacer la medición completa de la culata. Dada la complejidad evidente de la pieza, es necesario observar que para una medición detallada y precisa de la geometría se debe recurrir a asesoría profesional y al uso de medios electrónicos para la medición de la geometría interna y para la obtención de un modelo realista de la culata.

Para los fines de la instalación del sensor, es suficiente con un modelo aproximado, que contenga las principales medidas de la culata, que distinga claramente la ubicación de los asientos de válvula, lugar de la cámara de combustión y ubicación del inyector de combustible. El objetivo del modelo realizado en esta memoria es la búsqueda del lugar adecuado para la factibilidad de una perforación en la culata, sin comprometer el funcionamiento del motor.

De acuerdo con el análisis preliminar de la disposición de los elementos auxiliares del motor, se tiene que el cilindro número uno, que se ubica más cercano a la entrada en la sala de ensayo (lado derecho en Figura 3.2a y Figura 3.2b), supone una buena alternativa para incorporarle el sensor debido a esta cercanía con la entrada de la sala, sin embargo, el acceso a este cilindro se ve obstaculizado debido a la bomba de agua del motor. De acuerdo con el ingeniero mecánico a cargo de los ensayos de este motor, existe una mejor posibilidad de una intervención en el motor en el cilindro seis, el cual se encuentra más alejado de la entrada, sin embargo la dificultad de acceder a él por distancia se compensa con la ausencia de sistemas auxiliares que lo rodean.

Los instrumentos utilizados para la medición de las dimensiones generales de la culata de motor, son los descritos en la Tabla 7.2 (Anexo C). Las mediciones son registradas en forma manual en un dibujo preliminar construido en base a las fotografías de la culata, mediciones en forma manual que se encuentran registradas en el Anexo D para su consulta.

Las mediciones son traspasadas a formato digital mediante el apoyo en el *software* Inventor Autodesk, de modo de empezar a construir un modelo que permita la proyección de la instalación del sensor, así como también la proyección de planos para futuros proyectos orientados a la mejora continua del desempeño del laboratorio. En la Figura 3.4a se muestra la culata de motor en la misma perspectiva que la Figura 3.3, se presenta en base a las mediciones registradas la vista superior de la culata, aquella en dónde se instala el árbol de levas, se muestra a su vez la vista posterior de la culata (en dónde se instalan los *manifold* de admisión y de escape). Al voltear la culata de la Figura 3.4a por su eje dado por la dimensión mayor de la pieza, se obtiene la vista de la Figura 3.4b, en dónde se aprecia la vista inferior de la culata, esto es, la cara de la culata que está en contacto con los cilindros.

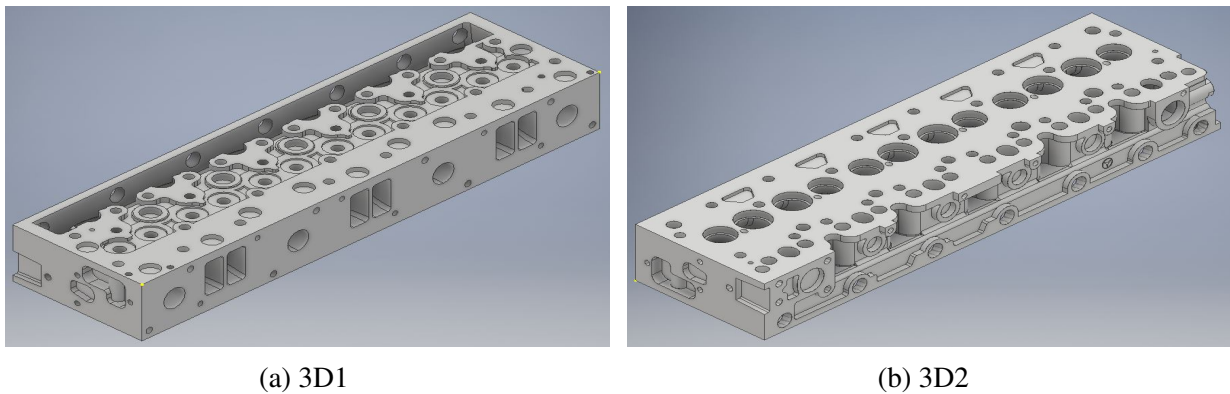


Figura 3.4: Modelo 3D culata de motor OM366 LA

El modelo 3D construido con las mediciones generales de la culata de motor permite una visualización de las dimensiones y ubicar en el espacio las cavidades de la culata. Esto permite caracterizar en modo general la culata y su funcionamiento, se pueden distinguir claramente el número de cilindros, la ubicación de las válvulas, la zona donde se ubica el inyector de combustible y la admisión y escape de los gases. Es posible distinguir las zonas por donde se conduce el refrigerante y el lubricante, así como también el lugar donde se ensambla el árbol de levas y la ubicación de los pernos de anclaje de la culata al motor. No obstante, estas mediciones no permiten un análisis de las zonas interiores de la culata.

Es fundamental tener una visualización de las secciones interiores de la culata, debido a que para instalar el sensor se debe perforar y por tanto intervenir esta zona interna. No es posible realizar un mecanizado en este sentido si no se tiene claridad de los conductos interiores, por donde circulan

los gases así como también el lubricante y el refrigerante, es por esto que se procede al análisis de la geometría interna de la culata.

3.2. Medición de la geometría interna

En dibujo mecánico, una herramienta fundamental para el análisis de piezas mecánicas son las vistas en corte, pues permiten determinar y detallar la geometría interna de dichas piezas. Para generar la vista en corte de una pieza ya existente es necesario disponer de las medidas de la geometría interna, que es precisamente lo que se busca en esta sección.

Para medir la geometría interna de la culata y poder en consecuencia generar las vistas en corte necesarias, es necesario uno o varios cortes transversales completos en la pieza e ingresar la geometría observada al modelo 3D construido, mediante la medición según el procedimiento descrito en la sección anterior.

En la Figura 3.5 se señala el plano en el cuál se realizan los cortes, todo corte se efectúa paralelo a este plano. Por lo tanto se requiere cortar un espesor de 91,84 [mm] a través de un ancho de 195,30 [mm] de culata. Además la culata tiene un largo de 691,9 [mm], dimensión que debe ser considerada para el montaje al momento de realizar el corte.

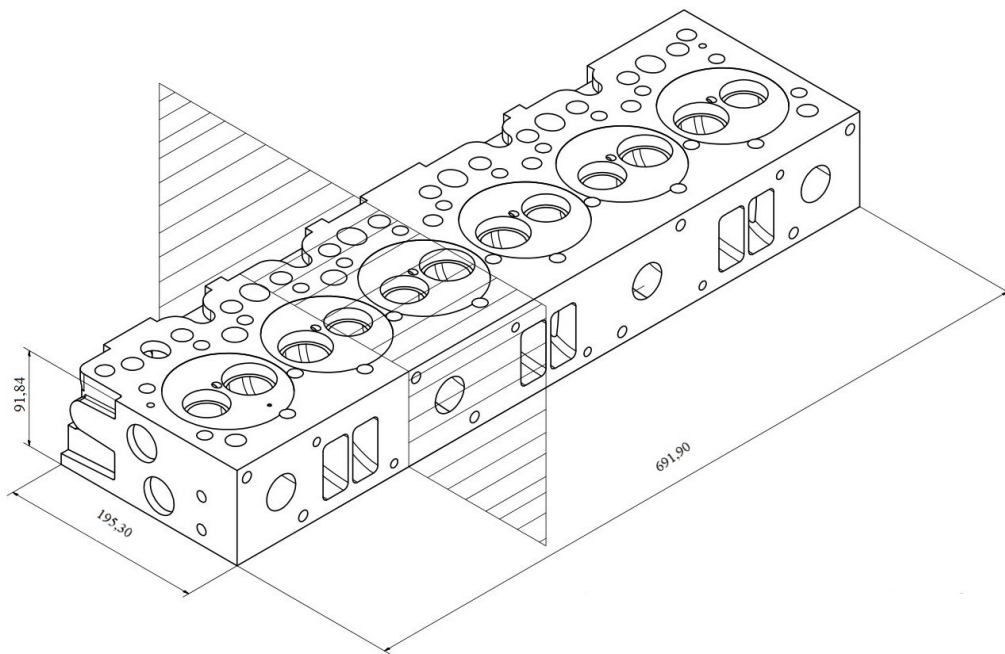


Figura 3.5: Dimensiones Generales Culata y dirección deseada de los cortes

3.2.1. Selección Método de Corte

Para realizar un corte en la culata del motor y como se ha mencionado anteriormente, se dispone de una culata para estos propósitos, de modo que no se desmonte el motor del laboratorio. Sin embargo, para llevar a cabo el corte es necesario seleccionar el método más adecuado para este caso específico.

Actualmente, existen múltiples soluciones industriales para realizar cortes de piezas. En la Tabla 3.1 se describen una serie de procesos, mencionando sus ventajas y desventajas, respecto del proceso específico de cortar una culata para motor OM366 LA.

Tabla 3.1: Procesos de Corte

Proceso de Corte	Ventajas	Desventajas
Waterjet [12] [13]	• Mínimo espesor de (1 [mm])	• Elevado Costo de adquisición
	• No afecta térmicamente la pieza	• Servicio debe ser externo
	• Cortes hasta 200 [mm] de largo	• Dimensiones de la pieza en límite técnico del proceso
	• Cortes en espesores de hasta 100 [mm]	
Hilo [14] [15]	• No deja rebabas	• Servicio debe ser externo
	• Buen acabado superficial	• Elevado desgaste de la herramienta
Oxicorte [16] [17]	• Alta velocidad de corte	• Afecta térmicamente la pieza
	• Equipo portátil	• Deformaciones en la pieza
	• Trabaja con espesores elevados	• Presencia de escoria en el corte
Plasma [18] [19]	• Alta velocidad de corte	• Pieza afectada térmicamente
	• Buen acabado superficial	• Trabaja con bajos espesores, hasta 75 [mm]
Láser [19] [20]	• Alta precisión	• Trabaja con bajos espesores, hasta 25 [mm]
	• Buen acabado superficial	
	• Alta velocidad de corte	
Disco [21]	• Versatilidad de montaje	• Espesor de corte mayor a 1 [mm]
	• Buen acabado superficial	
	• Aplicación en amplia gama de materiales	
	• Zona de corte poco afectada térmicamente	

Para seleccionar el método de corte adecuado, se tuvo en cuenta el espesor a cortar, la necesidad de generar un corte con buen acabado superficial y principalmente el acceso a utilizar el método. Se descartan aquellos métodos que no permiten cortar un espesor de 100 [mm], y aquellos que generan un corte con baja calidad superficial. Los métodos tentativos son el corte por agua (*Waterjet*) y la utilización de un disco de corte.

Para evaluar la factibilidad técnica y económica de llevar a cabo un corte por agua, se contacta con una empresa regional que utiliza entre otras, esta tecnología para el mecanizado de piezas mecánicas, esta empresa es M5 Soluciones Industriales y Mecánicas Ltda.

Se informa por parte de la empresa, que el corte en teoría es viable, puesto que la máquina puede realizar un corte de hasta 200 [mm] de largo, en piezas de hasta 100 [mm] de espesor. No obstante se declara que el acabado del corte es incierto pues no se tienen precedentes de un corte en este tipo de piezas. Con estas dimensiones, el corte tiene un valor de \$100.000 + IVA.

Dada la incertidumbre del acabado superficial y del precio unitario del corte, la mejor opción es la utilización de disco de corte. El corte por disco es una alternativa altamente recomendable, ya que produce cortes de un espesor conocido, dado por el espesor del disco, tiene un buen acabado superficial en el caso de discos dentados y se puede utilizar en un fresa, por lo que elimina el inconveniente de trasladar la culata y adicionalmente provee de los medios para realizar más de un corte con la misma inversión. Es por esto que se decide optar por esta tecnología.

3.2.2. Corte de culata con disco dentado

Se opta por la utilización de un disco dentado y no uno abrasivo, en vista de la calidad superficial que ofrece éste en el corte, sin embargo, para la selección del disco adecuado se deben considerar una serie de elementos como el material del que debe estar hecho el disco, el número de dientes que debe tener, el diámetro, etc. La respuesta a estas preguntas se encuentra dada por las condiciones reales a las que será sometido el disco y por lo tanto es necesario analizar el material del que está hecho la culata, la máquina-herramienta destinada a realizar el trabajo mediante el uso del disco y los equipos auxiliares que intervendrán en el corte.

Máquina-herramienta

El corte es realizado en una fresadora *Kearney & Trecker: Milwaukee 307 S-12* [22], por lo tanto el cálculo de las dimensiones del disco se realiza en base a las capacidades de esta máquina.

Las fresadora *Milwaukee 307 S-12* utilizada en el taller metalmecánica para llevar a cabo el trabajo de corte de la culata, cuya imagen referencial se encuentra en la Figura 3.6 permite el trabajo tanto horizontal como vertical, mediante su cabezal universal orientable y la posibilidad de montaje de un árbol con contra-soporte, método indicado para la utilización de un disco de corte. Las dimensiones principales de la fresadora están adjuntas en el Anexo F de esta memoria, para su consulta y verificación de trabajos posteriores.

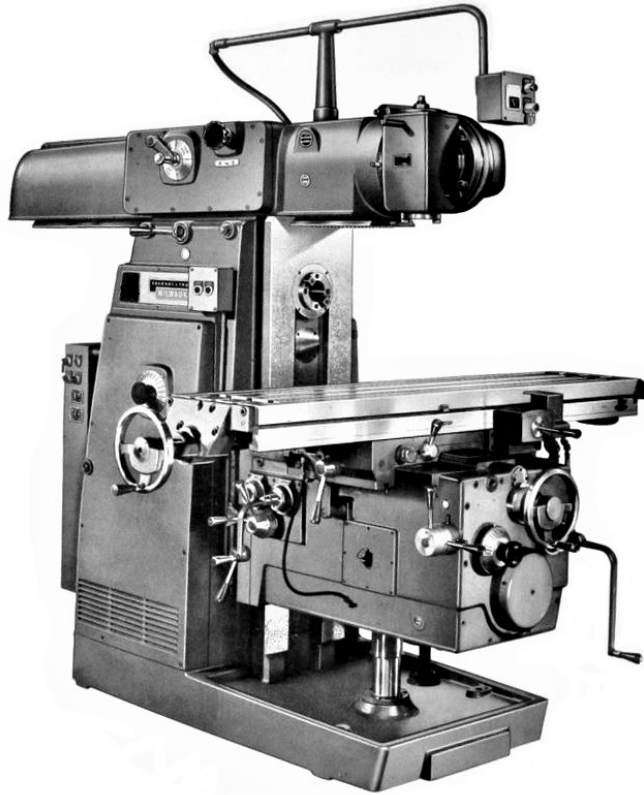


Figura 3.6: Fresa *Milwaukee* 307 S-12

Adaptada de *Kearney & Trecker Milwaukee : Maintance Manual N° SM 66 - S12 and S15*

Material de Culata

Para seleccionar el disco adecuado para el corte de la culata es fundamental conocer el material del que se compone ésta, de modo que se seleccionen adecuadamente la dureza del disco, el número de dientes y en general todos los parámetros que intervendrán en el corte.

Una primera aproximación a la determinación del material es revisar la literatura al respecto, así como la asesoría experta por parte del personal de apoyo académico tanto del Taller Metalmecánico como del laboratorio de Termofluidos. De acuerdo con la opinión de los docentes, el material más común para la manufactura de las culatas de motor es la fundición gris, información que es corroborada por la literatura disponible.

De acuerdo con el trabajo de F. Zieher, F. Langmayr, A. Jelatancev y K. Wieser [23] acerca de la fatiga en culatas de fundición gris, este seguía siendo el material más utilizado hasta el año 2005 (año de publicación de su trabajo) en el diseño de culatas de motores y el diseño del motor OM366

LA utilizado en el laboratorio de Termofluidos, fue introducido en el mercado en el año 1994, por lo tanto no es extraño que la estructura de su culata esté fabricada en fundición gris.

En base al trabajo de Doru M. Stefanescu [24], la fundición gris es un tipo de fundición de hierro, que consiste en una aleación de hierro con generalmente más de un 2 % de carbono y una cantidad cercana al 1 % silicio y trazas cercanas al 0.1 % de otros componentes como manganeso, fósforo y azufre. Tiene por lo tanto mayor cantidad de carbono que los aceros, es de mecanizado sencillo y cuenta con un punto de fusión más bajo.

Cuando se realiza un enfriamiento lento de la colada y se tiene alta presencia de silicio, el carbono se presenta como grafito y se genera la fundición gris. Por otra parte cuando se realiza un enfriamiento rápido y se tiene poco silicio, se favorece la formación de cementita lo que da lugar a la fundición blanca.

La fundición gris es ampliamente utilizada en ingeniería, pues es de bajo costo y es de mecanizado sencillo debido a la presencia de grafito, el cual actúa como lubricante sólido en las herramientas. Es por esto que con las fundiciones grises es posible fabricar piezas de grandes dimensiones y a su vez piezas pequeñas y complejas.

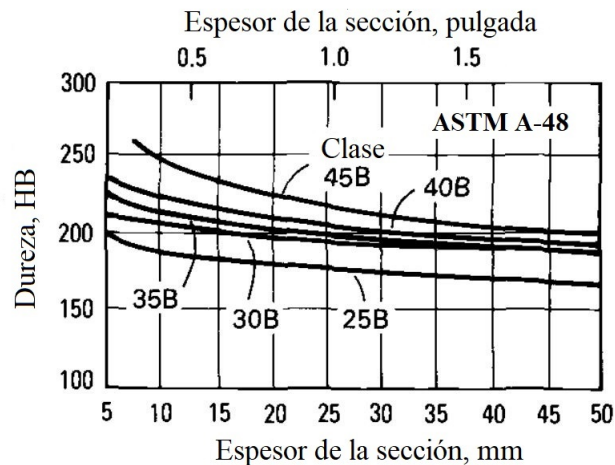


Figura 3.7: Fundición Gris: Dureza Brinell v/s Espesor

Adaptado de Doru M. Stefanescu. (1990). *Classification and Basic Metallurgy of Cast Iron*

Respecto a la dureza de la fundición gris, que es lo que interesa para la selección del disco de corte, se tiene un rango en escala Brinell de 160 a 260 [HB], de acuerdo con el trabajo de Doru M. Stefanescu [24], representado en la Figura 3.7. Sin embargo la culata puede contener alguna otra aleación que cambie sus propiedades, sumado al hecho de que la dureza varía en una pequeña

proporción según el espesor del material, es por esto que se debe tener la certeza de la composición de la culata OM366 LA y determinar su dureza real dado el espesor que tiene.

Para determinar la dureza real de la culata se trabajó con el apoyo del departamento de Metalurgia de la Universidad, el cual facilitó un instrumento de medición capaz de medir dureza en distintas escalas. El instrumento es un *tester* de dureza portátil: Portable Hardness Tester TH-110, cuyas especificaciones están en el catálogo adjunto en el Anexo E.

Para estimar la dureza de la culata del motor se procede a tomar mediciones en distintos sectores de la culata. Es necesario mencionar que para una correcta medición se debe situar el instrumento en una superficie plana, por lo cual existen sectores donde no es posible realizar la medición, como en los asientos de válvulas, adicionalmente las mediciones no pueden realizarse dos veces en la misma zona pues el ensayo de dureza provoca deformaciones en la superficie, por lo tanto altera la dureza original. Se debe procurar la limpieza de la culata previa a las mediciones, de modo de remover el polvo y los residuos de lubricante.

Las mediciones realizadas están registradas en la Tabla 3.2 en escala de dureza Brinell (HB) y dureza Leeb (HL), las cuales se realizaron en los lugares señalados en la Figura 3.8. El valor más bajo de dureza se situó en 177 [HB] y el más alto en 225 [HB], el promedio de todas las mediciones arroja una dureza de 207 [HB]. Tanto los valores máximo y mínimo como el promedio, se encuentran dentro del rango de dureza de una fundición gris, por lo tanto el supuesto hecho en base a la literatura puede ser corroborado, y se procede a buscar un disco que se desempeñe de forma óptima ante estos materiales.

Tabla 3.2: Mediciones de Dureza

N° Medición	HB	HL
1	212	529
3	217	534
4	225	543
5	177	488
6	203	519
7	206	522
8	203	519
9	215	532
Dureza Promedio	207	523

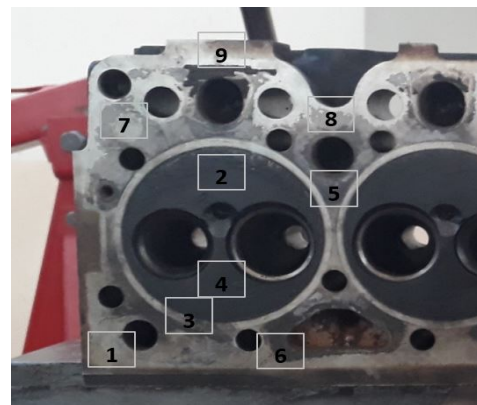


Figura 3.8: Zonas de Medición de Dureza

Selección del disco

Dado que se tienen antecedentes del material a cortar, y la máquina-herramienta disponible, se procede a determinar el disco idóneo para realizar el trabajo. Para poder realizar la adquisición de un disco de corte se deben determinar en detalle todos los parámetros que éste debe cumplir, de manera que cumpla su función de manera óptima. Como es usual a la hora de efectuar una cotización y posterior compra de una herramienta de corte, se debe tener claridad en los siguientes aspectos:

1. El material a cortar y su espesor: Como se planteó anteriormente, el material de la culata del motor OM366 LA es básicamente fundición gris con algún tipo de aleación y su espesor es de aproximadamente 95 [mm].
2. Maquinaria disponible para realizar el corte: Se dispone de una fresadora *Kearney & Trecker: Milwaukee 307 S-12* con sus respectivos accesorios (Dimensiones detalladas en Anexo F).
3. Tipo de corte deseado: El objetivo del corte es que sea lo más limpio posible, de tal manera que permita apreciar con detalle la geometría interna de la culata, por lo tanto debe ser un corte que no remueva demasiado material de la culata, que tenga buen acabado superficial y que la cantidad de rebaba se mantenga lo más baja posible. Se recomienda la utilización de un disco dentado por sobre uno abrasivo.

Como ya se mencionó anteriormente, el disco seleccionado no debe ser un disco abrasivo sino que debe ser un disco dentado, debido a que este último produce cortes con mejor acabado superficial, afecta en menor medida las dimensiones del disco por efecto de la temperatura y en general tiene una mayor vida útil. No obstante, dentro de los discos dentados existe una amplia variedad, siendo la primera diferenciación el material de éste, el cual obedece a la naturaleza del material a cortar, esto se resume en la Tabla 7.5 (Anexo G).

De la Tabla 7.5 se desprende que el uso de un disco de Acero Rápido (HSS) es la opción adecuada para trabajar con una pieza de fundición gris como lo es la culata del motor Mercedes-Benz OM366 LA. No obstante, para la caracterización completa del disco se deben conocer los siguientes parámetros:

- Número de dientes .
- Geometría de los dientes.
- Ancho del disco.
- Diámetro del disco.

Tanto el número de dientes como la geometría de estos, están supeditados al material que se va a cortar y por consiguiente al tipo de viruta que éste desprende, además del acabado que se pretende lograr en el corte. Un mayor número de dientes produce un acabado más fino y es recomendable para un corte trasversal al borde más largo de la pieza, sin embargo, la sierra tiene una menor vida útil y debe trabajar con un avance más lento. Por otro lado, si el espesor del material es alto se recomienda un menor número de dientes y por lo tanto un paso mayor, esto produce un corte menos uniforme y más basto y es recomendado para cortes paralelos al borde más largo de la pieza. Con un número menor de dientes la sierra tiene una vida útil mayor y una alta velocidad de avance.

La geometría del diente varía dependiendo del material a cortar así como también con las condiciones del corte, puede tener dientes iguales o alternadamente distintos. A continuación se mencionan las geometrías más comunes y sus aplicaciones:

1. Plano o Recto (FTG): Es un solo tipo de diente de cima plana, óptimo para cortes longitudinales rápidos y bastos en madera maciza y tableros no recubiertos. Posee un mantenimiento sencillo.
2. Biselado Alterno o Variable (ATB): Las puntas de los dientes están biseladas de forma alterna a la derecha y a la izquierda, desgarrando la fibra del material para producir un corte limpio. En general se trata de hojas corrientes y multiusos, muy apropiadas para la aplicación universal en madera blanda y dura. Ideal para cortes longitudinales y transversales.
3. Plano o Trapezoidal (TCG): Consiste en alternación de diente plano con un diente trapezoidal ligeramente más alto. El diente trapezoidal corta una ranura a través del material seguido por un diente plano que limpia el corte. Es apropiado para la aplicación universal en perfiles y materiales macizos: tabla de virutas prensadas, madera blanda y dura, plásticos, metales no ferrosos, cobre, latón, aluminio, laminados, etc. Entrega un acabado óptimo.

4. En Punta Cóncavo (DH): Consiste en la alternancia de un diente con la parte superior en punta con un diente rectificando con forma cóncava. Es apropiado para materiales de tablero recubiertos por una cara o por las dos e ideal para el corte de tableros laminados y materiales muy abrasivos, con un resultado de corte muy limpio y larga vida útil.

En vista del uso universal de los dientes tipo TCG en perfiles y materiales macizos sumada a la capacidad de generar un acabado óptimo, esta es la opción más adecuada para el disco a cotizar.

En cuanto al ancho del disco, éste debe ser lo más delgado posible, puesto que se busca una mínima pérdida de material en el proceso de corte, de modo que se conserve la geometría interna de la culata. Por lo tanto se seleccionará el menor ancho posible según el resto de especificaciones técnicas y a las medidas disponibles en el mercado.

Respecto a los diámetros del disco se deben considerar dos aspectos fundamentales, el espesor del material y las limitaciones técnicas de la fresadora respecto al montaje del conjunto del disco y la pieza a mecanizar. En primer lugar el radio del disco debe ser capaz de abarcar la totalidad de la pieza y de todo el sistema de montaje de ésta, de modo tal que no se deba desmontar la pieza para completar el corte. En segundo lugar, el radio del disco no debe exceder el valor de la distancia entre el eje y el contrasoprote de la fresadora.

Finalmente, el diámetro interior del disco debe ser igual al diámetro del eje de la Fresa, de modo que el montaje tenga el ajuste adecuado, vale decir que no presente juego ni que tenga un apriete que dificulte el montaje y desmontaje del disco en la máquina.

Como se muestra en la Figura 3.5, la culata tiene un espesor de 91,84 [mm] y como se aprecia en los planos de la fresadora en el Anexo F (Figura 7.10), la mesa tiene canales de 31,75 [mm] de profundidad, por lo tanto y como el disco debe quedar dentro de la canal, el disco debe contar por el momento con un radio mínimo de 100 [mm], con lo cual el disco tendría una penetración de casi 10 [mm] dentro de la canal de la mesa de fresado. No obstante, se debe considerar a su vez el sistema de sujeción de la pieza a la mesa, para ello se consideran cuatro pernos y dos pletinas ranuradas (planos en el Anexo H) y las tuercas y arandelas necesarias para lograr la sujeción.

El montaje de la culata y su sistema de sujeción a la mesa está esquematizado en la Figura 3.9, en dónde se aprecia a su vez la distancia del borde de la pieza al borde de la fresa, que está más cercano a la columna de la misma. Esta distancia obedece a la cota de mínima distancia posible entre el centro de la mesa y la columna de la fresadora que es de 187,325 [mm], por tanto el borde

de la pieza a cortar no puede estar a una distancia mayor del centro de la mesa pues chocaría con la columna de la Fresa. Al utilizar 185 [mm] como factor extra de seguridad y como referencia el borde de la mesa para mayor comodidad en el montaje, el borde de la pieza no debe estar a más de 35 [mm] del borde de la mesa (borde cercano a la columna de la Fresa).

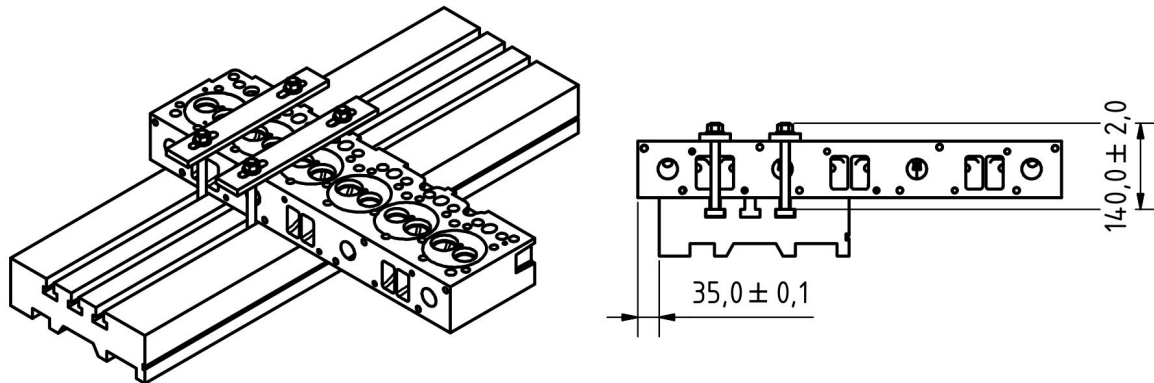


Figura 3.9: Representación montaje preliminar de culata en la Fresa

No obstante, se deben considerar las dimensiones de los elementos de la fresa en los cuales se montará el disco, esto implica que se debe considerar la distancia del eje al contra-soporte de la fresa, así como también la distancia que tendrá la pieza a los soportes del eje, finalmente es importante considerar los elementos de sujeción del disco, tales como bujes y bridas que se encargarán de apretarlo, permitiendo así que éste gire en todo momento a la misma velocidad angular que el eje y sin juego respecto a éste.

El eje utilizado (Figura 3.10b) tiene un diámetro de 32 [mm] y utiliza una serie de bujes para apretar el disco de sierra, los cuales son de vital importancia en caso de que el disco no cuente con un chavetero para su sujeción al eje. Los bujes más importantes son los que estarán en contacto con el disco, estos son un tipo especial de buje (Figura 3.10a), que cuentan con un diámetro interno de 32 [mm] y un diámetro externo de 100 [mm], el cual es mayor al resto de bujes del eje. Por lo tanto el disco a adquirir debe tener un diámetro interno de 32 [mm] y ser capaz de cortar a través de la pieza, sin que ésta choque con los bujes ni con el contra soporte, por lo tanto debe tener 50 [mm] extra de radio para lograr esto, situando el radio actual en un mínimo de 150 [mm].

Junto con determinar el radio externo mínimo que se requiere en el disco, es necesario determinar el valor máximo, ya que, el contra soporte de la fresadora está directamente sobre el eje y el ex-

ceder la distancia entre estos dos componentes provocaría un choque del disco al contra soporte e inclusive la imposibilidad de montar el disco en la máquina.



(a) Bujes en contacto con el disco

(b) Eje y Bujes utilizados en Fresadora

Figura 3.10: Elementos de Montaje en Fresa

Para determinar el valor máximo que puede tener el radio del disco, se recurre al plano de la Fresa (Figura 7.7) del Anexo F. Este plano indica la cota que se refiere a tal distancia como CC, que tiene un valor 7 [pulgadas], osea 177,8 [mm] como lo señala la Figura 3.11a. Se tiene entonces un margen [300 - 350 [mm]] de diámetro para el disco de corte, en dónde por estabilidad del corte se debe optar por la opción de menor tamaño posible, procurando no utilizar exactamente las medidas extremas del rango, por precaución.

En la Figura 3.11a se señala la cota máxima para el radio del disco, fijada para efectos prácticos del montaje en 175 [mm]. La proyección del montaje propuesto para lograr el corte de la culata se presenta en la Figura 3.11b, el cual supone un disco de corte de un valor dentro del rango, que sea el menor posible (305 [mm] de diámetro), dónde se proyecta la dimensión de su radio desde el centro del eje hasta el canal de la fresadora 152,50 [mm]. Sin embargo puede ser utilizado un disco de mayor tamaño (hasta 350 [mm] de diámetro), esto estará supeditado a la disponibilidad de los proveedores existentes.

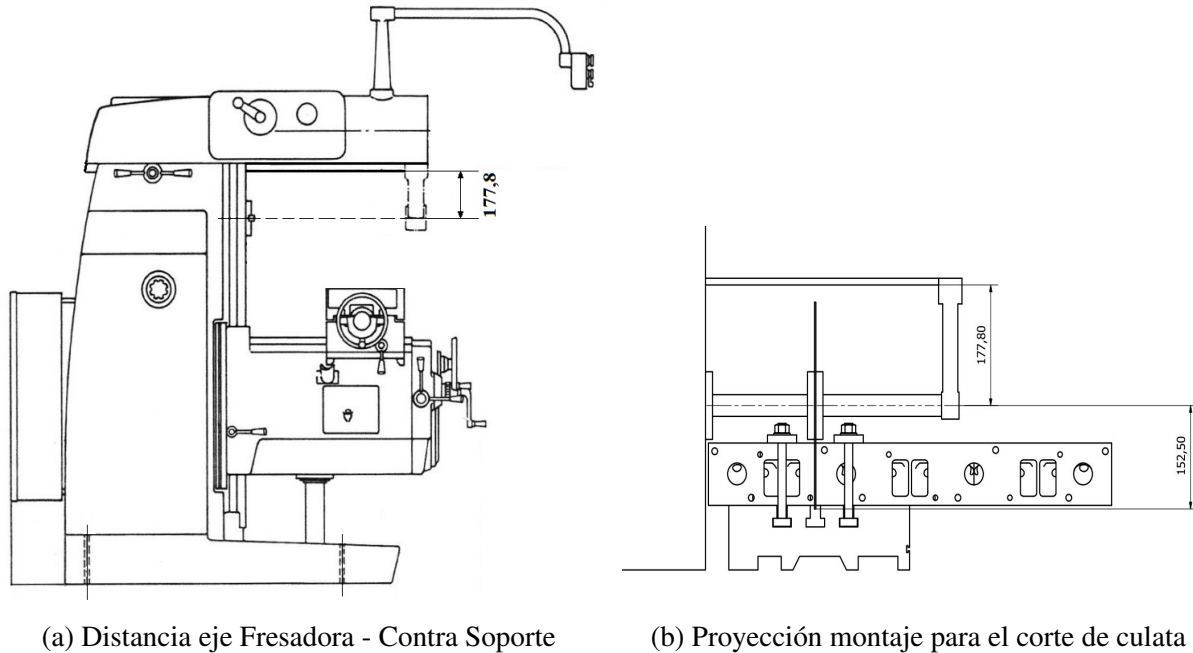


Figura 3.11: Fresa y Proyección del montaje para el Corte

Para la cotización del disco se contacta con el proveedor del Taller Metalmecánica del DIMEC, Ingsumind Ltda, quienes están dedicados al suministro industrial de herramientas y maquinarias. Se le plantea a la empresa, la necesidad de adquirir un disco de Acero Rápido con un diámetro entre [300 y 350 [mm]] para el corte de una pieza de fundición gris con posibles aleaciones de aluminio y un espesor de aproximadamente 90 [mm]. Ante esto la empresa provee la información técnica de discos de sierra de la marca Dormer que cumplen con estas características, el disco debe ser especificado por modelo, diámetro externo, diámetro interno, número de dientes y espesor del disco.

Dentro de los discos de diámetro igual o mayores a 300 [mm] y con diámetro interior igual a 32 [mm], se tienen los modelos D750 y D751 (Anexo I), que cuentan con una geometría de sus dientes tipo TCG utilizada en este tipo de materiales y un espesor del disco de 2,5 [mm]. El número de dientes debe ser seleccionado pensando en las condiciones y el tipo de material como se ha comentado previamente.

Dado que se pretende un corte con buen acabado superficial y es un corte transversal en la pieza, es recomendable un número mayor de dientes. Sin embargo esto implica una sierra con menor vida útil y un avance lento a la hora de mecanizar, sumado al alto espesor de la pieza. Por lo tanto se

opta por seleccionar la opción intermedia en el número de dientes.

En cuanto al diámetro exterior de la sierra, las opciones son 300, 315 y 350 [mm]. Puesto que no se pretende trabajar en los valores extremos del rango admisible de trabajo en la fresadora, se selecciona el disco de 315 [mm].

Se adquiere entonces el disco D751315.0X2.5X240 del catálogo Dormer (Anexo I), con todas las características mencionadas anteriormente y resumidas en la Tabla 3.3. En la Figura 3.12 se presenta el montaje del disco en la Fresa para realizar los cortes necesarios para obtener una caracterización de la zona interior de la culata.

Tabla 3.3: Especificaciones Disco Dentado Dormer D751

Diámetro Exterior	315 [mm]
Diámetro Interior	32 [mm]
Número de dientes	240 [-]
Geometría de Diente	TCG
Ancho del Disco	2,5 [mm]
Paso	4 [mm]



Figura 3.12: Montaje de Disco D751 y Culata OM366 LA en Fresa Milwaukee

3.3. Proceso de Corte

El montaje del disco y sus condiciones de operación están especificadas para el tipo de material a cortar y sus dimensiones, por lo tanto un funcionamiento óptimo del disco y las condiciones de seguridad del mecanizado son consecuencia directa del cumplimiento de todas las especificaciones para el montaje y funcionamiento del disco. Estas condiciones son descritas a continuación, las cuales son específicas para el trabajo con disco D751315.0X2.5X240 en Fresa *Milwaukee* 307 S-12.

Respecto al montaje del disco en el eje, es imperativo procurar que la inclinación de los filos de la herramienta estén orientados en la misma dirección del giro del eje y este giro a su vez se realice de forma dextrógira, al igual que se realiza el apriete de la tuerca. Una fuerza excesiva en el disco debido a algún inconveniente hará que éste gire en sentido opuesto y esto aflojará la tuerca, soltando el disco, con lo cual se le protege de una fractura o de que esta fuerza apriete excesivamente la tuerca, generando un trabajo extra para lograr aflojarla.

En cuanto a las condiciones de operación del disco, estas vienen dadas por el fabricante del mismo, según sean las condiciones del corte que son determinadas por la naturaleza de la pieza. Para definir las condiciones de operación se trata la pieza a cortar como una pieza maciza de fundición gris de 50 [mm] de espesor en la zona con mayor cantidad de material, ya que en la práctica no es una pieza completamente maciza.

Para el proceso de corte se definen tres parámetros de operación, estos son: velocidad de corte, profundidad de corte y el avance. En cuanto a la velocidad de corte, el fabricante la fija en un rango de entre [30 - 50 [m/min]] y la profundidad de corte es de 10 [mm]. Sin embargo, el avance no está definido directamente, lo que entrega el fabricante es el avance por diente que debe estar en un rango de [0,03 - 0,05 [mm/diente]], esta situación se resume en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4: Parámetros de mecanizado seleccionados para trabajo en Fresa

	Según Fabricante	Seleccionado
Velocidad de corte (V_C)	30 - 50 [m/min]	40 [m/min]
Velocidad del husillo (n)	30,3 - 50,5 [rpm]	40 [rpm]
Avance por diente (f_z)	0,03 - 0,05 [mm/diente]	0,04 [mm/diente]
Velocidad de Avance (V_f)	288 - 480 [mm/min]	384 [mm/min]
Profundidad de Corte (a_p)	10 [mm]	10 [mm]

Las relaciones entre los distintos parámetros, de acuerdo con Heinrich Gerling [25] son las siguientes:

$$V_C = \frac{\pi \times D \times n}{1000} \quad [m/min] \quad (3.1)$$

$$V_f = f_z \times n \times z \quad [mm/min] \quad (3.2)$$

En dónde:

- D : Diámetro exterior del disco en [mm].
- z: Número de dientes del disco

Nota: Es altamente recomendable el uso de refrigerante para el proceso de corte. Se utiliza para este propósito, combustible Diesel, el cual es provisto por el laboratorio de Termofluidos.

3.3.1. Primer Corte

El primer corte se realiza bajo las condiciones de operación especificadas y con el montaje señalado en la Figura 3.9 con la idea de cortar la culata en la zona de la válvula de escape del cilindro 5 (Figura 3.13), de modo de transferir la información y evaluar la posibilidad de instalar el sensor en la zona de la válvula de escape del cilindro 6.

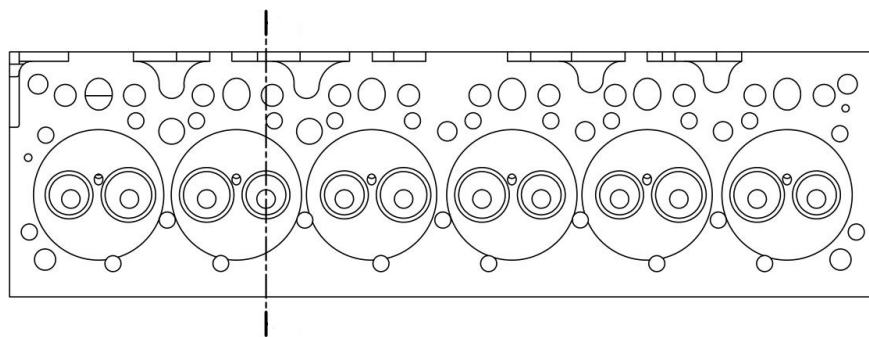
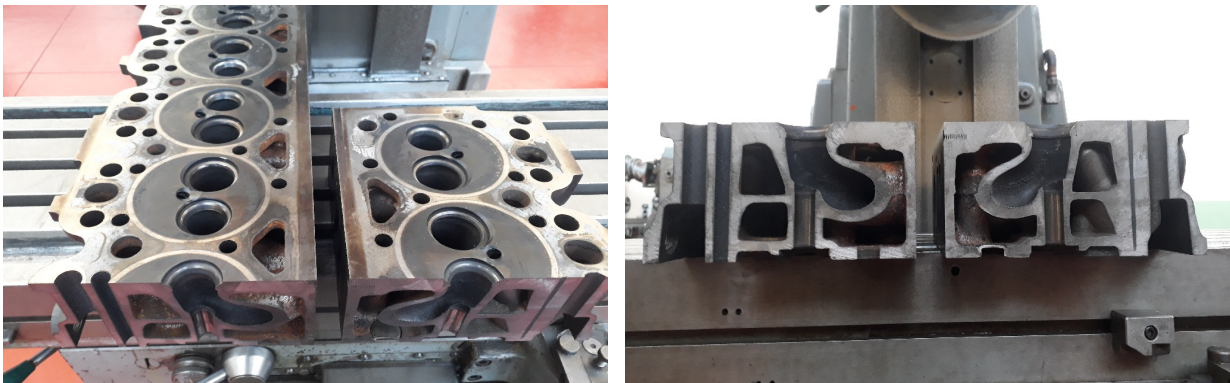


Figura 3.13: Zona Primer Corte: Zona media de válvula de escape, cilindro 5

Al momento de realizar el corte, no se pudo lograr trabajar con el avance indicado por el fabricante, por el contrario se debió disminuir el avance a 6 [mm/min], esto debido a que el sistema de sujeción del disco no permitía a la herramienta soportar grandes esfuerzos. Finalmente con esta velocidad

de avance, una profundidad de corte de 10 [mm], el largo del corte de 195 [mm] y el espesor del material de 91 [mm], el tiempo de mecanizado es de 5,5 horas aproximadamente, por lo tanto en una jornada de trabajo se realiza sólo un corte de la pieza, pues se debe considerar además el tiempo de montaje y limpieza de la zona de trabajo.

Se realiza el primer corte de manera satisfactoria, como lo muestra la Figura 3.14, sin embargo, con una inspección visual se determina la imposibilidad de la instalación en esta zona, ya que la camisa del sensor no cuenta con espacio, debido a los pernos de culata y al ducto que transporta los gases de escape. No obstante, gracias a este corte, se puede trabajar la pieza que contiene los cilindros 5 y 6 de una manera más cómoda. El siguiente corte está orientado a la exploración del cilindro 6 debido a la potencial instalación del sensor en este cilindro.



(a) Primer Corte realizado

(b) Primera vista en corte de la culata

Figura 3.14: Primer corte en culata OM366 LA

3.3.2. Segundo Corte

El segundo corte se realiza bajo las mismas condiciones de operación del primer corte, sin embargo el montaje es distinto. Se utiliza la pieza de menor tamaño resultante del primer corte, la cual corresponde a los cilindros 6 y parte del cilindro 5.

El segundo corte pretende ser realizado a la mitad del perno de culata que se encuentra paralelo al asiento de la válvula de admisión (Figura 3.15), de modo de caracterizar la zona de esta válvula, puesto que en el primer corte se analizó la zona de la válvula de escape. El corte se lleva a cabo de forma satisfactoria, no obstante, al igual que en el primer corte, se debe considerar que existe una pérdida de material de la culata a causa del ancho del disco de 2,5 [mm] (Figura 3.16a).

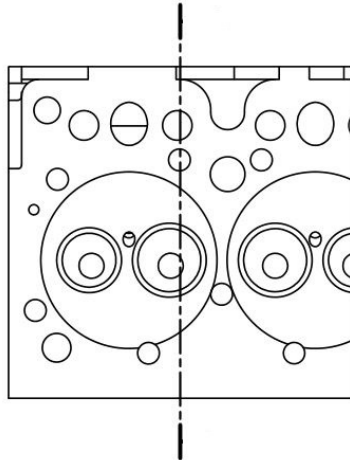


Figura 3.15: Zona Segundo Corte: Perno de culata paralelo a válvula de admisión, cilindro 6

Este corte será utilizado para refinar el modelo 3D de la culata de motor, sin embargo su utilidad respecto de la instalación del sensor de presión es baja puesto que se tienen muchas zonas imposibles de atravesar, en primer lugar el ducto de admisión de aire y en segundo lugar la presencia del perno de culata que cruza toda la pieza, puesto que fija la culata a la superficie del *Block* de motor. La vista en corte obtenida del segundo proceso de corte realizado a la culata se puede ver en la Figura 3.16b, en donde se aprecia la forma del ducto de admisión de aire, las zonas de refrigerante y de lubricante utilizado en el motor.



(a) Segundo corte, destaca ancho del disco



(b) Vista en Corte

Figura 3.16: Segundo Corte realizado en culata OM366 LA

3.3.3. Tercer Corte

En vista de que el primer corte entrega una visión de la geometría en la sección de la válvula de escape y el segundo corte entrega la visión de la geometría en la sección de la válvula de admisión, el tercer corte entregará la visión de la geometría en la sección media entre las dos válvulas. Esto corresponde a la línea media del cilindro (Figura 3.17), el sector en dónde se ubica el agujero para la boquilla del inyector.

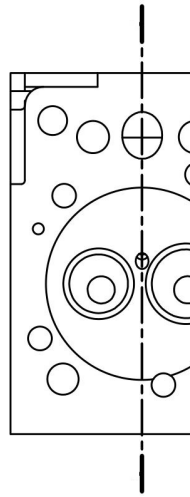


Figura 3.17: Zona Tercer Corte: Paralelo al inyector, zona media cilindro 6

Una vez realizado el corte, bajo las condiciones de operación de los dos cortes anteriores, se puede apreciar a simple vista que no existen agujeros pasantes que correspondan a pernos de culata. Se puede por lo tanto proyectar la instalación de la camisa del sensor en la zona superior de la culata (referencia Figura 3.18), en esta zona se encuentra por un lado un vacío para el paso de refrigerante y por otro lado, la zona de lubricante.

En la zona inferior de la culata (referencia Figura 3.18) se pueden apreciar ambos conductos de gas, en la Figura 3.18a se muestra el ducto de la válvula de escape y en la Figura 3.18b se aprecia el ducto de la válvula de admisión, con una zona de vacío por donde circula refrigerante. Con esta información se puede caracterizar en forma lo suficientemente precisa la zona interior del cilindro 6, lugar en dónde se pretende realizar la instalación del sensor, se pueden realizar planos y un modelo 3D con herramientas CAD, para la simulación de la instalación del sensor, de manera que ésta se ejecute de la manera más segura posible.



(a) Vista Izquierda: Cercana a válvula de Escape (b) Vista Derecha: Cercana a válvula de Admisión

Figura 3.18: Tercer corte realizado en culata OM366 LA

3.4. Modelo CAD de Culata de Motor OM366 LA

En base a las mediciones tomadas de la culata, tanto medidas exteriores como las interiores que fueron realizadas con el mismo procedimiento, se construye el modelo CAD, el cual permite tener una visualización completa de la culata, puesto que se puede orientar en cualquier ángulo posible, a la vez que permite la visualización inmediata de cualquier zona interior.

Los cortes realizados y las vistas obtenidas mediante ellos, se muestran en la Figura 3.19, según fueron realizadas en el modelo 3D mediante las herramientas CAD del software *Inventor Autodesk*. En base a este modelo es posible la proyección de propuestas de instalación del sensor de presión, simulando dicha instalación de distintas maneras. Por otro lado, es posible la generación de planos de las zonas y medidas más relevantes de la culata, para su posterior estudio.

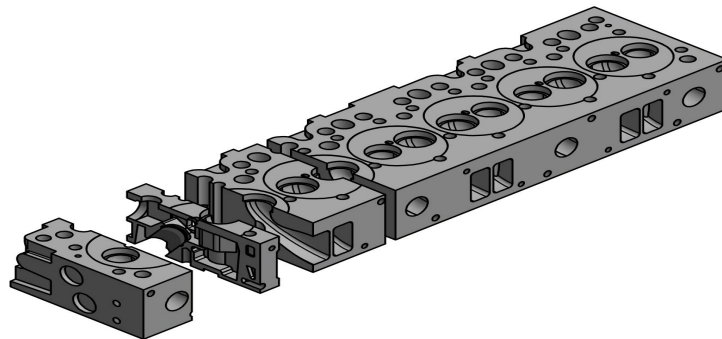


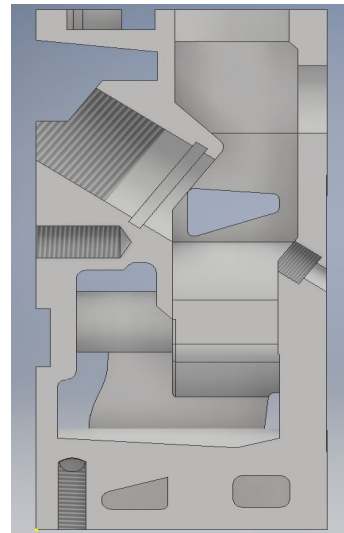
Figura 3.19: Modelo 3D: Presentación Culata y sus cortes

Como ya se había anticipado, el lugar óptimo para la instalación del sensor no se encuentra alineado al centro de la válvula de admisión ni a la válvula de escape, debido principalmente a la imposibilidad de instalar una camisa para proteger el sensor, esto se debe a dos razones: en la zona que está cercana a los *manifold* de admisión y escape, la presencia de los conductos de gas impiden una perforación, por otro lado, en la zona cercana a la vista frontal de la culata se tiene la presencia de un agujero que atraviesa toda la sección de la culata, agujero destinado a los pernos de culata, que fijan la culata al motor, por tanto es imposible realizar una perforación en esta zona.

De este modo, los análisis posteriores se centran en la zona cercana a la línea media del cilindro, aquella zona en la cual se encuentra el agujero por donde ingresa la boquilla del inyector a la cámara de combustión. El corte que permite acceder a esta zona es el corte N°3 (Figura 3.17) que permite tener acceso a una zona con potencial para la instalación del sensor.



(a) Corte real 3: Cercano a válvula de admisión



(b) Simulación Corte 3: Cercano a válvula de admisión

Figura 3.20: Tercer corte realizado en culata OM366 LA

En la Figura 3.20 se presenta el corte N°3 real de la culata (Figura 3.20a) y su modelo 3D realizado con herramientas CAD (Figura 3.20b).

Finalmente se tiene toda la información pertinente para poder realizar planos de la culata de motor OM366 LA, con énfasis en la zona del tercer corte y en la distancia entre los distintos agujeros de la pieza. Debido a su formato A2, el plano de la culata se encuentra en el Anexo J.

3.5. Configuraciones para instalación de Camisa 6525ASP

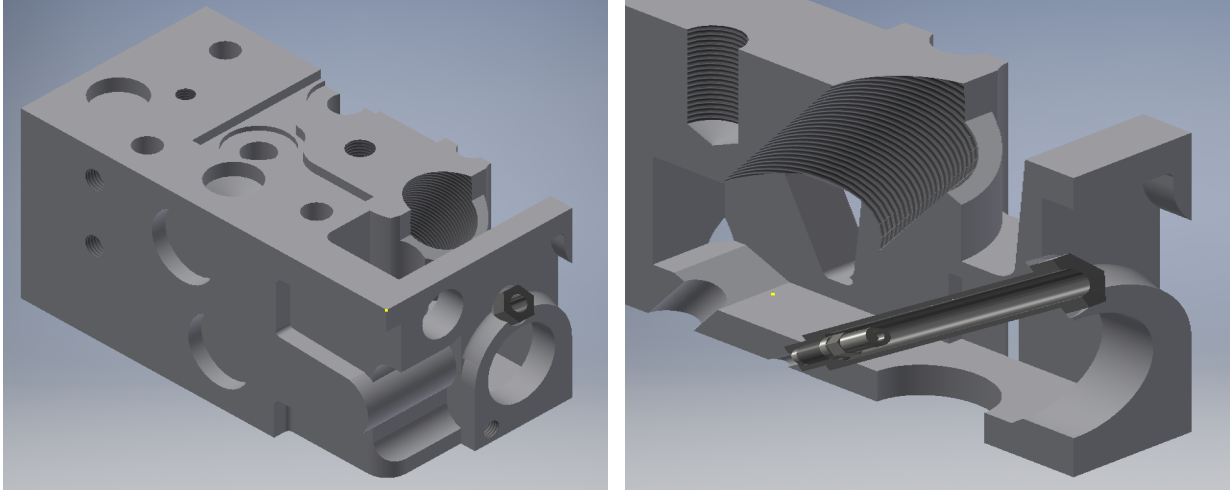
3.5.1. Configuración en ángulo

Una primera visualización del tercer corte de la culata (Figura 3.18), realizado en la zona media entre las válvulas de admisión y escape del cilindro 6, permite notar que una buena opción para la instalación del sensor de presión, es la intervención en ángulo de la culata, de tal manera que la camisa de protección del sensor ingrese de manera similar a la camisa protectora del inyector.

La instalación en ángulo representa la alternativa más recomendada por el ingeniero encargado del trabajo con el motor OM366 LA, puesto que no interfiere con otros componentes del motor como lo son la bomba de agua ni el *manifold* de admisión ni el de escape de los gases. Por otra parte, desde el punto de vista del montaje del sensor, representa la opción más cómoda a la hora de realizar esta operación, pues la entrada del sensor a la camisa se realizaría en la parte frontal de la culata (Vista frontal de acuerdo con la Figura 3.2a y el Anexo B).

Para la instalación de la camisa en ángulo se debe procurar que esta no atravesase por la cámara de aceite de la culata debido principalmente a la alta presión a la cual se encuentra este sistema (120 a 150 [PSI]), sin embargo la zona de refrigerante si se puede atravesar, pues en este sistema, la incorporación de un cuerpo extraño no representa un peligro pues el sistema de refrigeración funciona con bajas presiones, de hasta 25 [PSI].

Para determinar la viabilidad de las distintas configuraciones de montaje que se pueden realizar, se recurre a las herramientas CAD utilizadas para la modelación de la culata, y se utilizan para modelar el sensor 6052C y su camisa de protección 6525ASP (mediante información del catálogo del Sensor 6052C, documentado en el Anexo A). Se presenta en la Figura 3.21 la simulación del montaje esperado de esta configuración.



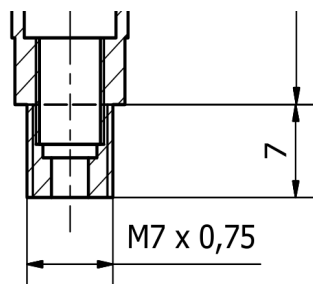
(a) Instalación en ángulo

(b) Corte de Instalación en ángulo

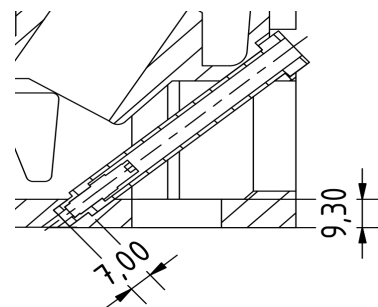
Figura 3.21: Modelo 3D de Instalación en Ángulo

Si bien esta configuración facilita el montaje del sensor de presión, desde el punto de vista del montaje de la camisa presenta dificultades técnicas, puesto que el mecanizado debe realizarse en una zona con un espesor reducido. La zona roscada de la camisa 6525ASP, tiene un largo de 7 [mm] como se aprecia en la Figura 3.22a, sin embargo la zona de la culata donde se proyecta su instalación tiene aproximadamente 9 [mm] (Figura 3.22b), lo que deja muy poco margen de error para un mecanizado que requiere tanta precisión.

Adicionalmente al largo de la rosca de la camisa, se debe considerar el asiento de la camisa 6525ASP, ubicado en el cambio de sección de la rosca M7 y el cuerpo de la camisa de 10 [mm]. Se requiere de material en la culata para lograr mecanizar este asiento, de tal manera que se logre un sello óptimo de la camisa.



(a) Rosca de Camisa 6525ASP



(b) Instalación en ángulo

Figura 3.22: Dibujo Limitaciones de Instalación en ángulo

3.5.2. Configuración vertical

En vista de la imposibilidad de proyectar una instalación vertical en la misma zona, debido a que se encuentra la zona del inyector (también en ángulo), se debe analizar una nueva zona. Esta nueva zona de instalación está pensada para acceder a la cámara de combustión situando la camisa más próxima a los *manifold*, puesto que en esa zona no se encuentra ni la entrada del inyector ni tampoco el árbol de levas.

En la Figura 3.23a se muestra la vista en corte de la culata en la zona media entre las válvulas, se puede apreciar que en una instalación vertical en el sector más cercano a los *manifold*, efectivamente no hay presencia de elementos como el inyector, que dificulten la entrada. En aquella zona se encuentra circulando el refrigerante, por lo cual tampoco reviste mayor complejidad desde el punto de vista de la presión que deba soportar la camisa. Por lo tanto se proyecta una instalación de la camisa como se presenta en la Figura 3.23b, en cuyo caso se tiene un espesor de aproximadamente 15 [mm] para el mecanizado del agujero roscado para la instalación de la camisa.

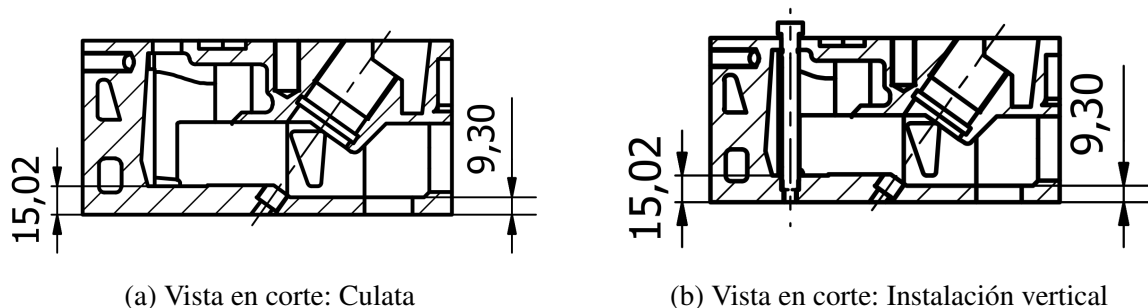


Figura 3.23: Esquema de Instalación vertical de camisa 6525ASP

Si bien es posible una instalación con esta configuración, se debe ser muy preciso en situar el lugar, ya que, se pretende instalar la camisa en una zona de refrigeración entre ambas válvulas, por lo tanto se debe analizar si la instalación alineada con el inyector es la mejor opción. Sumado a esto se debe tener en cuenta los elementos externos de la culata: pernos de culata, tapa de válvulas, etc, que puedan verse afectados con la presencia del cuerpo de la camisa o con la tuerca de ésta.

Se debe considerar además la manufactura de un elemento extra que sirva de soporte y le proporcione mayor robustez a la culata, en la zona del sello de agua de la camisa, esto se debe principalmente a que la culata presenta un espesor bajo en este punto, y no se debe comprometer la estructura de ésta al instalar la camisa.

3.5.3. Proyección Instalación Vertical

En base al plano de la culata (Anexo J), particularmente a las vistas en corte A-A y B-B, se advierte el estrecho margen de trabajo para la instalación de la camisa, debido a que ésta debe introducirse sin invadir ninguno de los conductos de gas, como el de admisión que refleja la vista A-A.

En la vista B-B se tiene la sección transversal por dónde pasa el eje del inyector. En esta zona no está la presencia de los conductos de válvula, sin embargo, para estudiar mejor el área, se recurre a una visualización de esta zona específica y su representación CAD para determinar si el eje de la camisa debe situarse en esta sección o desplazada hacia la válvula de admisión o a la válvula de escape.

Si se revisa nuevamente el tercer corte a la culata, realizado en el centro de la ubicación del inyector, y considerando que el disco posee un espesor de 2.5 [mm], se puede ver claramente que existe una asimetría de los conductos. La pared del conducto de los gases de escape (Figura 3.24a) se encuentra muy cercana al eje del inyector, esto implica que de instalarse la camisa alineada con el inyector se dañaría la estructura de este conducto en el mecanizado.

Por otro lado, como se aprecia en la Figura 3.24b, la pared del conducto de admisión se encuentra más alejada del eje del inyector, en consecuencia crea una zona vacía, que corresponde a parte de la zona de refrigeración de la culata.



(a) Vista Izquierda: Cercana a válvula de Escape (b) Vista Derecha: Cercana a válvula de Admisión

Figura 3.24: Tercer corte realizado en culata OM366 LA

Por lo tanto, la instalación de la camisa puede proyectarse para quedar situada completamente dentro de este volumen de refrigerante, puesto que se reúnen las condiciones óptimas para ello, un espesor adecuado para el mecanizado de la rosca y una zona con espacio suficiente para el cuerpo de la camisa (esta zona se visualiza de mejor manera en la Figura 3.25). No obstante, como ya estaba previsto, se debe recurrir a un refuerzo para la culata en el agujero por el cual la camisa saldrá hacia la atmósfera, para evitar cualquier debilitamiento estructural de la culata.



Figura 3.25: Visualización zona de instalación camisa 6525ASP

Para una visualización aún más clara, es conveniente proyectar la instalación de la camisa 6525ASP. Para esto se recurre a las herramientas CAD y se crea un modelo de este fragmento de culata, en donde se visualice claramente el volumen que ocupa la camisa dentro de esta zona. Este modelo se muestra en la Figura 3.26 y muestra claramente la factibilidad a *priori* de esta configuración. El siguiente paso es determinar la incidencia de la camisa en los otros componentes de la culata y el motor, principalmente los pernos de culata, la tapa de válvulas, las válvulas y el árbol de levas.

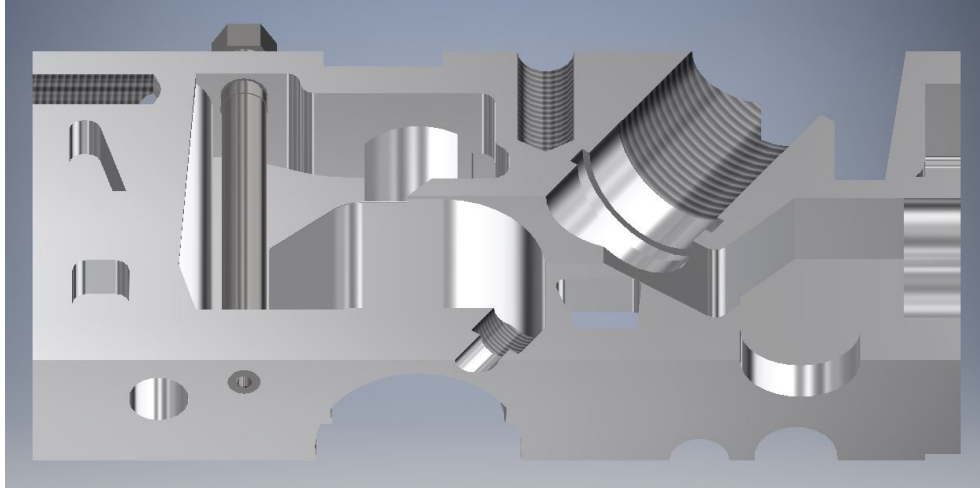


Figura 3.26: Visualización Instalación camisa 6525ASP

En el Anexo M se encuentra adjunto el plano de instalación para la camisa 6525ASP, entregando todos los detalles en cuanto al lugar geométrico en dónde se debe realizar, así como los detalles de las tolerancias para asegurar el sello en la cámara de combustión y el sello para la cámara de refrigeración.

La camisa no genera conflicto con los elementos funcionales de la culata (árbol de levas y válvulas), se encuentra cercano a un perno de fijación de la culata, pero se calcula para no obstruir su fijación normal. No obstante, la instalación de la camisa en esta zona interfiere con un sector de la tapa de válvulas. En vista de que esta tapa cumple la función de cubrir el árbol de levas y las válvulas, no representa un perjuicio para el funcionamiento del motor el intervenirla y quitarle parte de su estructura para hacer espacio a la camisa. Se debe procurar que no se pierda el sello que produce la empaquetadura de la culata.

Capítulo 4

Instrumentos y Equipos de Medición

4.1. Equipos e Instrumentos KISTLER

4.1.1. Sensor de Presión 6052C

Los sensores piezoeléctricos no refrigerados son un diseño altamente eficiente de sensor, permiten un fácil acceso a la cámara de combustión con una instalación y esfuerzos en servicio mínimo. Proporcionan mediciones de alta precisión y calidad de los datos, con un nivel de rendimiento comparable al de sensores refrigerados por agua (dependiendo de la aplicación y la instalación). Son fácilmente capaces de realizar estudios de alta precisión termodinámica, tales como la evaluación de la combustión y el análisis del proceso de intercambio de gases. El diseño del cuerpo del sensor permite mediciones fiables con independencia del modo de funcionamiento del motor y condiciones de contorno, lo cual hace de estos sensores una alternativa altamente confiable en una amplia gama de motores.

Principio de funcionamiento e instalación

En primer lugar, la membrana del sensor convierte la presión medida en una fuerza que se aplica al anillo piezoeléctrico de medición. En el conjunto de cristales piezoeléctricos esta fuerza genera una carga electrostática proporcional a esa fuerza, posteriormente un electrodo recoge esta carga y la suministra al conector del sensor, a continuación, a través del cable piezoeléctrico; el amplificador de carga convierte ésta en un voltaje eléctrico para la medición y el procesamiento.

El principio piezoeléctrico es adecuado para mediciones rápidas, dinámicas y para los cambios de presión cuasi-estática y por lo tanto juega un papel clave en la mediciones de la presión del motor, particularmente para la medición de presión en la cámara de combustión.



Figura 4.1: Estructura de sensor 6052C

Adaptada de Kistler Group. (2018). *Instruction Manual Uncooled piezoelectric pressure sensors Types 6052, 6054, 6056, 6058, 6124, 6125, 6044, 6045*

La precisión de una medición y la calidad de los datos recopilados con ésta, dependen altamente de la instalación cuidadosa del sensor de presión piezoeléctrico. El agujero del sensor debe ser mecanizado con las tolerancias y métodos señalados en el manual de instalación, siendo especialmente cuidadoso en el torque especificado para la instalación del sensor piezoeléctrico.

La instalación del sensor juega un papel fundamental en la precisión y en la cadena de medición en general, pues al ser el elemento primario de la medición, el error que se produzca en él se ve incrementado en los procesos siguientes de transmisión y procesamiento de la señal.

De igual manera, una buena comprensión de los tipos de instalación y de sus ventajas y desventajas es información de carácter esencial para el ingeniero y el desarrollo de la instalación, ya que en el caso particular de cada motor, existe un tipo de instalación que se desempeñará de mejor manera.

Los tipos de instalación son básicamente dos: instalación directa del sensor en la culata e instalación a través de una camisa. En el caso de la instalación directa, se tiene la ventaja de un menor espacio requerido en la culata, por lo tanto una menor intervención a nivel de estructura de la misma, sin embargo, este método solamente puede ser empleado cuando no se debe atravesar ninguna cámara de refrigerante o lubricante.

La opción de una instalación con camisa requiere de un espacio mayor para ser instalada, pero representa la mejor opción cuando el acceso a la cámara de combustión requiere atravesar zonas de refrigerante de la culata o zonas con lubricante, para lo cual requiere de un sellado adecuado. En la parte exterior es atornillado y sellado mediante un *O-ring* y en la parte en contacto con la cámara de combustión se sella mediante rosca y compuestos LOCTITE (LOCTITE 648 para el cilindro y LOCTITE 290 para rosca). Adicionalmente, la instalación mediante este método presenta muchas ventajas desde el punto de vista de la instalación como de la operación:

- Precisión del agujero para el sensor dentro de la camisa.
- Se simplifica el mecanizado al tratarse de la camisa y no del sensor.
- La camisa tiene la resistencia requerida para soportar el desgaste y provee del sello en la culata. Esto permite poder desmontar el sensor repetidamente sin restricciones.
- Cuando se remueve el sensor, la camisa impide que el fluido refrigerante ingrese a la cámara de combustión.

No obstante, como desventaja, se debe mencionar el hecho de que la presencia de una camisa dentro de la culata afecta el desempeño de la refrigeración de la culata, dependiendo del tamaño de la camisa respecto a la culata y del tamaño de la zona de flujo que se ve interrumpida.

Detalles Sensor adquirido: 6052C39U20 y sus accesorios

El modelo de sensor adquirido es 6052C, sin embargo seguido a esta sigla, el sensor contiene unos caracteres adicionales que indican características particulares del sensor que se encuentra ahora en inventario. La denominación completa del sensor es: 6052C39U20, cuyas especificaciones principales de operación se encuentran detalladas en la Tabla 4.1 (más detalles en Anexo A).

Tabla 4.1: Condiciones de Operación Sensor 6052C39U20

Rango de medida	0 ... 300	bar
Rangos parciales calibrados	0 ... 100 , 0 ... 200	bar
Sobrecarga	350	bar
Sensibilidad	17	pC/bar
Rango de temperatura de funcionamiento	-20 ... 350	°C
Conector aislante	M4x0,35	-

6052C □ □ □ □

- - : Después de la letra C puede estar presente una letra S o ninguna letra. En este caso no se encuentra la letra S, lo que indica que es un sensor piezoeléctrico sin tecnología “PiezoSmart”.
- 3 : El número 3 indica que el cable del sensor es un flexible metálico.
- 9 : El número 9 indica que el cable es de un largo personalizado, en este caso 2 [m].
- U20: Esta combinación indica que el sensor tiene un diafragma reforzado.

Tabla 4.2: Descripción Sensor 6052C y sus accesorios

Código	Producto	Descripción
18005361	6052C39U20	Sensor de Presión Piezoeléctrico
18006224	6525ASP	Camisa de montaje
18000302	1300A9	Llave de montaje para sensor 6052C
18000249	1300A17	Llave de Torque 1...6 [Nm]
18000700	1700A13	Copla KIAG 10-32 UNF neg.
18000524	1631C10	Cable Extensión sensor 6052C (KIAG 10-32 / BNC)

A continuación se describe resumidamente el propósito de los accesorios del sensor piezoeléctrico 6052C:

- 6525SP: Camisa de montaje, se monta en la culata de motor y funciona como protector del sensor de Presión 6052C.
- 1300A9: Llave de montaje, se utiliza para montar de manera precisa el sensor de presión 6052C, en la camisa de montaje 6525ASP.
- 1300A17: Llave de Torque, se utiliza para montar el sensor 6052C mediante la Llave 1300A9.
- 1700A13: Copla KIAG 10-32 UNF neg, es una acople para conectar el cable del sensor 6052C a un cable de extensión de 10 [m].
- 1631C10: Es un cable de extensión que se conecta al sensor de presión 6052C mediante la copla 1700A13. Permite la conexión al amplificador de señal, mediante conexión BNC.

4.1.2. Sensor de Presión 4007...DS

Los sensores piezorresistivos de baja presión son soluciones muy fiables para el análisis en procesos de intercambio de gases. Se utilizan para mediciones precisas de presión absoluta en indicación de baja presión, como es en la admisión o escape de gases en caso de motores. Los sensores piezorresistivos se pueden aplicar directamente en la admisión del motor o en el escape mediante un adaptador.

La incorporación de este tipo de sensores tiene como finalidad complementar los datos recopilados por el sensor 6052C. El sensor 6052C entrega información de la presión al interior de la cámara de combustión, por otro lado, el sensor tipo 4007...DS entrega información de la presión en el *manifold* de los gases de escape.

Principio de funcionamiento e instalación

El elemento de medición del sensor es un puente semiconductor *Wheatstone*, formado por resistencias implantadas en un diafragma de silicio micromaquinado. La presión aplicada cambia la resistencia del puente de *Wheatstone* y su salida de tensión, que es proporcional a la presión y por tanto permite asociar una lectura de voltaje con una lectura de presión.



Figura 4.2: Estructura de sensor modelo 4007

Adaptada de Kistler Group. (2018). *Instruction Manual Piezoresistive pressure sensors Types 4007, 4011, 4043, 4045, 4073, 4075, 4049, 4065, 4067*

En los sensores de Tipo 4007 de Exposición Directa del Chip (DCE), la presión actúa sobre el elemento de medición directamente, tal como indica su nombre. El elemento sensor está cubierto con un revestimiento protector para protegerlo del efecto de la medición en los componentes y

así aumentar su durabilidad. Es importante señalar que los sensores piezorresistivos DCE tienen compatibilidad limitada respecto a los fluidos en los que se desempeña correctamente. El tipo de sensor 4007 en específico, ha sido probado con éxito en los siguientes fluidos: gasolina, diésel, E15 (combustible de carreras), aceite del motor (0W-40), líquido de frenos (DOT 4), aceite PVE (aire acondicionado), aire, agua y gases de escape diésel de fluido (AUS32 / AdBlue).

Respecto a la instalación de este tipo de sensores, estos son de montaje sencillo mediante una rosca en la cual se instala directamente el sensor, por ejemplo en el ducto de escape de gases o de admisión de aire. No obstante se debe procurar una instalación al ras de la superficie (Figura 4.3), puesto que se están midiendo fluidos compresibles en estado dinámico.

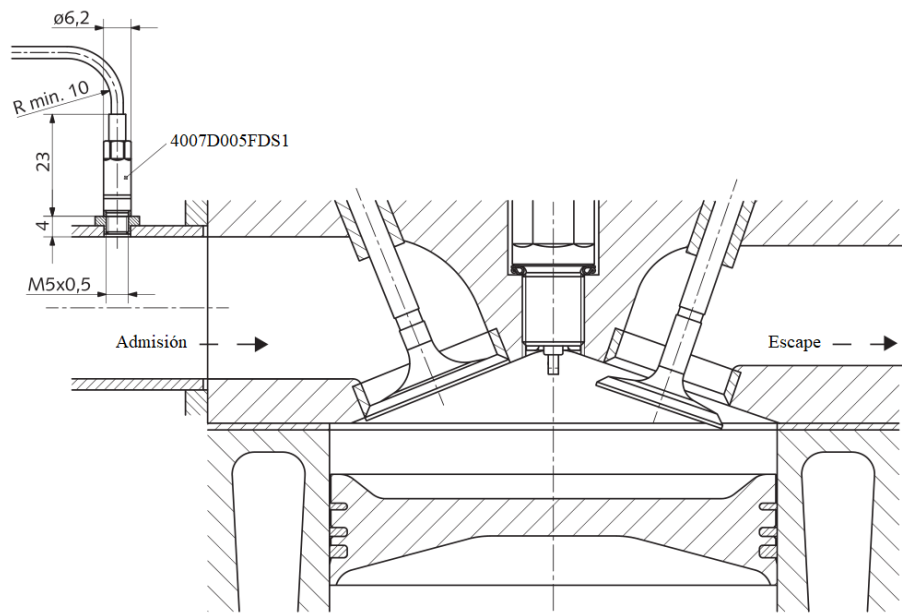


Figura 4.3: Instalación Sensor 4007D005FDS1

Adaptada de Catálogo KISTLER- *High temperature pressure sensor Type 4007D...DS*

Detalles Sensor adquirido: 4007D005FDS1-2,0 y sus accesorios

El modelo de sensor adquirido es 4007D...DS, sin embargo la sigla se completa con las letras y números que señalan las características específicas del sensor. La denominación completa del sensor adquirido es: 4007D005FDS1-2,0, cuyas especificaciones principales de operación se encuentran detalladas en la Tabla 4.3 (para más detalles se recomienda consultar el segundo catálogo del Anexo A).

Tabla 4.3: Condiciones de Operación Sensor 4007D005FDS1

Rango de medida	0 ... 5	bar
Sobrecarga	15	bar
Rango de temperatura de funcionamiento	25 ... 180	°C
Conector aislante	M5x0,5	-

4007D □ □ DS □ - □

- 005 : Este número indica el rango de presión en que trabaja el sensor, en este caso el sensor tiene un rango de 0...5 bar, como se indica en la Tabla 4.3.
- F : Esta letra indica el tipo de rosca que tiene el sensor, en este caso se tiene un hilo fino M5x0.5.
- 1 : Este número indica el tipo de cable que tiene el sensor, en este caso es un cable de PTFE (Politetrafluoroetileno), más conocido bajo el nombre de la marca TEFLON.
- 2,0 : Este número indica el largo del cable, para el caso de este sensor es de 2 [m].

Tabla 4.4: Descripción Sensor 4007D...DS y sus accesorios

Código	Producto	Descripción
18033379	4007D005FDS1-2,0	Sensor de Presión Piezorresistivo
18000082	1145A1	Sellos de Cobre
18031848	1300B12	Llave de montaje para sensor 4007D...DS
18000249	1300A17	Llave de Torque 1...6 [Nm]
18027344	4785A41-10,0	Cable Extensión sensor 4007D...DS

A continuación se describe el propósito de los accesorios del sensor piezorresistivo 4007D...DS:

- 1145A1: Sellos de cobre para el montaje del sensor 4007D...DS en el motor.
- 1300B12: Llave de montaje, se utiliza para montar de manera precisa el sensor de presión 4007D...DS, en el agujero de montaje.
- 1300A17: Llave de Torque, se utiliza para montar el sensor 4007D...DS mediante la Llave 1300B12.
- 1631C10: Es un cable de extensión que permite la conexión del sensor 4007D...DS, al amplificador de señal, mediante conexión *Fischer*.

4.1.3. Sistema SCP Slim y Amplificadores de Señal

Tanto para el sensor piezoeléctrico, como para el sensor piezorresistivo, es necesaria la incorporación de una Plataforma de Acondicionamiento de Señal (SCP) o SCP *Slim* de KISTLER. Este sistema ofrece una plataforma fácil de usar, un nuevo *software* y funciones mejoradas para interfaces de fácil integración. Para una fácil integración, ambos modelos cuentan con un interfaz *Ethernet*; ésta se encuentra en la parte frontal o en la parte trasera según sea el modelo, que en este caso es el modelo SCP Slim 2852B12.

Gracias a su interfaz CAN-Bus estandarizada, el sistema admite importantes funciones de monitoreo en el banco de pruebas. Ejemplos son la presión máxima del cilindro en el caso de sensores piezoeléctricos (6052C) o la temperatura en el caso de los sensores piezorresistivos (4007D005FDS1).

Para el caso del sensor piezoeléctrico

6052C, se cuenta con un amplificador de carga Tipo 5064D, utilizado para amplificar específicamente la señal del sensor 6052C en su versión con tecnología *PiezoSmart* o sin ella. El tipo 5064D permite que los tiempos y ciclos de operación se registren automáticamente. Otra característica relevante es la capacidad de clasificar la carga cíclica de los sensores de presión en seis zonas de presión diferentes, en caso de contar con más sensores (hasta seis). Esto permite una evaluación individual del perfil de presión específico para cada sensor y por lo tanto entrega un parámetro importante para el monitoreo del motor ensayado.

Del mismo modo, el sensor piezorresistivo 4007D005FDS1 cuenta con un amplificador de señal, el modelo 4665B1. A continuación se procede a describir cada elemento de amplificación y posterior acondicionamiento de la señal.



Figura 4.4: SCP Slim 2852B12 con Amplificadores

Adaptada de Kistler - SCP Slim for engine indication

SCP Slim

La Plataforma de Acondicionamiento de Señal (SCP) *Slim* 2852B12 es un sistema modular para el acondicionamiento de una amplia gama de diferentes señales de medición, tales como señales de los sensores de presión piezoeléctricos y piezoresistivos. Está específicamente diseñado para mediciones de la presión de combustión en bancos de pruebas de motores y en aplicaciones vehiculares.

El SCP *Slim*, es un modelo delgado y consta de una unidad base, con ranuras para la incorporación de hasta dos módulos específicos de medición, por lo tanto puede acondicionar hasta dos tipos distintos de sensores. Para mediciones de la presión de combustión y análisis de combustión en los motores, existen una amplia gama de módulos de medición diferentes e intercambiables. La fiabilidad del procedimientos de ensayo y calidad de los datos de medición, se mejora significativamente puesto que mediante la incorporación de este sistema se realizan simultáneamente las configuraciones de los sensores de presión y de los instrumentos auxiliares.

Las características principales del sistema SCP *Slim* son las siguientes:

- Diseño modular para máxima flexibilidad (hasta 16 canales).
- Interfaz *Ethernet* o RS-232.
- Controlado mediante computador personal PC.
- Mejora de la interfaz gráfica de usuario (GUI).
 - Tabla de resumen con toda la información relevante de los amplificadores y sensores.
 - Parámetros seleccionables (edición y copia) en la tabla.
 - A través de *Ethernet*, cuenta con facilidad de exportación de la configuración de amplificadores y de los datos de la Hoja de Datos del Transductor Electrónico (TEDS).
 - Histograma de la distribución P_{max} , incluyendo ciclos de trabajo.
- Señal compatible con todos los analizadores de combustión.
- Identificación del sensor *PiezoSmart* para una mayor seguridad del proceso y la mejora de la calidad de los datos.

Para mayor detalles respecto a las características del sistema SCP *Slim*, consultar catálogo KISTLER [29].

Amplificador 5064D11

El módulo amplificador 5064D11, está diseñado para amplificar la señal proveniente de sensores piezoeléctricos. En el caso específico de este proyecto, se utilizará para la amplificación de la señal proveniente del sensor 6052C, que registra las variaciones de presión al interior de la cámara de combustión.

Existen tres modelos de este tipo de módulos de amplificación (5064D11, 5064D12 y 5064D13), todos ellos son amplificadores de dos canales controlados por un microprocesador con acondicionamiento de la señal analógica. Sin embargo, los tipos 5064D12 y 5064D13 incluyen la función para la identificación del sensor en forma automática (*PiezoSmart*), por lo tanto en el caso particular del amplificador adquirido, que no cuenta con esa función, se debe configurar en forma manual el sensor 6052C.

Este tipo de amplificador permite la grabación de horas de funcionamiento del sensor, además tiene la capacidad de determinar cuando un sensor de presión del cilindro está expuesto a condiciones extremas de funcionamiento. La información adicional, tal como horas de funcionamiento del sensor, los ciclos de presión y P_{max} se pueden calcular y se guardan automáticamente en los *chips* TEDS ubicados en el conector del sensor. Los valores de P_{max} registrados se clasifican en 6 intervalos de presión diferentes, (<100 bar, <150 bar, <200 bar, <250 bar, <300 bar y ≥ 300 bar) que dan una indicación clara del perfil de presión del sensor durante el ensayo.

Una característica adicional es la detección cíclica de los valores de P_{max} , cuya salida es una se-



Figura 4.5: Amplificador 5064D11

Adaptada de Kistler - SCP Slim for engine indication

ñal digital a través de la interfaz CAN del SCP *Slim* o como señal analógica mediante las salidas analógicas del propio amplificador.

Los detalles respecto al amplificador 5064D11 se encuentran ampliados en el catálogo KISTLER [30].

Amplificador 4665B1

El módulo amplificador 4665B1, está diseñado para amplificar la señal proveniente de sensores piezorresistivos. En el caso específico de este proyecto, se utilizará para la amplificación de la señal proveniente del sensor 4007D005FDS1, que registrará la presión en el ducto de los gases de escape.

Este módulo amplificador es controlado por un microprocesador y consta de 2 canales para el acondicionamiento de las señales analógicas, provenientes de la medición de los sensores de presión piezorresistivos. Al igual que el módulo Amplificador 5064D11, es compatible con el equipo SCP *Slim* 2852B12.

Este tipo de amplificador permite una identificación y conexión automática de los sensores con tecnología *PiezoSmart* y entrega una salida de señal analógica para la presión y la temperatura de la zona medida.

Por otro lado, existe la posibilidad de que las señales de salida sean entregadas como una señal digital, mediante su salida tipo CAN. Cuen-

tan con asistencia digital para la compensación de temperatura, de modo que se asegure la máxima precisión en la medición.

El registro de las mediciones, recopiladas por el sensor conectado a este tipo de amplificador, se puede sincronizar con los registros realizados por el amplificador de tipo 5064D11, utilizado para la amplificación de la señal del sensor 6052C.

Los detalles respecto al amplificador 4665B1 se encuentran en el catálogo KISTLER [31].



Figura 4.6: Amplificador 4665B1

Adaptada de Kistler - SCP Slim for engine indication

4.1.4. Set Encoder Tipo 2614CK0

El conjunto *Encoder* para ángulo de cigüeñal de KISTLER, es un sistema de codificador óptico que genera señales tipo pulso, procesadas y entregadas por el sistema electrónico del equipo, para identificar el ángulo del cigüeñal en cada instante. Se utiliza para especificar la relación exacta entre la señal de presión y la posición del cigüeñal en la cual se produce. El sistema fue desarrollado especialmente para aplicaciones de motor en donde los codificadores están sometidos a grandes tensiones físicas, causadas por las condiciones de funcionamiento propias de los motores de combustión.

El *Encoder* debe ser capaz de soportar altas temperaturas, vibraciones, y las influencias electromagnéticas, estos factores se tuvieron en cuenta durante el desarrollo del *Encoder* modelo 2614CK0.

El núcleo del sistema codificador de ángulo del cigüeñal es el codificador óptico (2614C11), que está fijado en el extremo libre del cigüeñal del motor. Con el fin de mantener tanto el efecto térmico y el efecto de carga de la vibración en las partes electrónicas lo más bajo posible. El procesamiento de señales para el codificador óptico está situado en un componente separado (2614C21). Esta sección separada cuenta con un blindaje especial de los circuitos electrónicos, y los cables de conexión protegen contra las influencias electromagnéticas.

La estructura del *Encoder* consiste esencialmente en una placa con 720 ranuras, que se utilizan como marcas de los ángulos del cigüeñal que son escaneadas ópticamente. Este sistema se acopla al motor a través de una brida en el extremo libre del cigüeñal.

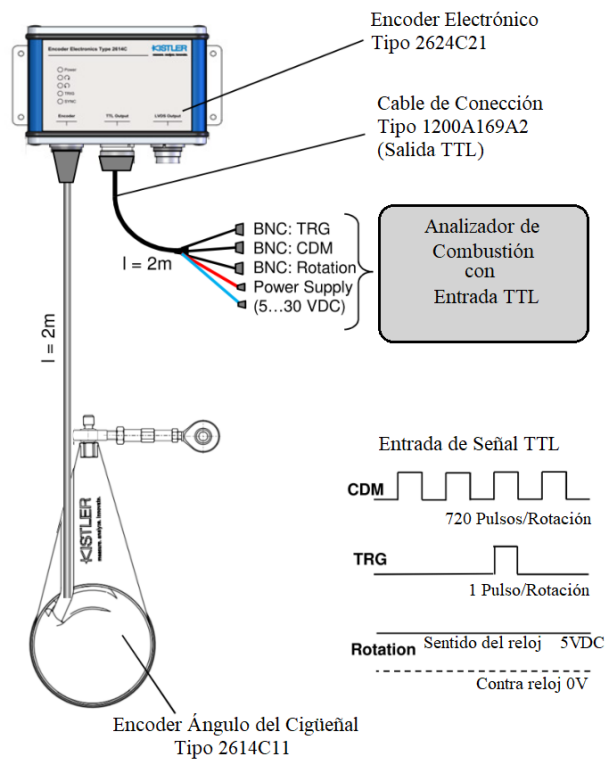


Figura 4.7: Set Encoder 2614CK0

Adaptada de Kistler - Instruction ManualCrank Angle

Encoder Set Type 2614CK ...

Detalles Equipos Electrónicos KISTLER

En la Tabla 4.5 se muestran el resto de los equipos KISTLER adquiridos para este proyecto, según su código y el nombre del producto. Al igual que en el caso de los sensores, una parte del nombre del producto indica ciertas características especiales, las cuales se detallan a continuación:

Tabla 4.5: Equipos electrónicos - KISTLER

Código	Producto	Descripción
18030696	2852B12	SCP <i>Slim</i>
18033791	5064D11	Amplificador para sensor 6052C
18003644	4665B1	Amplificador para sensor 4007D...DS
18030304	2614CK0	<i>Set Encoder</i>
	2614C11	<i>Encoder</i> óptico
	2614C21	<i>Encoder</i> digital

- 2852B □ : En el caso del sistema SCP *Slim*, el producto adquirido presenta el número 12, lo cual indica que es un chasis base de 2 puertos, con adaptador externo de corriente alterna.
- 5064D □ : En el caso de este amplificador, el producto adquirido presenta el número 11, lo cual indica un amplificador para sistema SCP *Slim*, sin reconocimiento automático del sensor mediante tecnología “PiezoSmart”.
- 4665B □ : En el caso de este amplificador, el producto adquirido presenta el número 1, lo cual indica un amplificador para sistema SCP *Slim*.
- 2614CK □ : En el caso del *Set Encoder*, el producto adquirido presenta el número 0, lo que indica que la conexión del *Encoder* se realiza mediante cable TTL y no con LVDS como es el caso de un *set* 2614CK1.

4.2. Sensores de Temperatura

Las termocuplas constituyen el medio más extendido en la industria, para la medición de la temperatura, puesto que mediante una precisión razonable, permiten abarcar un gran rango de temperaturas, normalmente entre -200 y + 1700 °C. Un termopar industrial está constituido por dos hilos o aleaciones distintas soldados por un extremo, introducidos en un tubo protector que cuenta

con aislantes interiores, y una cabeza de conexión donde se conectan los bornes adecuados a los extremos libres de los hilos, para permitir la conexión del cable a un instrumento de medida.

El funcionamiento básico del termopar consiste en producir una fuerza electromotriz, en el rango de los milivoltios, que es proporcional a la diferencia de temperaturas entre la llamada “junta caliente”, extremo de los hilos soldados que entran en contacto con el medio cuya temperatura se desea medir y la llamada “junta fría” o “junta de referencia”, zona en la que los cables de prolongación dejan de ser del metal o aleación de los hilos del termopar y van al instrumento de medida. De aquí se desprende la importancia de mantener constante la temperatura de la junta fría, o compensar su variación mediante el mismo instrumento de medición.

Para la medición de temperatura en el motor Mercedes-Benz OM366 LA, se utilizará un termopar tipo K (Figura 4.9), el cuál cuenta con un rango de aplicación de -270°C hasta 1.372°C . De acuerdo con la codificación de colores IEC 584-3, el conductor positivo (+) está indicado con color verde y el conductor negativo (-) con color blanco (Figura 4.8).


Codificación de Color IEC 584-3	Código IEC
	K

Figura 4.8: Código de Colores
Adaptada de Norma IEC 60446

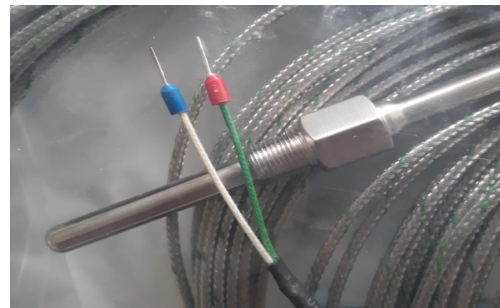


Figura 4.9: Termocupla tipo K

Para la conexión de las termocuplas se debe poner especial cuidado en que la polaridad de los cables de prolongación coincida con la indicada en los bornes de conexión de la cabeza, para lo cual el responsable de la conexión se asegurará mediante el código de colores, de la polaridad de los conductores. Del mismo modo se verificará la polaridad de los conductores en cada empalme (en caso de ser necesario). Con frecuencia los códigos de colores del cable de la termocupla y los cables que se utilizan como extensión, corresponden a normas distintas, por lo que se debe ser extremadamente cuidadoso con seleccionar la polaridad adecuada.

La señal de salida es analógica y se conecta directamente mediante los cables de cobre. Se debe utilizar un sistema de adquisición de datos con conector industrial tipo *Spring*.

4.3. Sistema de Adquisición de Datos

El análisis de la información recopilada por los instrumentos, requiere de equipos especiales. Dada la naturaleza de la conexión de los instrumentos y de la diferencia que existe entre las señales, se necesita un sistema que sea capaz de recopilar simultáneamente todas estas señales, procesarlas y entregarlas de manera sencilla en una computadora.

En este contexto, se habla de Adquisición de Datos (DAQ), que corresponde al proceso de medir con un computador, un fenómeno eléctrico o físico. Un sistema de adquisición de datos completo consiste en sensores, *hardware* de medidas DAQ y un computador con *software* programable.

En contraste con los sistemas tradicionales de medidas, los sistemas DAQ basados en un computador, aprovechan la potencia del procesamiento de información de estos, la productividad, la mejor visualización de la información y las capacidades de conectividad, proporcionando una solución de medidas más potente y flexible.



Figura 4.10: Sistema de Adquisición de Datos General
Adaptada de *National Instruments - ¿Qué es Adquisición de Datos?*

En la Figura 4.10 se presenta el esquema general de un sistema de adquisición de datos. En ella se distinguen los tres componentes principales, mencionados anteriormente, y que a continuación se describen en forma individual:

- **Sensores:** Convierten un fenómeno físico en una señal eléctrica capaz de ser medida. Dependiendo del tipo de sensor, su salida eléctrica puede ser un voltaje, una corriente, o alguna otra variable eléctrica que varíe con el tiempo.

Algunos sensores pueden requerir componentes adicionales, para producir correctamente una señal que permita ser leída con precisión y con toda seguridad por un dispositivo DAQ. En la Tabla 4.6 se presentan los sensores más comunes utilizados en la industria.

Tabla 4.6: Sensores Comunes en la Industria

Sensor	Fenómeno
Termopar, RTD, Termistor	Temperatura
Fotosensor	Luz
Micrófono	Sonido
Galga Extensiométrica, Transductor Piezoeléctrico	Fuerza y Presión
Potenciómetro, LVDT, Codificador Óptico	Posición y Desplazamiento
Electrodo pH	pH

Adaptada de *National Instruments - ¿Qué es un Sensor?*

- **Dispositivo DAQ:** El *hardware* DAQ actúa como la interfaz entre una computadora y señales externas. Funciona principalmente como un dispositivo que digitaliza señales analógicas entrantes para que la computadora pueda interpretarlas. Existen tres componentes clave en un dispositivo DAQ: el circuito de acondicionamiento de señales, el convertidor analógico-digital (ADC) y un BUS (o canal) de computadora. Muchos dispositivos DAQ permiten automatizar ciertos procesos, o recibir señales de otro tipo, por ejemplo los convertidores digitales-analógicos (DACs) envían señales analógicas, las líneas E/S digital reciben y envían señales digitales y los contadores/temporizadores cuentan y generan pulsos digitales.

 - **Acondicionamiento de Señales:** Las señales de los sensores o en general señales externas, pueden generar mucho ruido o ser demasiado peligrosas para medirse directamente. Por lo tanto, el circuito de acondicionamiento de señales manipula una señal, de tal forma que sea posible su entrada a un convertido analógico-digital, u otro componente. Este circuito puede incluir amplificación, atenuación, filtrado y aislamiento. Algunos dispositivos DAQ incluyen un acondicionamiento de señales integrado, diseñado para medir un tipo específico de sensor.
 - **Convertidor Analógico - Digital (ADC):** Las señales analógicas de los sensores deben ser convertidas en digitales antes de ser manipuladas por una computadora. Un ADC es un *chip* que entrega una representación digital de una señal analógica, en un instante de tiempo. En la práctica, las señales analógicas varían con el tiempo continuamente y un ADC debe realizar un muestreo de la señal, con una frecuencia predefinida. Estas muestras se transfieren a un computador personal (PC) a través de un BUS, donde la señal original es reconstruida a partir de las muestras, mediante un *software*.

- **BUS de Computador:** Los dispositivos DAQ se conectan a un computador (PC), a través de una ranura o puerto. El BUS del PC actúa de interfaz de comunicación entre el dispositivo DAQ y el PC para traspasar datos registrados e instrucciones para los instrumentos. Los equipos DAQ tienen conexión a un PC mediante los BUS más comunes, incluyendo USB, PCI, PCI Express y Ethernet. Los dispositivos DAQ más modernos pueden incluso estar disponibles con comunicación inalámbrica, mediante *Wi-Fi*. Cada uno de los tipos de BUS ofrece diferentes ventajas comparativas frente a los otros, dependiendo del tipo de aplicación.
- **Computador:** Un Computador Personal (PC) con *software* programable controla la operación del dispositivo DAQ y es utilizado para procesar, visualizar y almacenar datos de mediciones. Diferentes tipos de computadores son usados en diferentes tipos de aplicaciones. Un PC de escritorio se puede utilizar en un laboratorio por su poder de procesamiento, una *laptop* se puede utilizar por su portabilidad o un computador industrial se puede utilizar en una planta de producción por su robustez.

En un sistema DAQ, el *software* con el que cuenta el computador, tiene dos componentes principales, que se describen a continuación:

- ***Software* Controlador:** El *software* controlador entrega al *software* de aplicación la capacidad de interactuar con un equipo DAQ. Lleva comandos de *hardware* y programación a niveles de registro, facilitando la comunicación con el dispositivo DAQ. Normalmente, el *software* controlador muestra una interfaz de programación de aplicaciones, que es utilizada en un entorno de programación para construir el *software* de aplicación.
- ***Software* de Aplicación:** El *software* de aplicación simplifica la interacción entre el PC y el usuario. Permite adquirir, analizar y presentar los datos medidos.

Se puede generar en base a una aplicación desarrollada con funciones predefinidas o en un entorno de programación para construir aplicaciones, utilizando funciones personalizadas. El uso de aplicaciones personalizadas está asociado generalmente con la automatización de múltiples funciones en un dispositivo DAQ, con la generación de algoritmos de procesamiento de señales y con mostrar interfaces personalizadas para el usuario.

4.3.1. Selección Sistema de Adquisición de Datos

Del mismo modo que en la selección de los instrumentos de medida, la selección del sistema de adquisición de datos se desarrolla en base a la asesoría de un proveedor experto. Este proveedor es *National Instruments*, empresa Norteamericana dedicada al desarrollo y venta, tanto de *softwares* como *hardwares*, para la adquisición de datos y control de instrumentos.

En base a la naturaleza de la aplicación de este trabajo, se desarrolla un equipo capaz de registrar los datos provenientes de cada instrumento y procesarlos en conjunto. Mediante un sistema modular, se logra reunir la información de distintos tipos de señales (analógicas o digitales) y entregarla en forma simple a través de un *software*, en un computador convencional.

Para la selección de los distintos módulos de adquisición de datos, es necesario estudiar ciertos parámetros del instrumento de medida. A continuación se resumen los parámetros que fueron analizados para el desarrollo del sistema:

- ▶ Número de Canales: Este parámetro depende de la cantidad de señales que entrega el instrumento, y de la cantidad de instrumentos que se pretenden conectar en cada módulo.
- ▶ Rango de Voltaje: Para cada módulo, el rango de voltaje depende del voltaje de salida del instrumento a medir. Este dato se encuentra especificado por el fabricante y es vital para la compatibilidad del instrumento con el sistema DAQ.
- ▶ Tipo de Entrada: Se debe distinguir el tipo de conector que requiere cada instrumento. Adicionalmente, se debe especificar si se trata de una entrada analógica o una entrada digital.
- ▶ Velocidad de Muestreo: Está dada por las especificaciones del instrumento y se calcula con un factor de seguridad igual a 2. Esto implica que si el instrumento trabaja a 60 [Hz], el sistema DAQ debe estar diseñado para operar como mínimo a 120 [Hz].
- ▶ Resolución de la Señal: La resolución del equipo DAQ, corresponde a la mínima medida que es capaz de detectar. Se calcula en base a la mínima unidad del instrumento, convertida a medidas digitales, expresadas en *bits*. La relación de esta conversión se encuentra expresada en la Ecuación 4.1, facilitada por *National Instruments*.

$$\frac{\text{Rango}}{2^{\text{bits}-1}} = \text{Resolución del Instrumento} \quad (4.1)$$

4.4. Sistema de Adquisición de Datos *National Instruments*

Para poder recopilar la información proveniente de los instrumentos de medición, y a su vez poder procesarla, es necesaria la incorporación de un sistema de adquisición de datos que sea capaz de trabajar con todos los instrumentos señalados en esta sección, por lo tanto se debe procurar asesorarse adecuadamente por un proveedor con una amplia experiencia en esta área.

Debido a que se trabaja con señales de distinta naturaleza y se pretende analizarlas en conjunto para la caracterización completa de la combustión del motor, se diseña un equipo hecho a medida mediante la asesoría experta de la empresa norteamericana *National Instruments*, la cual mediante uno de sus ingenieros certificado en desarrollo de equipos modulares de medición y en el desarrollo de *software* LABVIEW para su análisis, proporciona la solución óptima para los requerimientos particulares del laboratorio de Termofluidos.

4.4.1. Señal sistema SCP

En primer lugar el sistema de adquisición de datos debe ser capaz de recibir la señal proveniente de los sensores de presión. Sin embargo, tanto el sensor 6052C como el sensor 4007D envían la señal a sus respectivos amplificadores 5064D11 y 4665B1, los cuales a su vez son conectados al sistema SCP para el acondicionamiento de la señal. Por lo tanto el sistema de adquisición de datos debe recibir la señal digital proveniente de este conjunto. El puerto de salida “RS-232C” tiene un puerto D-sub 9 Hembra, por lo tanto se debe considerar un módulo compatible con esta conexión. No obstante lo más importante es la compatibilidad en cuanto al voltaje de la señal, ya que la conexión se puede lograr mediante adaptadores.

El proveedor *National Instruments* recomienda para esta aplicación el módulo NI 9401 para lectura de señales digitales con un voltaje de entrada 5 V/TTL y conexión D-sub, sin embargo, como no es un equipo específico de *National Instruments*, no se cuenta con una conexión idéntica. Se deberá utilizar un adaptador que permita conectar la interfaz “RS-232C” en la salida del sistema SCP a la entrada D-sub de 25 pines TTL del módulo NI 9401. Para esto se necesita un cable comercial D-sub de 9 pines (macho)/D-sub de 25 pines (Hembra) y un adaptador comercial RS-232 a TTL, al momento del montaje de los equipos. Alternativamente, se puede utilizar el accesorio NI 9924 y cables BNC, para crear una conexión hecha a la medida para este módulo.

NI 9401

El módulo NI 9401 [33] es un módulo digital compatible con cualquier cDAQ de la marca *National Instruments*. Tiene capacidad para trabajar con hasta 8 canales agrupados en dos puertos, que se pueden configurar de manera independiente para hacer funcionar como *Input* o como *output*. Se puede utilizar este módulo para implementar sistemas digitales personalizados como contadores, protocolos de comunicación digital, generador de pulsos, entre otras aplicaciones. Por lo tanto sus prestaciones dependen de la configuración y programación del módulo mediante el *software* LabVIEW.

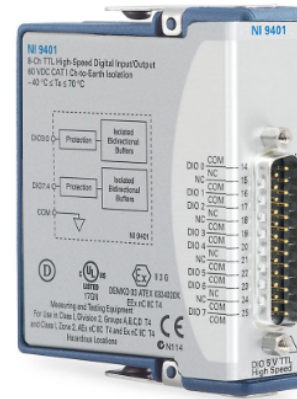


Figura 4.11: Módulo NI 9401

Adaptada de Catálogo NI 9401

Tabla 4.7: Datos Catálogo NI 9401

Niveles de lógica digital					
Entrada		Salida Alta, V_{OH} ($5.25 V_{max}$)		Salida Baja, V_{OL}	
Voltaje	$5.25 V_{max}$	Sourcing $100 \mu A$	$4.7 V_{min}$	Sinking $100 \mu A$	$0.1 V_{max}$
Alto, V_{IH}	$2 V_{min}$	Sourcing $2 mA$	$4.3 V_{min}$	Sinking $2 mA$	$0.4 V_{max}$
Bajo, V_{IL}	$0.8 V_{max}$				

4.4.2. Señal Encoder

La siguiente señal a analizar, corresponde a la señal digital proveniente del *Encoder*. La señal hacia el equipos de adquisición de datos se genera en el *Encoder* electrónico (2624C21) que ha recogido los datos del cigüeñal mediante el *Encoder* óptico (2614C11). La señal proveniente del *Encoder* 2614C21 se entrega mediante una conexión TTL con tres conectores BNC, por lo tanto en base a las especificaciones de voltaje de la señal y el resto de especificaciones, *National Instruments* recomienda la utilización del módulo NI 9215 con conexión BNC. El *Encoder* cuenta con el cable 1200A169A2 que incorpora los conectores BNC y conexión a su propia fuente de poder mediante conectores tipo “*banana*”.

NI 9215

El módulo NI 9215 [34] es un módulo compatible con cualquier cDAQ de la marca *National Instruments*. Tiene capacidad para trabajar con hasta 4 señales, que se pueden configurar de manera independiente. Para la medición de la señal proveniente del *Encoder* se utilizarán 3 canales, los cuales indican separadamente la señal TRG para determinar si se ha activado el instrumento, la señal que indica el sentido de la rotación del cigüeñal y la señal CDM que indica el ángulo en el cual se encuentra el cigüeñal. A diferencia del módulo NI 9401 para la adquisición de datos del sistema SCP, la entrada se realiza directamente sin necesidad de adaptadores, pues es del tipo BNC.

Su configuración y su control se realiza mediante la programación de los canales, utilizando el *software* LabVIEW .



Figura 4.12: Módulo NI 9215

Adaptada de Catálogo NI 9215

Tabla 4.8: Datos Catálogo NI 9215

Rangos de Entrada de Voltaje				
Voltaje de medición		Protección Sobre voltaje	Tiempo de Conversión	
Mínimo	+/- 10.2 V	+/-30 V	Sólo canal 0	4.4 micro s
Típico	+/- 10.4 V		Canal 0 y 1	6 micro s
Máximo	+/- 10.6 V		Canal 0, 1 y 2	8 micro s

4.4.3. Señal Termocuplas

En cuanto a la señal proveniente de las termocuplas, éstas serán procesadas en el sistema de adquisición de datos de acuerdo con las recomendaciones de *National Instruments*, mediante el módulo NI 9213, el cual está diseñado para la lectura de señales de temperatura y permite la conexión de los cables de las termocuplas directamente, mediante un conector *Spring* suministrado junto con el módulo.

Ni 9213

El NI 9213 [35] es un módulo compatible con el chasis cDAQ, utilizado para termocuplas de alta densidad. Diseñado para sistemas que requieren un análisis de una alta cantidad de canales en paralelo, permite la conexión simultánea de 16 termocuplas.

La incorporación del módulo al sistema de adquisición de datos, que incluye los datos de los módulos NI 9215 y NI 9401, se realiza a través de la configuración del sistema, mediante la programación en LabVIEW de un código que incorpora estos tres equipos.

Dado que la conexión al módulo NI 9213 se realiza directamente con cable desnudo, proveniente de las termocuplas, se incorpora un accesorio (NI 9940) para la protección del usuario y del resto de equipos que conforman el sistema de adquisición de datos.

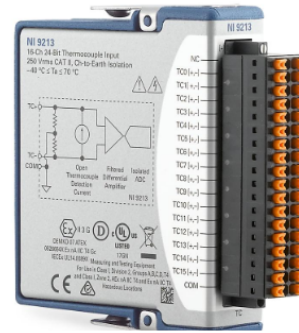


Figura 4.13: Módulo NI 9213

Adaptada de Catálogo NI 9213

Tabla 4.9: Datos Catálogo NI 9213

Datos Relevantes		
Voltaje de medición	Protección Sobre voltaje	Tiempo de Pre calentamiento
+/-78.125 mV	+/-30 V	15 Minutos

4.4.4. Incorporación de señales

La ventaja de la utilización de los sistemas modulares de *National Instruments* es el hecho de que permiten el análisis de distintos tipos de señales y reunir las todas mediante un sistema compacto de análisis. Su procesamiento posterior se ejecuta mediante el *software* LabVIEW, que debe ser desarrollado para poder tener acceso a la información entregada por los sensores de presión, *Encoder* y termocuplas. Sin embargo el desarrollo del código en LabVIEW escapa de los alcances de esta memoria.

El proceso de montaje de los módulos e instrumentos de medición si es parte de los objetivos de esta memoria y por lo tanto, es necesario incorporar el equipo que permita recopilar la información de todos los módulos *National Instruments* y enviarla a un computador.

La solución entregada por *National Instruments* es la incorporación de los módulos en un chasis Adquisidor de datos compacto, que entrega la información mediante una conexión USB 2.0 al computador. El módulo recomendado es el cDAQ-9174 (Chasis CompactDAQ USB, 4 Ranuras). Si bien sólo se utilizarán 3 ranuras, éste es el chasis de menor tamaño disponible, el hecho de contar con un espacio extra permite la proyección de futuras conexiones, ya sea para el análisis de otros sensores o inclusive probar la utilización de otro tipo de *Encoder*.

NI cDAQ-9174

El Equipo NI cDAQ-9174 [36] es un chasis compacto con cuatro puertos y conexión USB, diseñado para sistemas pequeños y portátiles, al incorporar los módulos E/S (Entrada/Salida) de la Serie C. Este chasis destaca por la sencillez de sus conexiones, en especial la modalidad “*plug-and-play*” del USB.

Este tipo de chasis permite controlar la temporización, la sincronización y la transferencia de datos entre los módulos E/S de la Serie C y un servidor externo. Se puede usar este chasis con una combinación de módulos E/S de la Serie C, para poder realizar diversas medidas de E/S analógica, E/S digital y operaciones de tipo contador/temporizador. El cDAQ-9174 también tiene cuatro contadores/temporizadores de uso general de 32 bits. Con varios motores de temporización, puede ejecutar siete operaciones simultáneamente, temporizadas por *hardware* con tres frecuencias independientes para entrada analógica.



Figura 4.14: Chasis NI cDAQ-9174

Adaptada de Catálogo NI cDAQ-9174

Tabla 4.10: Datos Catálogo NI cDAQ-9174

Requerimientos de Alimentación		
Rango Voltaje de Entrada	Potencia máxima de entrada	Consumo de USB (4.10 a 5.25 V)
9 a 30 V	15 W	500 mA
Condiciones Ambientales		
Temperatura de Operación	Humedad de Operación	Altitud Máxima
-20 a 55 °C	10 a 90 %	5000 [m]
Interfaz Bus		
Especificación USB	Flujos de datos de alto rendimiento	Tipos de flujos de datos disponibles
USB 2.0 Hi-Speed (480 Mbps)	7	Análogo, Digital, Temporizadores, Contadores.

Para facilitar el montaje de los equipos, a continuación se muestra un resumen de los equipos *National Instruments*, junto con los accesorios específicos para cada uno (Figura 4.15).

El montaje de los equipos se describe en el capítulo 5, posterior a la descripción del proceso de montaje de los instrumentos de medición. Adicionalmente se describe la configuración y prueba de los sistemas.









Equipo	Imagen Referencial	Accesorios	
Módulo NI 9401		 Cable DB9 Macho/DB25 Hembra. Conexión RS-232C.	 NI 9924 Conector a DB25.
Módulo NI 9215 BNC		 Conectores BNC. Conectores "banana".	
Módulo NI 9213 Spring		 NI 9940 - Carcasa para Terminal <i>Spring</i> .	
NI c-DAQ 9174			

Figura 4.15: Componentes Sistema de Adquisición de Datos
Adaptada de Catálogos *National Instruments* - NI 9401, NI 9215, NI 9213, NI cDAQ 9174

Capítulo 5

Montaje y Prueba de Equipos e Instrumentos

Para lograr el montaje adecuado del sensor, se debe en primer lugar lograr un montaje seguro de la camisa. Para ello se procede según las especificaciones y recomendaciones del fabricante, KISTLER, el cual entrega las tolerancias necesarias para que el sensor se desempeñe en óptimas condiciones, por lo tanto para cualquier duda adicional acerca del montaje del sensor o de la camisa, se recomienda encarecidamente revisar la documentación dispuesta por Kistler [26] [27].

5.1. Montaje Camisa 6525ASP

Para el mecanizado y posterior montaje de la camisa, se debe contar con los siguientes elementos:

- Broca (comercial) de 6,25 [mm], específica para realizar agujero roscado M7x0,75.
- Machos de roscar M7x0,75.
- Broca y Escariador para mecanizar agujero $\phi 10H7$.
- Llave de torque para aplicar 4...7 [Nm] en tuerca SW12.

5.1.1. Agujero para montaje de Camisa 6525ASP

El proceso de manufactura de la culata para montar la camisa del sensor, se debe realizar en un taller metalmecánica especializado y con la capacidad tecnológica de realizar los procesos de manufactura que se detallan a continuación. Es importante que todos los procesos se realicen con la culata en la misma posición, en todo momento y sin desmontar la pieza, de modo que no se pierda la concentricidad del agujero. Ver plano de Instalación (100.100.001) en el Anexo M.

Proceso de mecanizado:

1. Fresar el área en la que el taladro ingresa al material, esto es para evitar que la broca guía se deslice.
2. Verifique el área por la cual saldrá la broca de la pieza. Si este plano no está en ángulo recto al eje de la broca, y para evitar daños a medida que la broca sale del material, colocar un material de refuerzo y no perforar directamente la pieza.
3. Considerar la perforación de un agujero de mayor diámetro (20 [mm]) para la instalación de la pieza de soporte (100.100.030, Anexo L).
4. Perforar, utilizando una broca de diámetro 6.25 [mm] para generar rosca M7x0.75. Posteriormente generar el agujero de 10 [mm] de diámetro para el cuerpo de la camisa, mediante un escariador. Finalmente perforar el agujero de 20 [mm] de diámetro.
5. Generar la superficie de sellado, donde será alojado el asiento de la camisa.
6. Remover rebabas y viruta del agujero.
7. Remover cualquier material perforado que se hubiera utilizado como soporte a la salida de la broca.
8. Desbarbar desde la zona de la cámara de combustión.
9. Mecanizar la rosca M7x0.75 con machos para roscar.
10. Mecanizar el soporte para la camisa, mediante las especificaciones del plano 100.100.030 (Anexo L).

11. Insertar el soporte en el agujero mecanizado en la culata y soldar según las especificaciones del plano 100.100.001 (Anexo M).
12. Fresar la zona donde se ha soldado el soporte y dejar una superficie plana.

5.1.2. Instalación Camisa 6525ASP

Posterior al mecanizado de la culata, se procede a la instalación de la camisa 6525ASP (Anexo K), siguiendo las especificaciones del plano 100.100.001 (Anexo M). Los pasos a seguir se describen a continuación:

1. Inserte el O-Ring en la ranura (zona de la tuerca).
2. Limpiar superficie de sellado (asiento de la camisa) y limpiar la rosca. La limpieza de estas zonas deben ser realizadas en la culata y en la camisa, con compuesto LOCTITE 7063.
3. Aplicar LOCTITE 290 en la rosca de la camisa y LOCTITE 640 en las zonas cilíndricas de sello.
4. Montar la camisa y aplicar un torque de entre 4...7 [Nm] con llave SW 12.
5. Permitir el curado de los compuestos LOCTITE según especificaciones del fabricante. Utilizar el caso más desfavorable y esperar por lo menos 6 [hrs] de curado.
6. Mecanizar la culata en la zona de combustión, para dejar la camisa a ras con esta superficie.

En la Figura 5.1 se muestra la simulación de la instalación de la camisa 6525ASP, mediante *software* Inventor Autodesk. El modelo 3D es la base para la elaboración del plano 100.100.001 (Anexo M). En la Figura 5.2, se muestra el mismo modelo con un corte transversal en la sección media del cilindro 6.

El mecanizado de la culata y la instalación de la camisa se describen de acuerdo a las especificaciones de KISTLER y a la evaluación realizada por R. Mena Ingenieros – División Manufactura de Precisión (Anexo N).

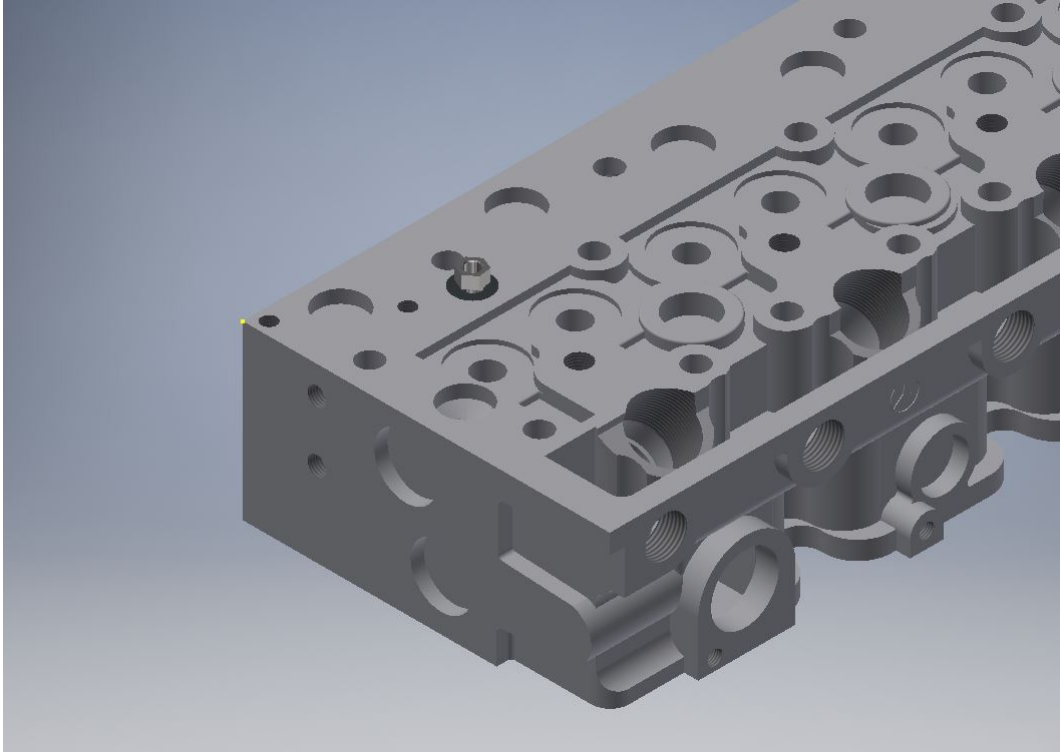


Figura 5.1: Vista Isométrica: Instalación Camisa 6525ASP

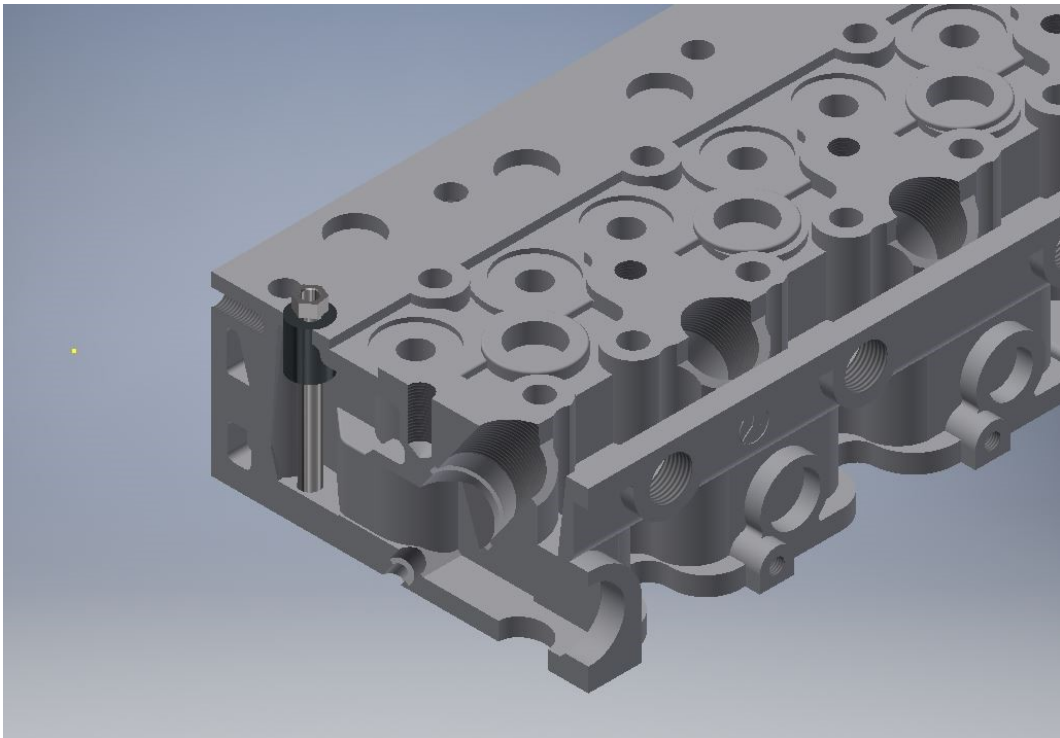


Figura 5.2: Vista en Corte: Instalación Camisa 6525ASP

5.2. Montaje Sensor 6052C

La precisión de una medición y la calidad de los datos dependen en gran medida de la instalación cuidadosa del sensor de presión. El agujero del sensor debe ser mecanizado con las tolerancias especificadas, sin embargo, debido a que se instalará con la camisa 6525ASP, no es un tema de cuidado pues la camisa está mecanizada bajo el estándar de calidad de KISTLER. Por otra parte el torque de apriete especificado para el sensor debe respetarse, esto se logra utilizando las herramientas suministradas por el fabricante y empleando las técnicas que especifican sus manuales de usuario.

Para proceder con el montaje del Sensor 6052C se toma el conjunto 6052C39U20, con código 18005361. Esta caja contiene el Sensor, su cable piezoeléctrico con conector M4 y su conector M4 a BNC, como lo señala la Figura 5.3.



Figura 5.3: Conjunto 6052C39U20: Sensor, Cable M4 y Conector BNC.

Para realizar el montaje se necesitan las siguiente herramientas, específicas para esta aplicación, de acuerdo con el fabricante, KISTLER:

- 1300A9 Llave de montaje para sensor SW 5,5 - SW 8. Figura 5.4
- 1300A17 Llave de torque para montaje de sensor (Figura 5.5)

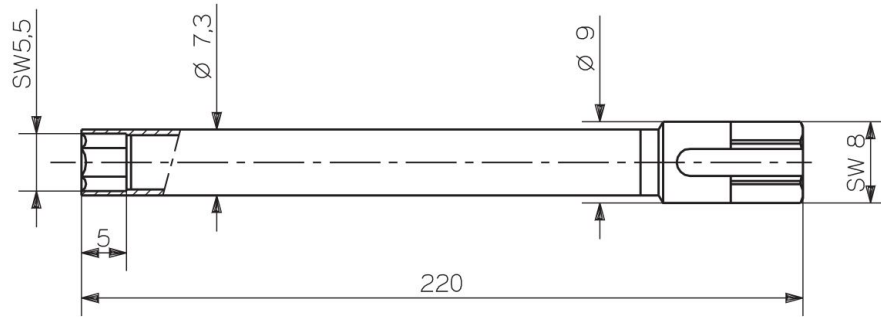


Figura 5.4: Llave de Montaje SW 5,5 Tipo 1300A9
Adaptada de Catálogo KISTLER - *High-Temperature Pressure Sensor Type 6052C*

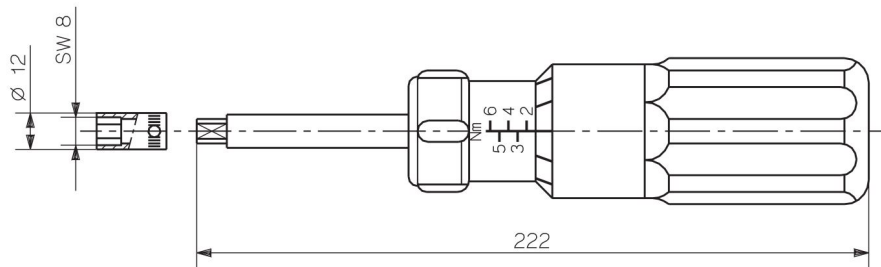


Figura 5.5: Llave de Torque 1..6 [Nm] Tipo 1300A17
Adaptada de Catálogo KISTLER - *High-Temperature Pressure Sensor Type 6052C*

Finalmente, es necesario contar con los siguiente elementos, los cuales aseguran un montaje seguro, permitiendo a su vez alargar la vida útil de los instrumentos:

- Grasa para la rosca M5 del Sensor: Se recomienda grasa especial KISTLER tipo 1063 o similares.
- Limpiador de componentes electrónicos: Se recomienda Cleaner KISTLER tipo 1003 o similares.
- Aire presurizado: Se recomienda DUSTOFF 67 SUPER o similar.



(a) Grasa KISTLER 1063



(b) Cleaner KISTLER 1003



(c) DUSTOFF 67 SUPER

Figura 5.6: Elementos Complementarios

Adaptado de KISTLER GROUP - Quick Start Video: Cylinder Pressure Sensor, Type 6052

5.2.1. Puntos de comprobación antes de la instalación

1. **Comprobar cable piezoeléctrico:** Si el cable del sensor se encuentra suelto, apriételo para asegurar su adecuado desempeño.
2. **Revisar daños en el cable piezoeléctrico:** Revise con cuidado el cable piezoeléctrico en toda su longitud, en busca de daños en su estructura, y si es necesario reemplácese completamente si cualquier daño mecánico es evidente. En caso de ser pertinente, revise la resistencia de aislamiento del sensor y del cable piezoeléctrico: debe comprobarse mediante la conexión de un *tester* de aislamiento en el extremo del cable piezoeléctrico. El requisito mínimo a temperatura ambiente es de $10E13 [\Omega]$.
3. **Agujero de Montaje:** Comprobar la condición del agujero con ayuda de un Boroscopio. El agujero debe encontrarse completamente limpio para la instalación del sensor (Figura 5.7). En caso de ser necesario, aplicar un diluyente para limpiar esta zona y dejarla libre de grasa y suciedad.

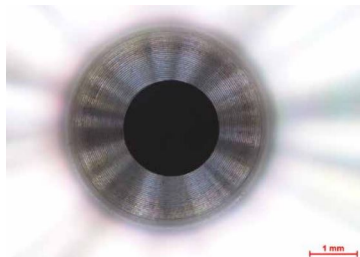


Figura 5.7: Condición óptima de la superficie para montaje de Sensor 6052C

Adaptado de Kistler Group.(2018). *Instruction Manual Uncooled piezoelectric pressure sensors*

5.2.2. Montaje de Sensor 6052C

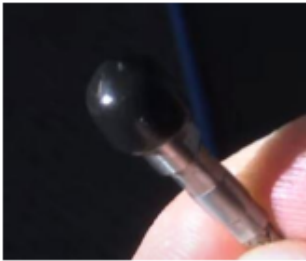



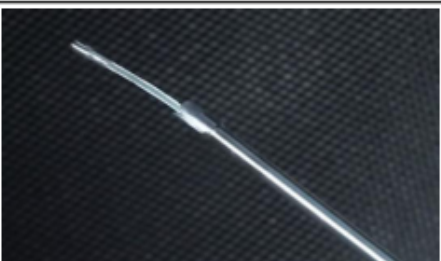





<p>Tomar el cable piezoeléctrico y quitar el protector de goma del conector M4.</p>		
<p>Tomar la Llave de montaje 1300A9 e introducir el conector M4 en la llave, desde SW 5,5 hacia SW 8.</p>		
<p>Pasar completamente el cable a través de la llave de montaje hasta conectar el sensor 6052C en la cabeza SW 5,5.</p>		
<p>Colocar grasa en la rosca M5 del sensor. Insertar el sensor mediante la llave de montaje y apretar manualmente.</p>		
<p>Fijar la llave de torque 1300A17 en 1,5 [Nm] y dar el torque a la llave de montaje mediante su tuerca SW 8.</p>		

Figura 5.8: Montaje Sensor 6052C

Adaptado de KISTLER GROUP - Quick Start Video: Cylinder Pressure Sensor, Type 6052

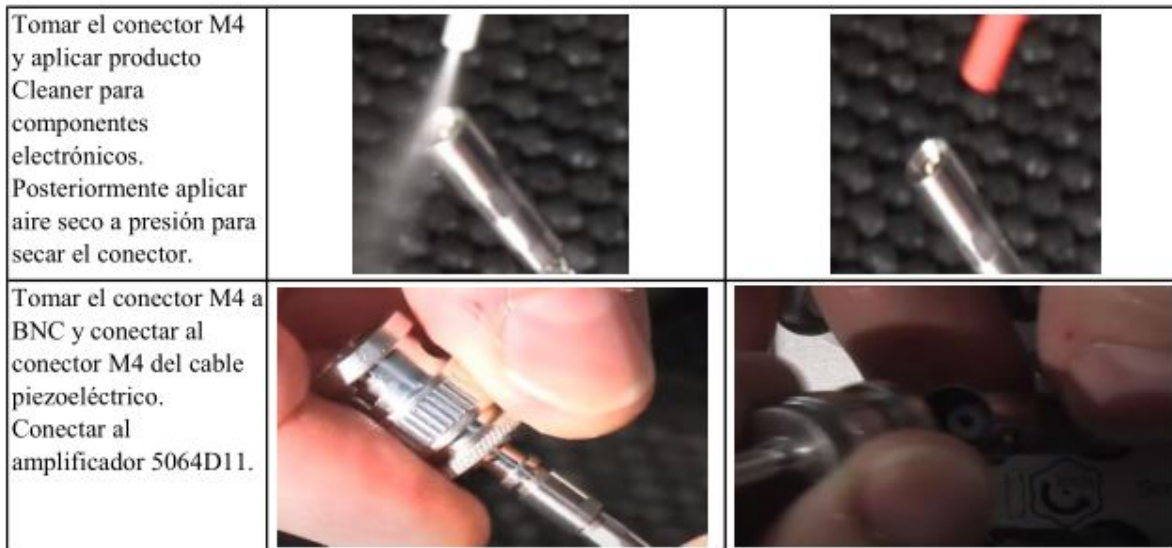


Figura 5.9: Montaje Sensor 6052C - Continuación

Adaptado de KISTLER GROUP - Quick Start Video: Cylinder Pressure Sensor, Type 6052

5.2.3. Desmontaje y mantenimiento

Antes de remover el sensor de la camisa se debe apagar el motor y dejar que se enfríe la culata.

Desmontar en orden inverso a la instalación:

- Desconecte el Cable piezoeléctrico del amplificador o cable de extensión si es el caso.
- Inserte el cable en la llave de montaje 1300A9 y monte cuidadosamente el sensor en la cabeza hexagonal SW 5,5 de la llave de montaje.
- Desatornille el sensor de el agujero cuidadosamente y retire.
- Para mantener la estanqueidad de la culata y poder operar el motor con normalidad, sustituir el sensor por un sensor falso (*Dummy Sensor*, Anexo Ñ).



No tocar o golpear la superficie frontal del sensor con metales o algún otro tipo de objeto. Esto con el fin de proteger la membrana del sensor y que se desempeñe de manera óptima.

5.3. Mecanizado de Agujero para montaje de Sensor 4007D005FDS1

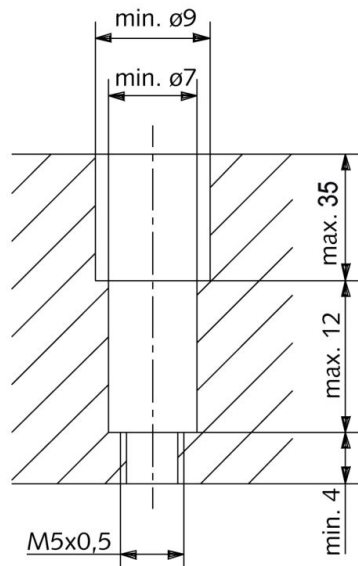
Este tipo de sensor piezorresistivo puede ser montado con facilidad en un simple agujero roscado. Todo el largo de la rosca del sensor debe quedar insertada en el agujero, de modo que el sensor quede totalmente empotrado en el sistema a medir, puesto que se pretende medir fluidos en un régimen altamente dinámico.

Al momento de mecanizar el agujero de montaje, asegúrese de que el hilo cumple con la especificación del sensor, entregada por el fabricante. El asiento para el sello debe quedar completamente plano.

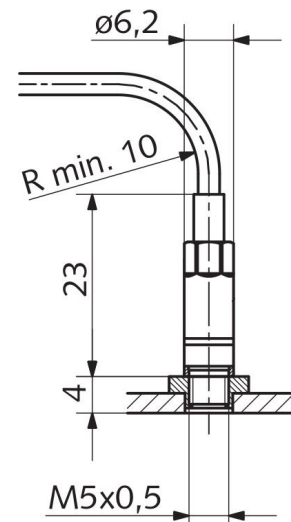
Todas las herramientas que se utilicen al mecanizar el agujero: broca, escariador y macho de roscar, deben ser utilizados cuidadosamente con la pieza en la misma posición.

En el caso de los sensores piezorresistivos de alta presión, las tolerancias en el agujero de montaje son críticas. Sin embargo en el caso de la aplicación de este proyecto, el sensor trabaja en un rango de 0...5 [bar], por lo tanto no se precisa de métodos demasiado sofisticados y costosos para lograr una instalación adecuada. Se recomienda usar por lo tanto una tolerancia media (H8) para el agujero.

Para más detalles de mecanizado y montaje, consultar el manual KISTLER [28].



(a) Especificaciones Agujero de Montaje



(b) Esquema de Instalación de Sensor

Figura 5.10: Indicaciones para Montaje Sensor 4007D005FDS1
Adaptada de Catálogo KISTLER- *High temperature pressure sensor Type 4007D...DS*

5.4. Montaje Sensor 4007D005FDS1

De igual manera que con el sensor 6052C, la precisión de las mediciones y la calidad de los datos dependen en gran medida de la instalación cuidadosa del sensor de presión piezorresistivo, del mismo modo, depende de un mecanizado correcto del agujero de montaje.

Dado que el agujero del sensor debe ser mecanizado con las tolerancias especificadas, se debe procurar que la instalación del sensor cumpla de igual manera con las técnicas de instalación, con los elementos de limpieza correctos y con el torque de apriete especificado por KISTLER para la instalación de un sensor piezorresistivo 4007.

Para comenzar con el montaje se toma el conjunto 4007D005FDS1-2,0, con código 18033379. Éste corresponde al sensor M5x0,5 con su cable (2 [m]) y conector *Fischer* 5 pol. Macho, señalado en la Figura 5.11.



Figura 5.11: Sensor 4007D005FDS1-2,0

Para realizar el montaje se necesitan las siguiente herramientas, específicas para esta aplicación, de acuerdo con el fabricante, KISTLER:

- 1300B12: Llave de montaje para sensor SW 5,5 - SW 8. Figura 5.12
- 1300A17: Llave de torque para montaje de sensor. Figura 5.5.
- 1145A1: Sellos de cobre. Figura 5.13

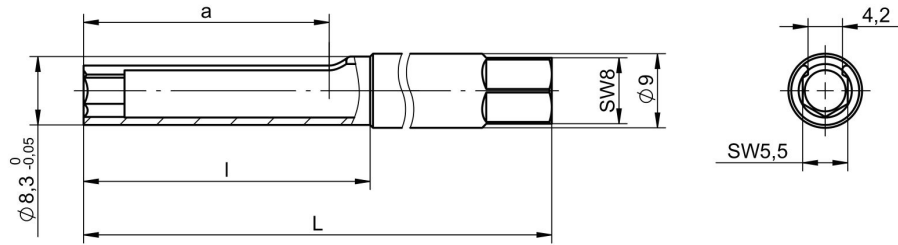


Figura 5.12: Llave de Montaje SW 5,5 Tipo 1300B12
 Adaptada de Catálogo KISTLER- *High temperature pressure sensor Type 4007D...DS*



Figura 5.13: Sellos de cobre 6,2x5x1,3
 Adaptada de TOOLHUB - Sets Arandelas de Cobre

Finalmente, es necesario contar con los siguiente elementos, los cuales aseguran un montaje seguro, permitiendo a su vez alargar la vida útil de los instrumentos:

- Grasa para la rosca M5 del Sensor: Se recomienda grasa especial KISTLER tipo 1063 o similares.
- Limpiador de componentes electrónicos: Se recomienda Cleaner KISTLER tipo 1003 o similares.
- Aire presurizado: Se recomienda DUSTOFF 67 SUPER o similar.

5.4.1. Puntos de comprobación antes de la instalación

1. **Cable piezorresistivo:** Revise con cuidado el cable piezorresistivo en toda su longitud, en busca de daños en su estructura, de ser necesario reemplácese completamente ante cualquier daño mecánico evidente.

2. **Anillo de sello:** El anillo de cobre (Tipo 1145A1) debe ser instalado en el asiento del sensor (Figura 5.14). Si el anillo se encuentra dañado debe ser reemplazado inmediatamente.
3. **Agujero de montaje:** Compruebe las dimensiones, acabado superficial y que el mecanizado se haya realizado bajo las tolerancias descritas en la sección 5.3. Limpiar y secar previo a la instalación.

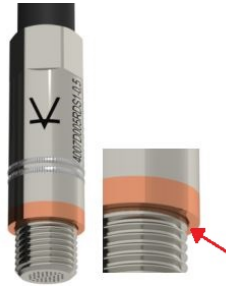


Figura 5.14: Sensor 4007D005FDS1 - Asiento para Sello de Cobre
Adaptada de Kistler Group. (2018). *Instruction Manual Piezoresistive pressure sensors Types 4007...*

5.4.2. Montaje Sensor 4007D005FDS1

<p>Introducir el Sensor a través de la ranura de la llave de montaje (1300B12), procurando no aplastar el cable. Aplicar grasa en la rosca M5 (al igual que en montaje de sensor 6052C, Figura 5.8). Introducir en agujero de montaje y apretar manualmente hasta que deje de haber juego, nunca forzar. EN APLICACIONES DE ALTA TEMPERATURA, COMO EL ESCAPE DE UN MOTOR, LA GRASA PARA LA ROSCA DEBE SER RESISTENTE A ALTAS TEMPERATURAS, SE PUEDE UTILIZAR METAFLUX 70-81.</p>	
<p>Posteriormente se debe apretar utilizando la llave de torque 1300A17 (Figura 5.5), fijando un torque entre 1,5...2,5 [Nm]. Finalmente, se conecta el sensor directamente mediante su conector Fischer al amplificador 4665B1</p>	

Figura 5.15: Montaje Sensor 4007D005FDS1
Adaptada de Kistler Group. (2018). *Instruction Manual Piezoresistive pressure sensors Types 4007...*

5.5. Montaje Amplificadores y Sistema SCP

Para el montaje del sistema de acondicionamiento de señal de los sensores, se debe en primer lugar tomar el sistema SCP *Slim* 2852B12 e instalarlo en una superficie plana, sobre sus apoyos de goma. Posteriormente se conectan los amplificadores, 4665B1 y 5064D11, mediante la conexión interna del sistema SCP, mostrada en la Figura 5.16a y señalada en el modelo de la Figura 5.17.

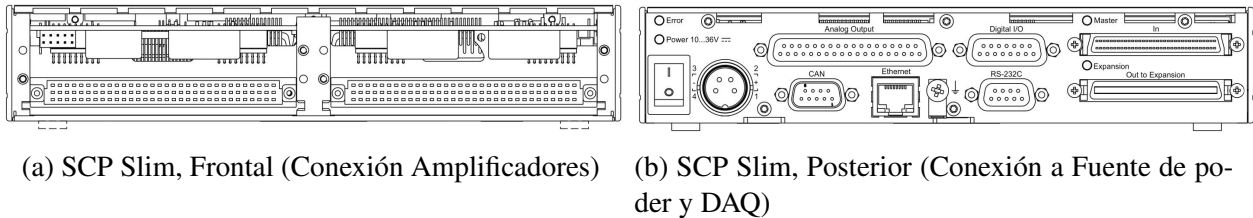


Figura 5.16: Sistema SCP Slim - Detalle de conexiones

Kistler Group. (2018). *SCP Slim for engine indication, Signal conditioning system, with optional PiezoSmart*

Al sistema llega el sensor 4007D005FDS1, mediante la conexión *Fischer* a una de las entradas analógicas del amplificador 4665B1 (Figura 5.18). El sensor 6052C se conecta mediante su conector BNC, a la entrada analógica del amplificador 5064D11 (Figura 5.18). En la parte posterior del sistema SCP *Slim*, se conecta el cable de poder y mediante la conexión CAN y por lo tanto un cable con conexión D-Sub (9 pines) se conecta la salida del sistema para procesar los datos. Esta conexión va al sistema de adquisición de datos (NI 9401), con la conexión especificada para este equipo.

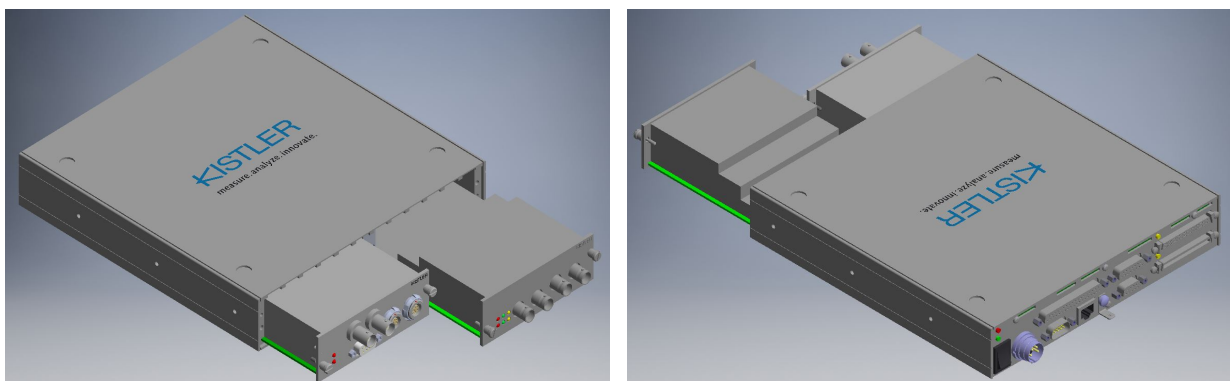


Figura 5.17: Sistema SCP *Slim* con Amplificadores para Sensores 6052C y 4007D005FDS1

Adaptado de KISTLER Group - Catálogo CAD 3D

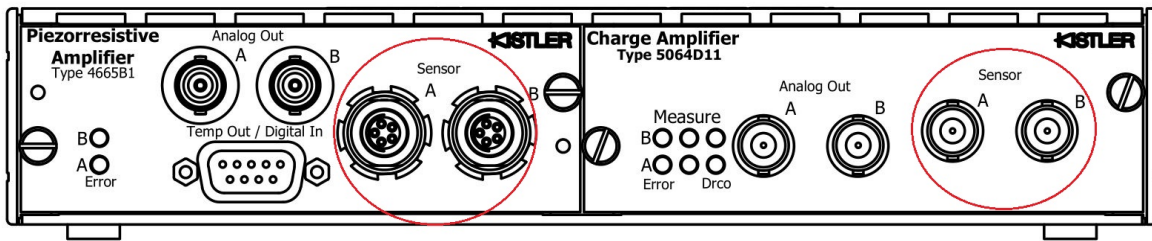


Figura 5.18: Amplificadores - Conexión de Sensores

Kistler Group. (2018). *SCP Slim for engine indication, Signal conditioning system, with optional PiezoSmart*

Otra manera de obtener los datos recopilados por el conjunto SCP - Amplificadores, es mediante conexión directa a un computador. Para esto KISTLER entrega un cable Ethernet RJ45 que permite la conexión de múltiples sistemas de acondicionamiento y analizarlos mediante el mismo computador, no obstante sigue estando disponible la opción más común, esto es utilizar la conexión RS-232.

Mediante la conexión RS-232 es posible conectar solamente un equipo SCP a la vez, y mediante el *software* provisto por KISTLER es posible tener acceso a todos los datos registrados por los sensores de presión. Para la aplicación de este proyecto en particular, es suficiente con la posibilidad de conectar únicamente un sistema SCP a la vez, puesto que se pretende medir la presión en cámara de un único cilindro, en conjunto con la presión en los gases de escape.

Para mayor información respecto al montaje, consultar manual KISTLER [29].

5.6. Montaje *Encoder*

El montaje del sistema *Encoder* parte con el conjunto 2614CK0 (Maletín), que está compuesto por dos elementos principales, el *Encoder* óptico 2614C11 y el sistema electrónico 2614C21, que utiliza la salida TTL para conectarse al equipo de adquisición de datos. El montaje del sistema consta de dos partes: la instalación del *Encoder* óptico en el motor y las conexiones para el registro de los datos.

Para mayor información respecto al montaje, consultar manual KISTLER [32].

5.6.1. Montaje *Encoder* óptico en Motor Mercedes Benz OM366 LA

El *Encoder* debe montarse en el extremo libre del cigüeñal, y dado que este debe quedar fijo mediante su brida de montaje, es necesario mecanizar un adaptador para el cigüeñal que cuente con las medidas específicas para lograr esto. En la Figura 5.19 se muestran las características que debe tener este adaptador.

El adaptador debe tener un diámetro externo de a lo menos 60 [mm] de diámetro. En una circunferencia de 48 [mm] de diámetro, concéntrica al eje del adaptador, se deben mecanizar tres agujeros M5 a 120° uno del otro y un agujero de 36 [mm] de diámetro con una profundidad de a lo menos 3 [mm].

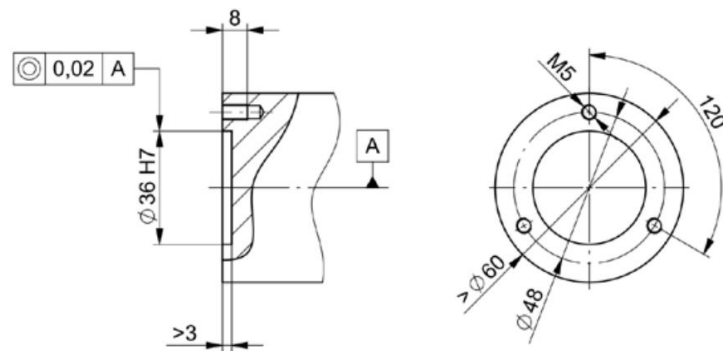


Figura 5.19: Adaptador de Cigüeñal

Adaptada de Kistler Group. (2018). *Instruction Manual Crank Angle Encoder Set Type 2614CK...*

El montaje se realiza en este adaptador mediante la brida del *Encoder*. Se introduce en el agujero de 36 [mm] y se fija a través de las ranuras de la brida, mediante tres pernos M5 que vienen incluidos en el conjunto 2614CK0. Esta situación es esquematizada en la Figura 5.20a, en dónde se presenta el *Encoder* superpuesto sobre el adaptador. Sin embargo, al momento de llevar a cabo esta operación, se realiza primero un premontaje de los pernos M5 en el adaptador, dejando una separación de 5 [mm] entre la cabeza del perno y la superficie del adaptador, tal como muestra la Figura 5.20b.

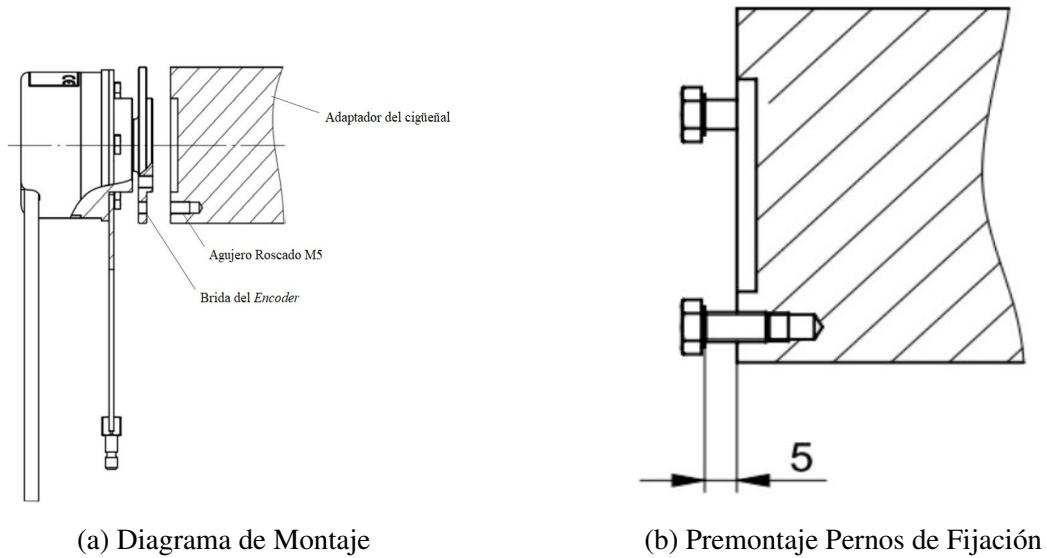


Figura 5.20: Premontaje de *Encoder*

Adaptada de Kistler Group. (2018). *Instruction Manual Crank Angle Encoder Set Type 2614CK...*

Una vez instalados los pernos de fijación con la separación indicada en la Figura 5.20b, se instala la brida del *Encoder* introduciendo la cabeza de los pernos M5 a través de las ranuras (agujero central de 9 [mm] de diámetro), señaladas en la Figura 5.21.

Posteriormente se gira la brida en la dirección contraria a la dirección de giro del cigüeñal. Apriete los pernos con una llave punta corona de 8 [mm].

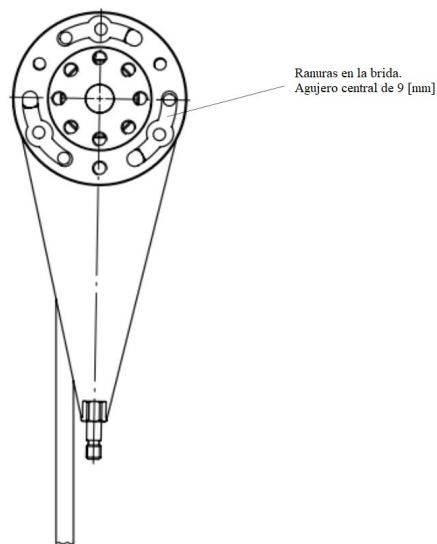


Figura 5.21: Ranuras en Brida de Montaje

Adaptada de Kistler Group. (2018). *Instruction Manual Crank Angle Encoder Set Type 2614CK...*

Posteriormente, o en forma paralela, se debe instalar la varilla articulada ajustable. Debe ser instalada por uno de los extremos, en un punto fijo del motor o en un soporte fijo del banco de ensayos, pues este elemento es el que le otorga la estabilidad al *Encoder*. El otro extremo de la varilla se fija al brazo de torsión del *Encoder*, mediante la tuerca de fijación M5, aplicando un torque de 4 [Nm]. Es extremadamente importante que el brazo de torsión del *Encoder* quede a 90° respecto del brazo de fijación y en el mismo plano que el brazo de torsión del *Encoder*, en cualquier otra configuración se ve comprometida la estabilidad del conjunto y por lo tanto aumenta la vibración del sistema. Un aumento en la vibración del sistema se traduce en desgaste prematuro de las piezas y por lo tanto en una vida útil del producto reducida.

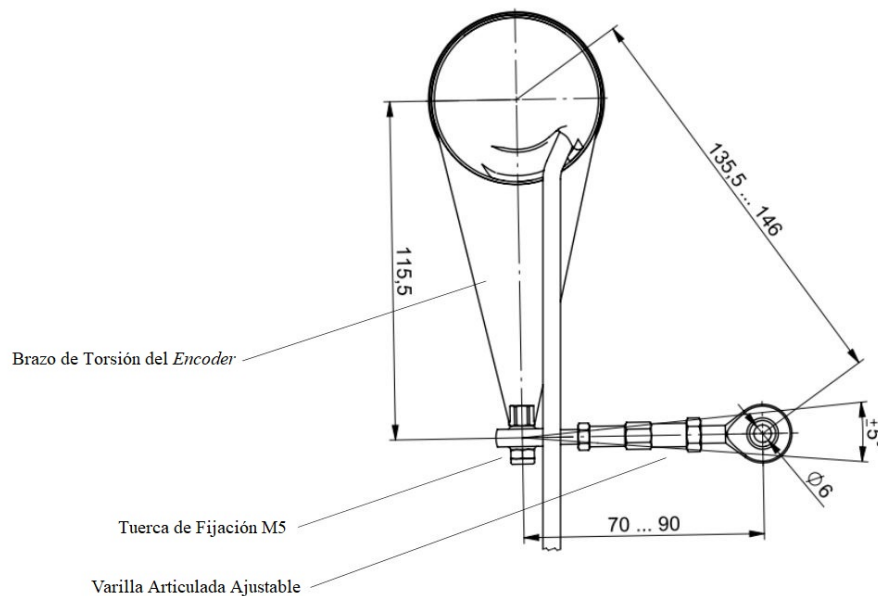
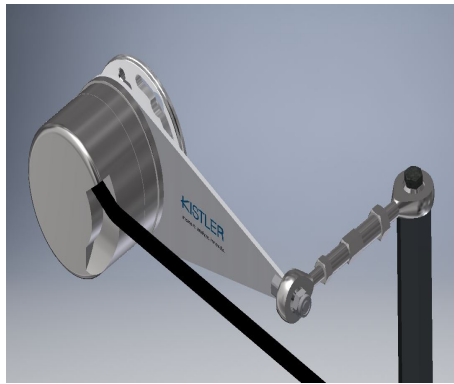


Figura 5.22: Montaje *Encoder*

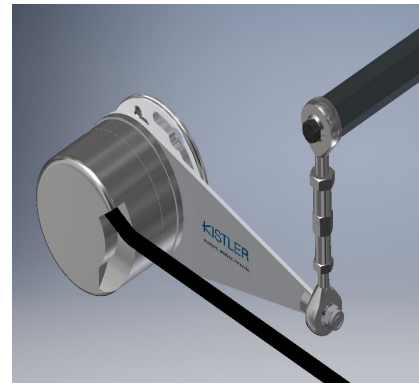
Adaptada de Kistler Group. (2018). *Instruction Manual Crank Angle Encoder Set Type 2614CK...*

La Figura 5.23a muestra la manera incorrecta de montar el brazo de torsión, pues éste queda en la misma línea que el brazo fijo. Este sistema no es recomendable, de acuerdo a las especificaciones del fabricante.

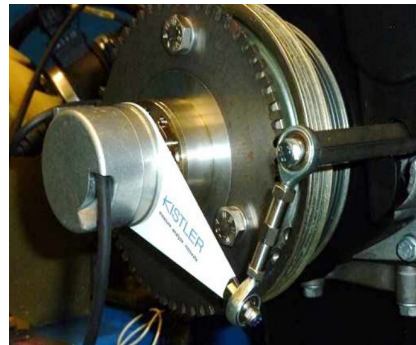
En la Figura 5.23b se presenta un modelo en el cual se tiene un ángulo recto entre el brazo de torsión y el brazo fijo en el cual se monta la varilla ajustable. Este sistema de montaje es el que se recomienda por KISTLER. Finalmente, en la Figura 5.23c se presenta un ejemplo de montaje del sistema 2614C11 para referencia en el montaje del sistema de este proyecto.



(a) Forma Incorrecta (Varilla en plano distinto)



(b) Forma Correcta



(c) Ejemplo de Instalación

Figura 5.23: Montaje de *Encoder*

Adaptada de Kistler Group. (2018). *Instruction Manual Crank Angle Encoder Set Type 2614CK...*

5.6.2. Montaje *Encoder* Electrónico

El *Encoder* electrónico 2614C21, recibe la señal proveniente del cable del *Encoder* óptico 2614C11 y envía la señal mediante su conector TTL (1200A169A2) hacia el sistema de adquisición de Datos. Este dispositivo debe ser montado mediante una placa de montaje que viene incluida en el conjunto 2614CK0 (Maletín), esta placa permite la instalación en un lugar adecuado, lejos del motor y de cualquier otro sistema que genere vibración.

Es importante asegurarse que ese componente electrónico no esté expuesto al calor directo ni a vibraciones. Este aparato puede ser montado en un *Rack* en conjunto con los demás dispositivos electrónicos KISTLER, vale decir, sistema SCP *Slim* y amplificadores 5064D11 y 4665B1.

El montaje y conexión del dispositivo 2614C11 se describe paso a paso a continuación:

1. Ubicar en una superficie plana el dispositivo 2614C21 y mediante la placa de montaje, fijar el aparato con los tornillos correspondientes.

2. Conectar el cable proveniente del *Encoder* óptico 2614C11 a la entrada del *Encoder* electrónico 2614C21, en la entrada señalada como “Encoder” (Figura 5.24).

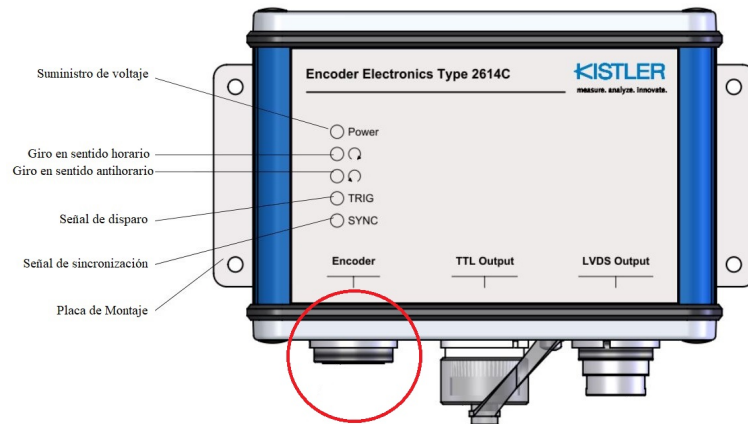


Figura 5.24: Conexión *Encoder* 2614C11

Adaptada de Kistler Group. (2018). *Instruction Manual Crank Angle Encoder Set Type 2614CK...*

3. Conectar el cable TTL (1200A169A2) en la entrada del *Encoder* electrónico 2614C21, señalada como “TTL Output” (Figura 5.25).

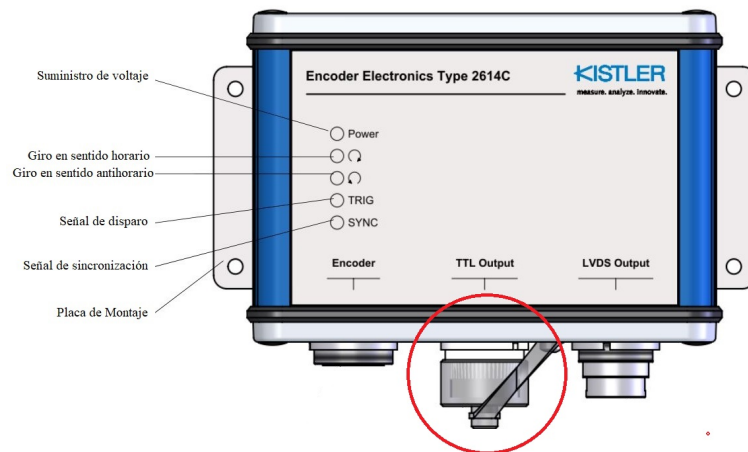


Figura 5.25: Conexión TTL

Adaptada de Kistler Group. (2018). *Instruction Manual Crank Angle Encoder Set Type 2614CK...*

4. Conectar los cables BNC del cable 1200A169A2 a las conexiones BNC del módulo *National Instruments* NI 9215 BNC.
5. Conectar al cable de alimentación mediante los conectores tipo *banana* del cable 1200A169A2.

5.7. Montaje Equipo de Adquisición de datos

Para el montaje del sistema de adquisición de datos, se debe en primer lugar situar el chasis compacto cDAQ 9174 y posteriormente ensamblar en él los distintos módulos de adquisición de datos. A continuación se describe el proceso de montaje de cada uno de estos elementos.

5.7.1. NI cDAQ - 9174

El montaje del chasis debe realizarse en una superficie plana, alejado del motor de ensayo, puesto que no debe estar sometido a vibraciones. Se debe considerar una superficie con las dimensiones suficientes para el montaje del equipo, así como la proximidad a la toma de corriente y al computador encargado de recibir los datos.

Las dimensiones del dispositivo se encuentran en la Figura 5.26, de la cual se desprende que se necesita una superficie de aproximadamente 160 x 60 [mm]. El chasis debe colocarse como se muestra en la Figura 5.26a, esto quiere decir que el logotipo de la marca debe poder leerse al momento de estar montado el equipo.

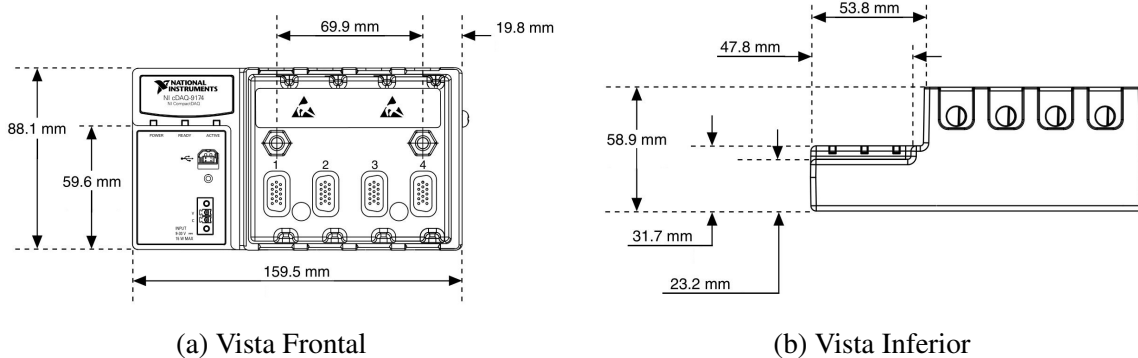


Figura 5.26: Dimensiones chasis cDAQ 9174

Adaptada de National Instruments.(2013). *NI cDAQ-9174 Specifications*

Posteriormente, se debe conectar el cable de poder en la ranura señalada en la Figura 5.27a y el cable USB en la ranura señalada en la Figura 5.27b, esta conexión USB se debe realizar al final del montaje de todos los equipos y una vez instalados los *softwares* que se describen en la sección 5.9. Con esto el chasis está preparado para el montaje de los módulos NI 9215, NI 9213 y NI 9401. El chasis tiene capacidad para instalar cuatro módulos, por lo tanto quedará un espacio libre para la

instalación de futuros sensores o ampliar el tipo de mediciones a realizar en el motor, como por ejemplo el consumo de combustible.



Figura 5.27: Conexiones chasis cDAQ-9174
Adaptada de Catálogo *National Instruments: NI cDAQ-9174*

5.7.2. Instalación Módulos *National Instruments*

Una vez montado el chasis, se procede con la instalación de los módulos *National Instruments*. Estos deben ser instalados en las ranuras del chasis mediante sus conexiones de 15 pines. El proceso de instalación de los módulos se describe a continuación:

1. Tomar el módulo presionando los pestillos metálicos para que estos se separen del módulo (Figura 5.28) y permitan insertarlo en el chasis.

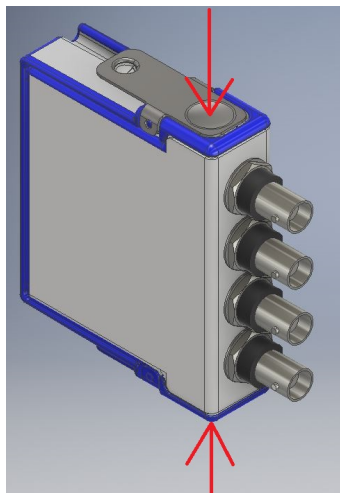


Figura 5.28: Pestillos Módulos *National Instruments*
Adaptada de *National Instruments-Dibujos Dimensionales: NI 9215*

2. Insertar el módulo en una de las ranuras de modo que se produzca la conexión mediante el conector de 15 pines. Liberar los pestillos para que se inserten en el chasis.
3. La conexión se completa cuando los pestillos aseguran el módulo en su lugar. Esto se percibe con un “click” de los pestillos.



Figura 5.29: Ensamble de módulos en chasis cDAQ-9174

Adaptada de *National Instruments-Dibujos Dimensionales: NI cDAQ-9174, NI 9215, NI 9213, NI 9401*

En la Figura 5.29a se presenta un modelo 3D del chasis cDAQ-9174, realizado con *Autodesk Inventor*, en base a los modelos provistos por *National Instruments*. Se utiliza este modelo para proyectar la instalación de los distintos módulos de adquisición de datos de este proyecto, así como base para proyectar futuros proyectos. En la Figura 5.29b, se presenta el modelo 3D con los módulos ensamblados. Ambas figuras sirven de referencia para el ensamblaje en terreno de los equipos, demostrando en forma fidedigna el montaje final de estos equipos.

5.8. Instalación Sistema Completo

Una vez que se tienen montados los instrumentos de medición, vale decir los sensores de presión, las termocuplas y el *Encoder* óptico, y de igual manera se han montado los equipos de acondicionamiento de señales y sistemas de adquisición de datos, se tiene completo el sistema de medición para el motor Mercedes-Benz OM366 LA.

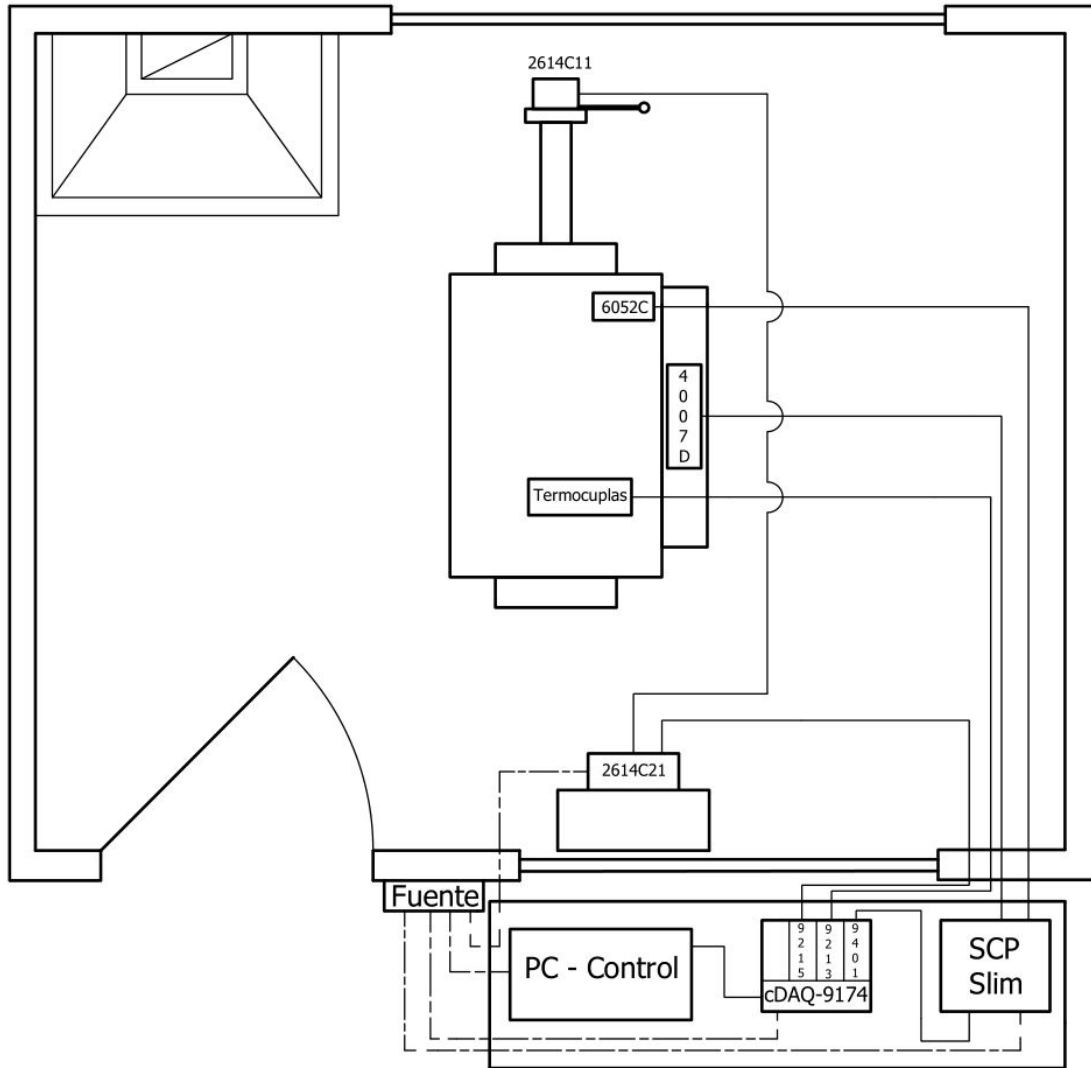


Figura 5.30: Instalación en Sala de Pruebas

En la Figura 5.30 se presenta un diagrama de la instalación completa del sistema. Dentro de la sala de ensayo está el motor OM366 LA con los sensores de presión montados, el *Encoder* instalado en el extremo libre del cigüeñal y las termocuplas en las distintas zonas a medir en el motor.

El sistema *Encoder* 2614C21, puede ser instalado en un panel dentro de la misma sala de ensayo del motor, siempre y cuando se encuentre alejado de las zonas de alta temperatura y elevado índice de vibraciones. En la zona exterior de la sala de ensayos se encuentra la zona de control, en donde son instalados los equipos de acondicionamiento de señales y el sistema de adquisición de datos, los cuales son enviados al computador para ser procesados y analizados mediante un *software* desarrollado específicamente para estos fines.

5.9. Prueba de Equipos

Una vez que se encuentran todos los instrumentos de medición montados y los equipos instalados, se debe proceder con la prueba de estos. La visualización de la información entregada por los instrumentos se realiza de manera integral en el computador, mediante un *software* dedicado al procesamiento y análisis de los datos particulares que entregan los instrumentos instalados en este proyecto.

El desarrollo de *software* es una parte vital para el funcionamiento del banco de pruebas, puesto que los instrumentos necesitan ser configurados para su funcionamiento individual. Por otro lado, para la asociación de la información de un instrumento con la de otro, se necesita crear una rutina de programación basada en los requerimientos particulares de este proyecto.

Para la utilización del sistema de adquisición de datos, en conjunto con todos los sistemas de medición instalados en el motor, se debe realizar una programación en LabVIEW, en las versiones que entrega *National Instruments*. El desarrollo de *software* escapa de los objetivos de esta memoria, sin embargo, se procede a dar los lineamientos esenciales para el trabajo con este tipo de equipos, así como una alternativa para la prueba de los sensores sin necesidad de utilizar LabVIEW.

Los sensores KISTLER pueden ser utilizados inmediatamente una vez se encuentren instalados y conectados al sistema SCP. KISTLER entrega junto con el sistema de acondicionamiento de señal, un *software* especialmente diseñado para operar con este sistema. No obstante, esto no faculta al sistema para operar en conjunto con los otros instrumentos de medida, ni para relacionar los datos de presión con los de temperatura o ángulo del cigüeñal, sin embargo permiten probar el estado de los sensores y del sistema SCP.

5.9.1. LabVIEW y NI-DAQmx

De acuerdo con *National Instruments*, antes de comenzar a usar el *software* DAQ para el chasis cDAQ-9174, primero se debe instalar su entorno de desarrollo de aplicación y después su *software* controlador, esto es, instalar LabVIEW e instalar el *software* controlador NI-DAQmx. Estos programas se encuentran incluidos con la compra del chasis cDAQ-9174, además se encuentran disponibles en el sitio *web* de *National Instruments*, en la sección de Soporte »» Descargas de Software, en dónde se encuentran las últimas versiones de LabVIEW y NI-DAQmx.

La instalación de NI-DAQmx debe realizarse después de haber instalado LabVIEW. El tiempo de instalación es de aproximadamente una hora, y en caso de estar realizando la actualización de los programas se recomienda realizar un respaldo de la información.

Instalar LabVIEW

- Insertar el DVD de la Plataforma de LabVIEW y seguir las instrucciones en la pantalla.
- Si surgen dudas durante la instalación, consulte la “Guía de Instalación de LabVIEW” o la “Guía de Localización de Fallas de Instalación de LabVIEW”.

Instalar NI-DAQmx

Después de instalar LabVIEW, puede instalar el software controlador NI-DAQmx. Para realizar la instalación se tienen tres opciones:

1. DVD de Controladores de Dispositivos: Si seleccionó instalar controladores de dispositivos desde el DVD de la Plataforma de LabVIEW, se le pedirá insertar el DVD de la Plataforma de LabVIEW antes de continuar.
2. DVD de NI-DAQmx: Todos los dispositivos DAQ incluyen un DVD con los controladores que necesita para usar el dispositivo.
3. Descarga en Línea: Siempre puede encontrar el software controlador NI-DAQmx más reciente en la página Controladores y Actualizaciones.

Se recomienda la Instalación Típica y en caso de ser solicitado, elegir el directorio de instalación para el *software*, se debe seleccionar el mismo directorio principal en donde se instaló LabVIEW.

Configuración NI-DAQmx para chasis USB cDAQ

Una vez que se ha instalado LabVIEW y el *software* controlador NI-DAQmx, se debe proceder a la configuración de éste, para ello seguir los siguientes pasos, que son específicos para utilizarse en chasis USB Compact DAQ (NI 9174 cDAQ en caso de este proyecto):

1. Verifique que el LED “Ready” está iluminado. Este se ilumina cuando el computador reconoce un chasis USB CompactDAQ. El color indica si la conexión USB es Full-Speed (verde), esto es 12 [Mbps] o Hi-Speed (amarillo), esto es 480 [Mbps].

2. En caso de abrirse el asistente de “Nuevo Hardware Encontrado”, instale el *software* automáticamente como se recomienda para cada dispositivo.
3. Asegúrese que el Monitor del Dispositivo (Figura 5.31) está en ejecución. Después que *Windows* detecta dispositivos NI USB recién instalados, debe ejecutarse automáticamente. Si no se ejecuta, se debe desconectar el dispositivo, reiniciar el Monitor del Dispositivo al seleccionar *Start*»»*All Programs*»»*National Instruments*»»*NI-DAQ*»»*NI Device Monitor*, y conecte el dispositivo. El Monitor del Dispositivo le pide seleccionar entre una lista de opciones. Estas opciones pueden variar, dependiendo de los dispositivos y el *software* instalado en el sistema.

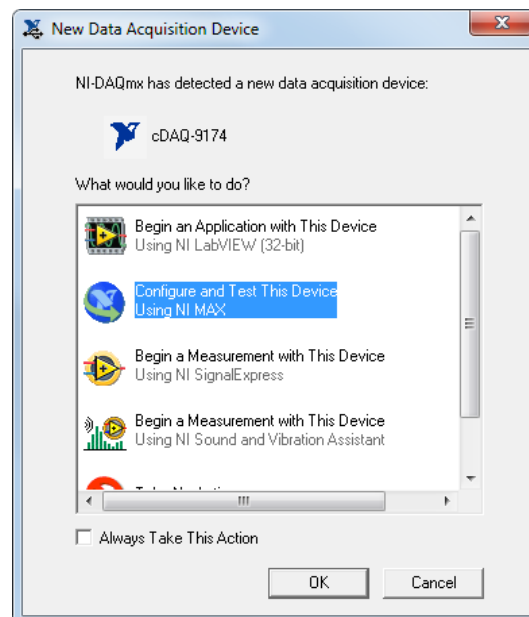


Figura 5.31: Monitor del Dispositivo

Adaptado de Soporte *National Instruments*: Instalar y Configurar Chasis CompactDAQ

4. Hacer *click* en *Configure and Test This Device* para abrir MAX (Figura 5.32).
5. Desplegar la opción *Devices and Interfaces* para confirmar que el chasis cDAQ-9174 está en la lista. También deben mostrarse los módulos NI-9401, NI-9215 y NI-9213 en la lista. Si los dispositivos no aparecen, actualizar la ventana.

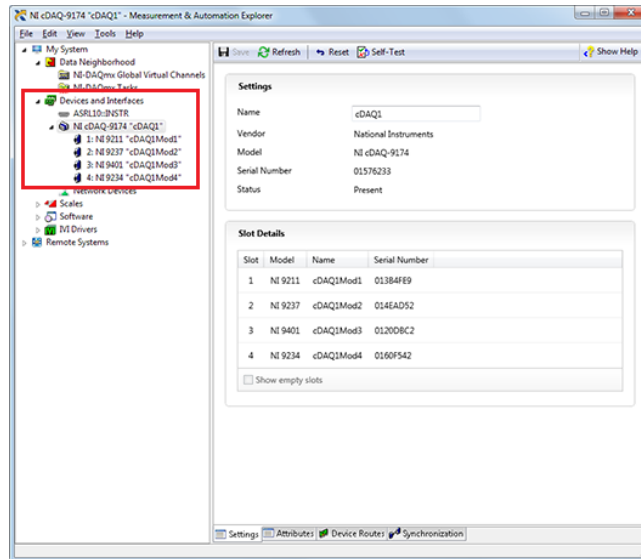


Figura 5.32: Ventana MAX

Adaptado de Soporte *National Instruments*: Instalar y Configurar Chasis CompactDAQ

- Hacer *click* con botón derecho del *mouse*, en el dispositivo y seleccionar la opción *Self-Test*. Cuando la prueba termina, un mensaje indica la verificación satisfactoria del dispositivo o si ha ocurrido un error (Figura 5.33).

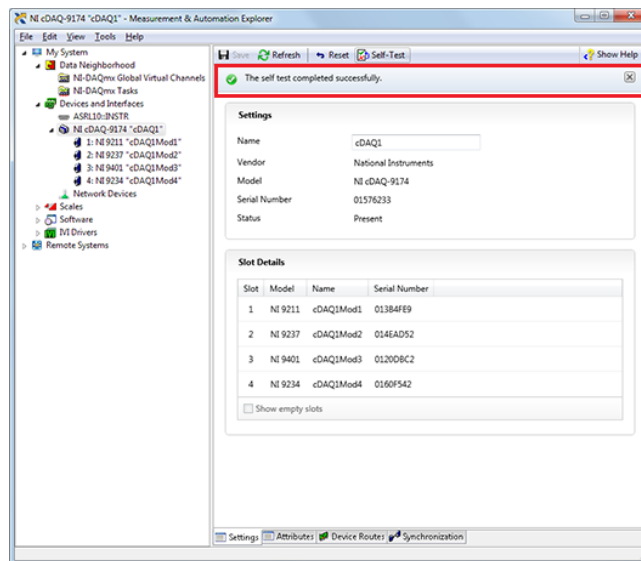


Figura 5.33: *Self-Test*

Adaptado de Soporte *National Instruments*: Instalar y Configurar Chasis CompactDAQ

5.9.2. Prueba de Sensores y sistema SCP Slim

Para utilizar los productos KISTLER en conjunto con el sistema de adquisición de datos de *National Instruments* se debe realizar un desarrollo de *software* que permita tal aplicación. No obstante para efectos de prueba de los equipos KISTLER, inclusive para el uso exclusivo de los sensores, basta con utilizar el *software* suministrado por KISTLER junto al sistema SCP.

Para comenzar con la prueba se debe instalar el programa en el computador a utilizar en dichas pruebas. La instalación del programa se realiza siguiendo los siguientes pasos:

1. Insertar el CD en el lector y esperar a que se despliegue el programa o en su defecto, ejecutar el programa en forma manual accediendo al archivo “*setup*” contenido en el disco. Posteriormente hacer “*click*” en la opción “*Install*” para comenzar la instalación.

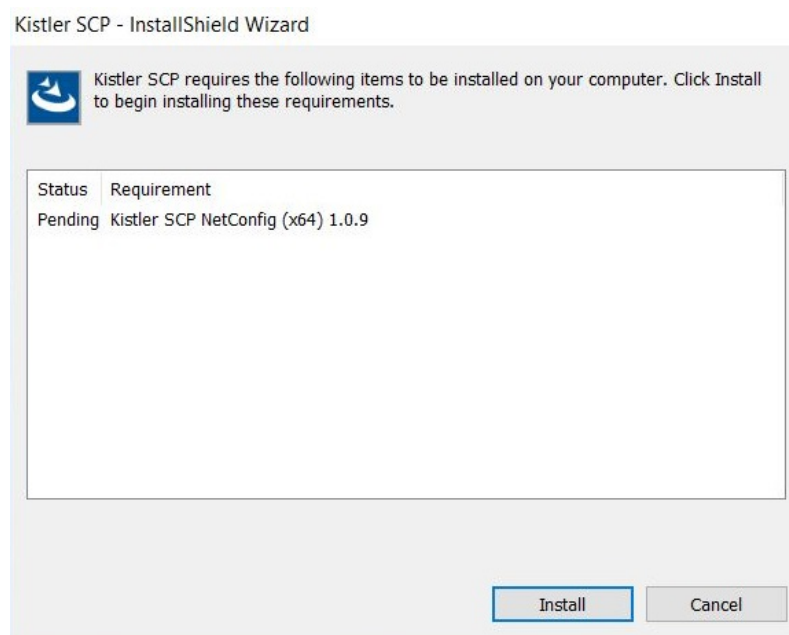


Figura 5.34: Instalación *software* KISTLER

2. En los pasos siguientes de la instalación se deben aceptar los términos del acuerdo de la licencia, ingresar la información del usuario del programa y seleccionar un tipo de instalación. Se recomienda la instalación completa del programa.
3. Seleccionar el directorio en el cual se quiere instalar el programa. Posteriormente aparecerá una ventana para la instalación de “*Latronix Puertos (COM y LPT)*” (Figura 5.35), este

complemento debe instalarse, ya que si bien no es estrictamente necesario pues permite el trabajo mediante conexión Ethernet, que no se utilizará, el no instalarlo genera un error en la instalación del *software* KISTLER.

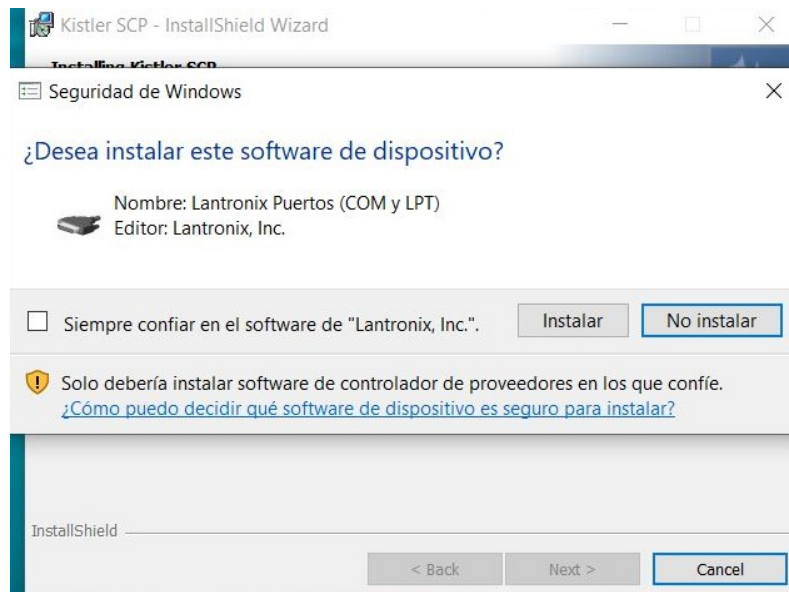


Figura 5.35: Instalación Lantronix

4. La instalación del programa concluye y sólo resta hacer “click” en la opción “Finish” y luego el programa está listo para ser ejecutado desde el acceso directo creado en el escritorio.



Figura 5.36: Finalizar Instalación *software* KISTLER

Una vez completada la instalación del programa, se procede a ejecutarlo y configurarlo para el funcionamiento de un sistema SCP *Slim* con los amplificadores 4665B1 y 5064D11 utilizados en esta aplicación. La configuración del sistema se realiza siguiendo los pasos que se describen a continuación:

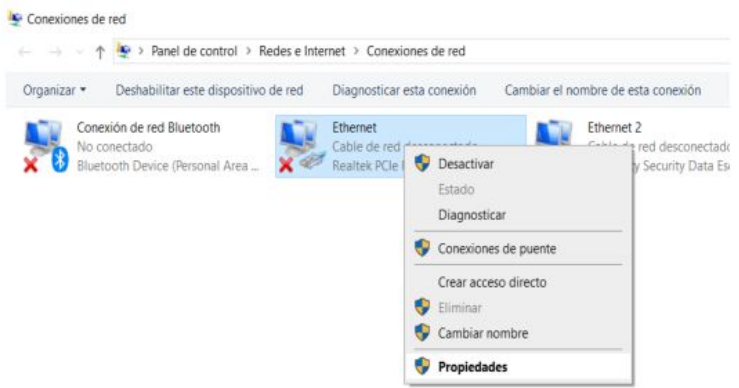
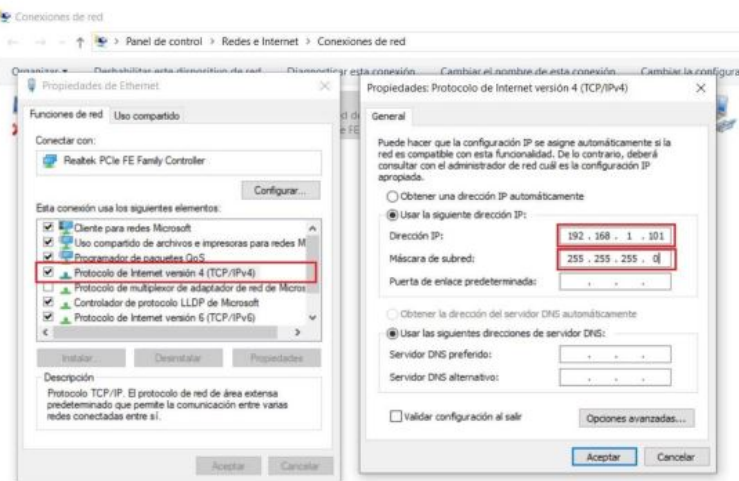

<p>Comprobar la configuración de red del computador. Ir a Panel de control >> Redes e Internet >> Conexiones de red. Hacer "Click" derecho sobre una de las redes y hacer "Click" en propiedades.</p>	
<p>Seleciones el protocolo de internet Versión 4 (TCP/IPv4). Haga "Click" en propiedades y seleccione "Usar la siguiente dirección IP". (Por ejemplo 192.168.1.101) y máscara de subred 255.255.255.0. Confirme la configuración presionando "Aceptar".</p>	
<p>3. Abrir la última versión del programa KISTLER.</p>	

Figura 5.37: Configuración *software* SCP

Adaptado de KISTLER Group-*Instruction Manual for Ethernet Settings for SCP/SCP Slim Type 2852B...*



<p>4. Hacer "Click" en OK en caso de que aparezca esta ventana, que indica que es la primera vez que se ejecuta el programa y no se ha configurado.</p>	
<p>5. Hacer "Click" en el botón Network Settings.</p> <p>Los dispositivos conectados se mostrarán en la ventana. Hacer "Click" en Edit Configuration, para la configuración del sistema SCP Slim.</p> <p>El estado del dispositivo mostrará "unreachable" en caso de que el sistema SCP se encontrara previamente conectado a otra red. En dicho caso se debe configurar la dirección IP (por ejemplo 192.168.1.101)</p>	

Figura 5.38: Configuración *software* SCP (continuación)

Adaptado de KISTLER Group-Instruction Manual for Ethernet Settings for SCP/SCP Slim Type 2852B...

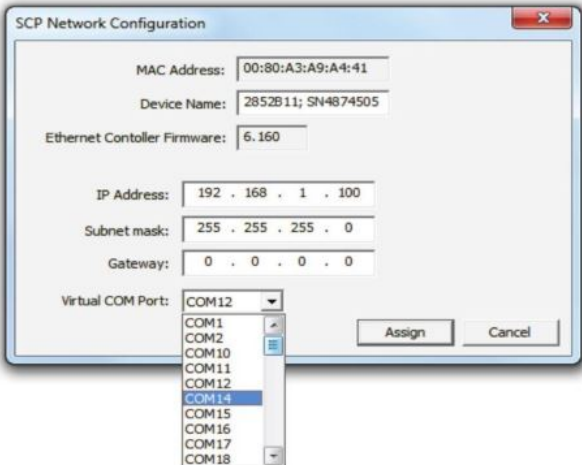
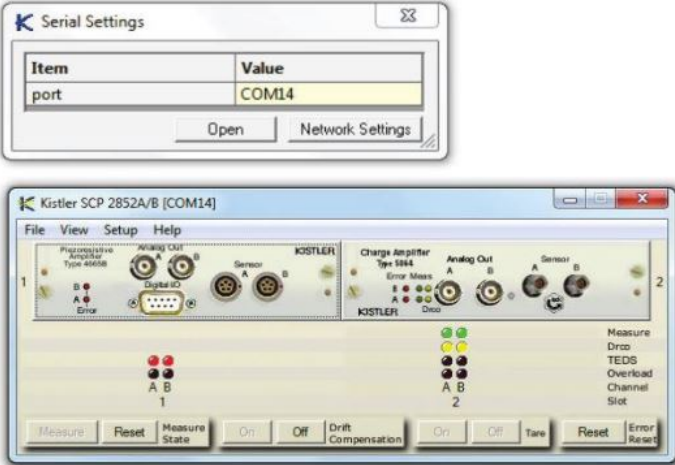
6.	<p>Seleccionar un "virtual COM Port".</p> <p>Se puede cambiar el nombre mediante la casilla "Device Name", colocando por ejemplo banco de pruebas 1 . El largo máximo del nombre es de 32 caracteres.</p>	
7.	<p>Confirmar la configuración con el botón "Assign".</p> <p>Cuando el puerto COM está asignado hacer "click" en el botón Open para iniciar el <i>software</i> SCP.</p> <p>Se genera la interfaz con los dos tipos de sensores. Se genera una columna para sensores piezoeléctricos y otra para sensores piezorresistivos.</p>	

Figura 5.39: Configuración *software* SCP (continuación)

Adaptado de KISTLER Group-*Instruction Manual for Ethernet Settings for SCP/SCP Slim Type 2852B...*

Una vez terminado este proceso, el computador está preparado para recibir los datos provenientes de los sensores montados en el motor. El funcionamiento detallado del manejo interno del software respecto de los datos, se encuentra en los manuales del fabricante. En base a lo que se espera de cada medición, se debe realizar una rutina específica en el programa para la obtención de ellos.



La conexión desde el sistema SCP al computador se realiza mediante conexión RS-232. Si el computador no tiene este tipo de entrada, se puede utilizar un adaptador USB/RS-232. KISTLER recomienda el adaptador tipo 2867, pero es suficiente con cualquier adaptador genérico para este propósito.

Capítulo 6

Guías de Laboratorio

Los instrumentos de medición instalados, están enfocados al análisis de la combustión del motor. Para esto se tienen dos tipos de sensores y por lo tanto dos tipos de análisis posibles, del mismo modo se generarán dos guías de laboratorio como apoyo a la docencia. La primera de ellas se enfoca en acercar al estudiante a los nuevos instrumentos de medición, y en la segunda se realiza un análisis de la presión en la cámara de combustión a partir de los nuevos instrumentos. De acuerdo con la información suministrada por KISTLER, respecto de sus sensores, los datos que estos entregan permiten la obtención de otros datos, que están contenidos en el análisis de la información suministrada por los sensores. Esto se muestra en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1: Datos derivados de los sensores KISTLER

Datos derivados	Información contenida
<i>Peak de presión</i>	Carga mecánica del motor.
Presión media efectiva indicada, ciclo completo de 4 tiempos.	Potencia del cilindro, estabilidad de la combustión (fluctuaciones cíclicas), fallas, comportamiento de respuesta, pérdidas por fricción.
Componente de vibración de alta frecuencia.	<i>Knocking</i> .
Gradiente de presión.	Ruido de combustión.
Posición del cigüeñal del peak de presión, heat release rate.	Eficiencia total, eficiencia de combustión, valores cualitativos de emisión, calidad del sistema de encendido.
Temperatura de los gases.	Valores cualitativos de emisión.
Ignition delay, calculado desde el tiempo de inyección y el comienzo de la combustión.	Carburación, tiempo de ignición.

Adaptado de KISTLER Group.(2018). *Engine Indication*

Dado que se tiene un sensor para la medición de presión en la cámara de combustión (6052C) y otro para la medición de presión en el escape de los gases (4007D005FDS1), se generan entonces dos tipos de análisis planteados por KISTLER y que se describen a continuación para posteriormente integrarlos en las dos guías de laboratorio.

6.1. Análisis de presión en cámara de combustión

Para la mayoría de las aplicaciones, los datos de presión en la cámara de combustión se muestran en base al Punto Muerto Superior de la carrera del pistón, o en relación a un ciclo particular de combustión. La curva de presión (Figura 6.1) que se genera en la cámara de combustión es una gran fuente de información para obtener los datos mencionados en la Tabla 6.1. Esta información permite caracterizar la combustión utilizando los siguientes parámetros, que se deberán calcular en la segunda guía de laboratorio:

- El inicio de la combustión observado.
- El fin de la combustión observado.
- La duración de la combustión observada.
- El retraso del inicio de la combustión observado.
- La curva de tasa de liberación de calor en función del ángulo del cigüeñal.
- La fracción de quemado en función del ángulo del cigüeñal.

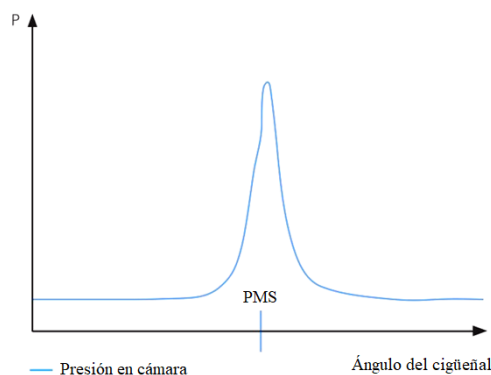


Figura 6.1: Curva de Presión en Cámara
Adaptado de KISTLER Group.(2018). *Engine Indication*

De los parámetros anteriores, y en base a los estudios científicos de motores de combustión interna, se puede afirmar que el análisis preciso de la tasa de liberación de calor, es el parámetro de partida para todos los análisis de la combustión, siendo su base el comportamiento de la presión dentro de la cámara, tal como lo señalan Michael F. J. Brunt y Kieron C. Platts [5] en su estudio del cálculo de la tasa de liberación de calor en un motor Diesel de inyección directa, en donde se calcula este parámetro en base a la ecuación tradicional para una zona singular que deriva de la primera ley de la termodinámica (Ecuación 6.1).

$$dQ_{HR} = \frac{\gamma}{\gamma - 1} p dV + \frac{1}{\gamma - 1} V dP + dQ_{HT} \quad (6.1)$$

Donde:

- dQ_{HR} , es la tasa de liberación de calor.
- p , es la presión.
- V , es el volumen.
- γ , es la razón entre los calores específicos del combustible.
- dQ_{HT} , es la tasa de transferencia de calor hacia las paredes.

El trazar la curva que deriva de esta relación es un tema que se sigue desarrollando, sin embargo, algo que no varía es el hecho de que para dicho cometido se requiere información acerca de la presión en el cilindro.

A partir de la curva de liberación de calor, se realizan los estudios acerca del inicio de la combustión, relacionándolo con un nivel determinado de presión en el cilindro, así como también el fin de la combustión. Otro parámetro importante que se desprende de este análisis es la fracción de quemados, que está relacionada directamente con la liberación de calor dentro de la cámara, bajo el siguiente supuesto: Cuando no se ha liberado calor es porque no ha habido combustión, cuando

termina de liberarse calor es porque la combustión ha terminado. No obstante, el inicio y fin de la combustión son parámetros que están sujetos a variaciones según sea el criterio para su cálculo.

En la Ecuación 6.1 la variable γ se obtiene mediante un análisis del combustible, el volumen se puede calcular en cada posición del cigüeñal según la Ecuación 6.2. El calor que va hacia las paredes se puede calcular en base a un modelo clásico de transferencia de calor, sin embargo para la obtención de la presión en cada posición del cigüeñal se debe contar con un método para medirla o con algún modelo matemático que pueda predecirla en base a otros parámetros del motor.

$$V = V_C \left[1 + \frac{1}{2} (r_c - 1) [L + 1 - \cos(\theta) - (L^2 - \sin^2(\theta))^{\frac{1}{2}}] \right] \quad (6.2)$$

Donde:

- V_C , es el volumen del espacio muerto.
- r_c , es la razón de compresión.
- L , es la razón biela-manivela.
- θ , es el ángulo en el que se encuentra el cigüeñal.

6.1.1. Obtención de la presión en la cámara de combustión

Con el fin de demostrar la utilidad práctica del método empírico provisto por un sensor, para la obtención de la presión, se presenta a continuación un método analítico para determinarla. Este método fue desarrollado por Jing Wu, Andres Jacoby, Daniel Llamocca y Brian Sangeorzan [6] y se realiza con matemática discreta a partir de la primera ley de la termodinámica, aplicada al periodo en que se cierran las válvulas. Como resultado, el modelo realiza una estimación de la presión para el período en que las válvulas están cerradas durante el ciclo del motor. El cálculo comienza con el cierre de la válvula de admisión (IVC) y termina en la apertura de la válvula de

escape (EVO). La relación entre la tasa de liberación de calor, la presión, el volumen y las tasas de transferencia de calor está dada por la Ecuación 6.3:

$$\frac{dQ_{HR}}{d\theta} = \frac{\gamma}{\gamma - 1} P \frac{dV}{d\theta} + \frac{1}{\gamma - 1} V \frac{dP}{d\theta} + \frac{dQ_{HT}}{d\theta} \quad (6.3)$$

En donde $\frac{dQ_{HR}}{d\theta}$ corresponde a la liberación de calor bruta y $\frac{dQ_{HT}}{d\theta}$ representa la transferencia de calor desde los gases de combustión hacia las paredes del cilindro. La forma discreta se encuentra expresada en la Ecuación 6.4 y la Ecuación 6.5 representa la Presión versus ángulo del cigüeñal en forma discreta.

$$\left. \frac{dQ_{HR}}{d\theta} \right|_n = \frac{\gamma}{\gamma - 1} P(n) \left. \frac{dV}{d\theta} \right|_n + \frac{1}{\gamma - 1} V(n) \frac{P(n+1) - P(n)}{\theta(n+1) - \theta(n)} + \left. \frac{dQ_{HT}}{d\theta} \right|_n \quad (6.4)$$

$$P(n+1) = P(n) + \Delta\theta \left[\left. \frac{(\gamma-1) dQ_{HR}}{V(n) d\theta} \right|_n - \gamma \left. \frac{P(n) dV}{V(n) d\theta} \right|_n - \left. \frac{\gamma-1}{V(n)} \frac{dQ_{HT}}{d\theta} \right|_n \right] \quad (6.5)$$

Para el cálculo de la tasa de liberación de calor como pérdida hacia las paredes, se utiliza un modelo basado en el coeficiente de transferencia de calor h_{corr} , que es adaptado de la ecuación de Woschni descrita en el trabajo de Günter F. Hohenberg [7].

$$\left. \frac{dQ_{HT}}{d\theta} \right|_n = \frac{dQ_{HT}}{d\theta} \frac{d\theta}{dt} = h_{corr}(n) A_{ch}(n) (T_g(n) - T_w) \frac{30}{N\pi}, \quad N : \text{rpm} \quad (6.6)$$

$$h_{corr}(n) = c \times 0,013 \times V(n)^{-0,06} P(n)^{0,8} T_g(n)^{-0,4} (\bar{V}_p + 1,4)^{0,8} \quad (6.7)$$

\bar{V}_p es la velocidad media del pistón y el volumen de la cámara en función del ángulo del cigüeñal viene dado por la Ecuación 6.8, donde r_c es la relación de compresión, V_C es el volumen del espacio muerto, y L la razón biela-manivela. La Ecuación 6.9 entrega la derivada del volumen con

respecto al ángulo del cigüeñal, donde V_D es el volumen de desplazamiento.

$$V(n) = V_C \left[1 + \frac{1}{2}(r_c - 1) [L + 1 - \cos(\theta_n) - (L^2 - \sin^2(\theta_n))^{\frac{1}{2}}] \right] \quad (6.8)$$

$$\left. \frac{dV}{d\theta} \right|_n = \frac{1}{2} V_D \sin(\theta_n) [1 + \cos(\theta_n) L (L^2 - \sin^2(\theta_n))^{\frac{1}{2}}] \quad (6.9)$$

$$T_g(n) = \frac{P(n) \times V(n)}{MR} \quad (6.10)$$

$$A_{ch} = A_{ch}(PMS) + \frac{\pi}{2} BS [L + 1 - \cos(\theta_n) - (L^2 - \sin^2(\theta_n))^{\frac{1}{2}}] \quad (6.11)$$

T_w es la temperatura de la pared del cilindro y la temperatura del gas $T_g(n)$ en el cilindro resulta de la ley de los gases ideales y se expresa en la Ecuación 6.10. El área de superficie en cada ángulo del cigüeñal $A_{ch}(n)$ dada en la Ecuación 6.11, se basa en el área de superficie de la cámara en el Punto Muerto Superior (PMS), diámetro interior (B) y la carrera del pistón (S).

Para el cálculo de la tasa de liberación de calor (Heat Release Rate), en un motor de encendido por chispa, se presenta un modelo en la Ecuación 6.12. La fórmula comienza a funcionar en el momento de la chispa y termina después que se quema el combustible.

$$\left. \frac{dQ_{HR}}{d\theta} \right|_n = \begin{cases} 0 & , \theta_n \leq \theta_0 \\ \frac{\eta_c m_f LHV \alpha (\beta + 1)}{\Delta\theta_B (1 - e^{-\alpha})} \left(\frac{\theta_n - \theta_0}{\Delta\theta_B} \right)^\beta \times e^{-\alpha \left(\frac{\theta_n - \theta_0}{\Delta\theta_B} \right)^{\beta + 1}} & , \theta_n > \theta_0 \end{cases} \quad (6.12)$$

Donde:

- η_c , corresponde a la eficiencia de la combustión
- m_f , corresponde a la masa del combustible
- LHV , es el poder calorífico inferior
- θ_0 , es el tiempo de encendido
- $\Delta\theta_B$, es la duración de la combustión

Los parámetros α y β son constantes utilizadas para calibrar el modelo. La tasa de liberación de calor acumulada dividida por $\eta_c m_f LHV$ es la fracción de masa de combustible quemada, que se puede modelar usando la función de Wiebe [3], de modo que la tasa de liberación de calor puede ser modelada a su vez en términos de la función Wiebe como se muestra en la Ecuación 6.12.

Posteriormente se procede a calibrar el modelo, esto se hace en base a un valor real de presión dentro del gráfico del motor en cuestión. La mayoría de los parámetros del modelo de transferencia de calor son directamente obtenidos de los datos del motor y de las condiciones de funcionamiento, como la velocidad o la carga. Para el valor de γ se puede utilizar el modelo que se estime conveniente. El modelo de transferencia de calor en la Ecuación 6.4 y la Ecuación 6.6 debe ser calibrado para un motor en específico. Este proceso de calibración para un motor y su operación particular se puede realizar de la siguiente manera:

1. Dado el valor de presión real dado inicialmente, se elige un valor inicial de c (Ecuación 6.7) para completar un modelo tentativo de tasa de transferencia de calor. Se calcula entonces una tasa de liberación de calor tentativa.
2. Se grafica la tasa de liberación de calor acumulada. El valor máximo corresponde a la liberación total de calor, cuyo valor debería ser igual a la energía real liberada por el combustible, esto es $\eta_c m_f LHV$. Si la liberación de calor acumulada no coincide con la liberación de energía del combustible, se ajusta c en la ecuación 6.7, para que la liberación de calor acumulada alcance el valor de $\eta_c m_f LHV$.

Alternativamente, la fracción másica se puede graficar en función del ángulo del cigüeñal, en donde ésta fracción se calcula como la liberación de calor acumulado dividida por $\eta_c m_f LHV$. Luego, se ajusta c hasta que la fracción másica alcance un valor 1. Este es un enfoque que se prefiere por sobre el primero.

3. En este punto, los modelo para la tasa de liberación de calor y para la transferencia de calor están calibrados. Con el actual valor de la fracción másica, se puede obtener la duración de la combustión ($\Delta\theta_B$), en el trabajo citado se utiliza un rango del 0 al 97 % de la fracción másica para situar la combustión. Cabe mencionar que este rango difiere según el investigador, es común un rango de 10-90 % e inclusive otras variaciones, lo que se traduce en variaciones a las constantes de Wiebe.

4. Se puede utilizar un código para ajustar la Función de Wiebe a la curva de liberación de calor acumulada. Esto resulta en valores de α y β que son parámetros del modelo de tasa de liberación de calor en la Ecuación 6.12.
5. Con los modelos completos para la tasa de transferencia de calor y para la tasa de liberación de calor, se puede utilizar la Ecuación 6.5 para finalmente calcular un estimado de la presión.

Este tipo de métodos teóricos, entregan un valor de presión, el cual permite realizar los análisis de combustión a partir de ellos. Sin embargo, el proceso requiere de la entrada de un valor de presión empírico para funcionar. Sumado a esto, para validar la efectividad del modelo, éste debió ser cotejado con valores reales de la presión, obteniéndose errores de hasta un 5 %. El porcentaje de error de los métodos teóricos está en un rango aceptable según sea el tipo de investigación que se realice.

Para efectos de las nuevas experiencias de laboratorio a desarrollar, el estudiante debe realizar este tipo de análisis. Se espera que el estudiante sea capaz de contrastar los resultados obtenidos mediante métodos teóricos, con los valores que entregan los instrumentos de medición.

6.2. Análisis de intercambio de gases

El análisis de intercambio de gases se realiza mediante sensores en la admisión de aire y en el escape de los gases de combustión. Este análisis se utiliza para evaluar y optimizar la alimentación al cilindro que se está midiendo. Una entrada óptima de aire implica una salida de los gases también óptima. Inclusive el consumo de combustible y las emisiones de contaminante se pueden mejorar con un análisis del intercambio de gases. Esto es importante en el desarrollo de motores, pues se permite optimizar analizando en tiempo real el cambio instantáneo de las condiciones mediante válvulas en los *manifold*.

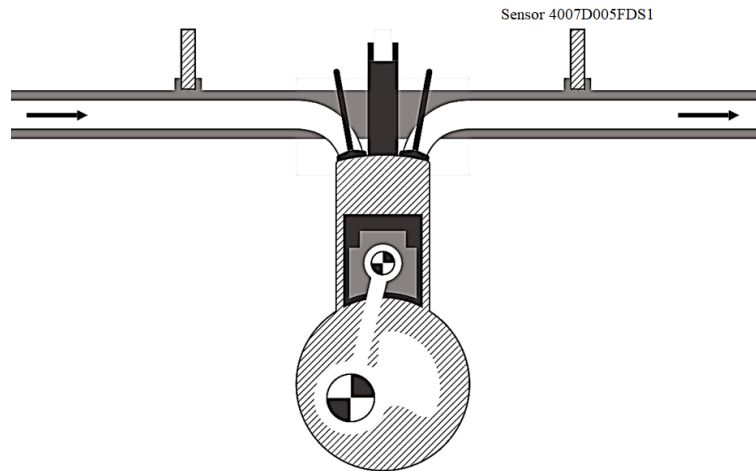


Figura 6.2: Esquema de Posición Sensor Piezorresistivo
Adaptado de KISTLER Group.(2018). *Engine Indication*

En todas las aplicaciones de motores y sistemas de combustión en general, se ha llegado a un nivel de desarrollo y complejidad en el cual no se puede analizar en forma profesional sin contar con un sistema sofisticado de análisis de combustión. Sin un análisis acabado de la combustión del motor al hacer una ensayo en el área de motores, ya sea investigación, desarrollo o puesta a punto, es imposible cumplir con los estándares que exigen las normas internacionales e incluso las nacionales, en cuanto a emisiones de contaminantes, potencia esperada y consumo de combustible esperado.

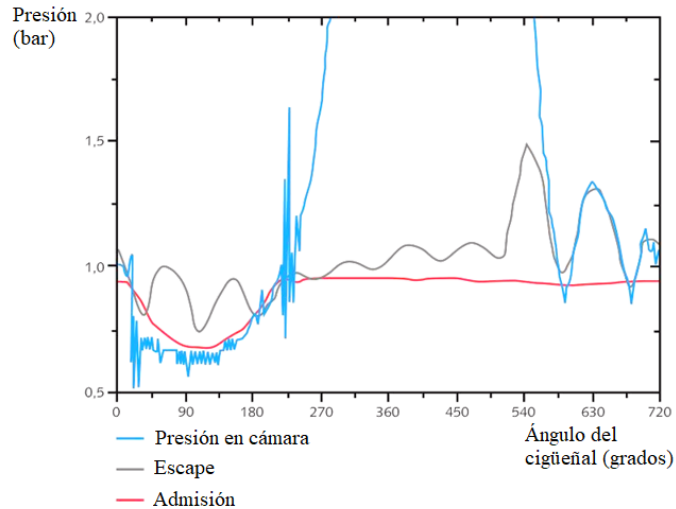


Figura 6.3: Curva de Presión en *Manifold*
 Adaptado de KISTLER Group.(2018). *Engine Indication*

En la Figura 6.3 se presenta la curva de presión de la cámara de combustión, junto con las curvas de presión en la admisión y en el escape, esto permite una visualización completa de la presión en todo el ciclo de trabajo del motor. No obstante, actualmente no se ha incorporado un sensor de presión en la admisión, lo cual no perjudica demasiado el análisis puesto que se puede asumir que el aire ingresa a presión atmosférica.

Dadas las capacidades de los nuevos instrumentos de medición, las nuevas guías de laboratorio a desarrollar se enfocan en el análisis de la curva de presión del motor, junto con el monitoreo en tiempo real de las condiciones del motor, en base a la temperatura generada en las distintas zonas del motor.

Otra aspecto que se desarrolla en la guías de laboratorio es la instrucción para el uso de los nuevos instrumentos. Esta instrucción debe incorporar las condiciones de seguridad para el trabajo con estos equipos, lo cual implica seguridad para los alumnos que trabajarán con el sistema y la forma de trabajar con los equipos de manera que estos no se vean dañados en el proceso.

Finalmente, en las guías de laboratorio se deben incorporar las metodologías de recopilación de los datos y la forma en que estos deben ser extraídos por el alumno. Las guías de laboratorio deben ser explícitas en todas las instrucciones para la realización de las experiencias, se deben aclarar que parámetros son inherentes al motor y pueden ser suministrados por el apoyo académico, y cuales son aquellos datos que forman parte de la información suministrada por los equipos.

6.3. Guías de Laboratorio

El sistema de medición KISTLER introducido en este trabajo, incorpora al laboratorio la capacidad de realizar un análisis a la combustión del motor. El análisis se basa en la presión de un cilindro y en el escape del motor, esto será la base para las nuevas experiencias de laboratorio.

Las guías de laboratorio ha desarrollar, parten con el reconocimiento de los nuevos instrumentos y equipos de medición. El alumno debe ser capaz de trabajar con los instrumentos, en base a las instrucciones del apoyo académico y utilizarlos para generar un análisis de la combustión del motor Mercedes-Benz OM366 LA.

La guía N°1 (Anexo P) tiene como objetivo principal, el acercar al alumno a las nuevas tecnologías con las que cuenta el laboratorio. Por lo tanto, se basa en el reconocimiento de los equipos, su instalación y la realización de un ensayo sencillo, que permita obtener la curva de presión en cámara, en el motor Mercedes-Benz OM366 LA.

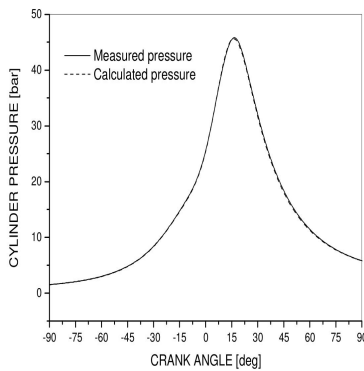
La guía N°2 (Anexo Q) pretende acercar al alumno a un análisis más completo de la combustión del motor. Incorpora los conceptos de cátedra acerca de los métodos teóricos y experimentales, para determinar los parámetros de combustión. El alumno debe ser capaz de calcular parámetros simples como la duración de la combustión, hasta parámetros complejos como la tasa de liberación de calor y la fracción de combustible quemado.

Los datos recopilados por los sistemas KISTLER instalados, permiten realizar un diagnóstico del estado de la combustión. Este diagnóstico, incorporado por las nuevas experiencias de laboratorio, se traduce en información acerca del potencial contaminante del motor, lo cual tiene un impacto significativo en estudios de emisiones, relevantes para el desarrollo de nuevas tecnologías en motores de combustión interna.

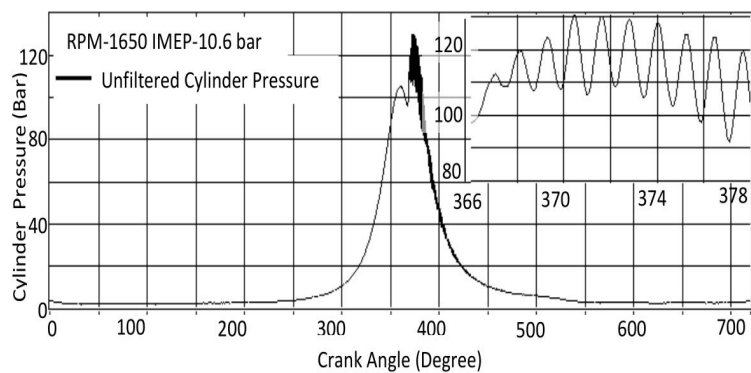
Actualmente está en desarrollo el proyecto PEMS-FONDEF [37], que tiene como objetivo la implementación de sistemas portátiles, para el monitoreo de material contaminante emitido por motores de combustión interna. El análisis se realiza a vehículos en ruta, por lo tanto, su desarrollo puede ser complementado con un análisis del motor en estado estacionario, y así entregar conclusiones globales. La parte estacionaria y preliminar del análisis de emisiones, se puede realizar en base a la información provista por los nuevos equipos KISTLER.

6.4. Cálculos esperados en Guías de Laboratorio

Dado que se desconocen los resultados experimentales que se obtendrán al utilizar los nuevos equipos incorporados al laboratorio de Termofluidos, se recurre a distintos trabajos en la comunidad científica, para realizar predicciones y para cotejar los valores que se obtengan empíricamente. En base al trabajo de Koustav Dey [38], se determina que la curva de presión de un motor Diesel difiere cualitativamente de la curva de presión de un motor de ciclo Otto. En la Figura 6.4 se muestra la comparación de estos dos ciclos, en la Figura 6.4b se presenta la curva típica que se obtiene al analizar un motor de ciclo Diesel, tomada del trabajo de Koustav Dey [38].



(a) Curva de Presión ciclo Otto
Fuente: V. Giglio, B. Iorio, G. Police, N. Rispoli.[39]



(b) Curva de Presión ciclo Diesel
Fuente: Dey, Koustav.[38]

Figura 6.4: Comparación curvas de presión - Ciclo Otto y Ciclo Diesel

La diferencia más evidente entre un ciclo y otro ocurre en el *peak* de presión. Mientras que las curvas de los motores de ciclo Otto presentan un único valor máximo, la curva de un motor de ciclo Diesel presenta dos zonas con *peak*. Si se calcula su derivada, existen más de un punto en dónde ésta cambia de signo. Para obtener los datos exactos en los gráficos que se presentan en los distintos trabajos disponibles en la literatura, se utiliza un *software* libre que permite obtener de gráficos en imágenes, los datos numéricos de esos gráficos.

El *software* utilizado es *Engauge Digitizer* y a continuación se presentan sus resultados. Analizando el gráfico de la Figura 6.4b, se logra generar una lista exportable a *Excel*, la cual contiene 1471 datos de presión en función del ángulo del cigüeñal. La cantidad de datos depende de la precisión que se requiera, pues la selección de los puntos se realiza de forma semi-automática.

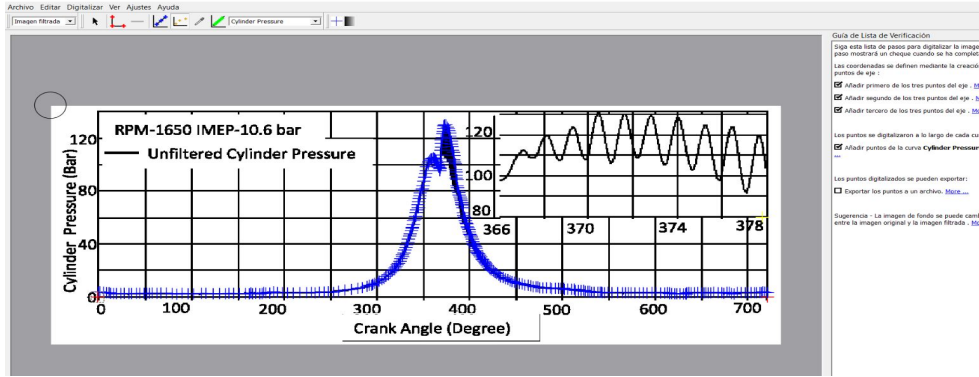


Figura 6.5: *Software Engauge Digitizer*

En la Figura 6.5 se presenta el gráfico de la Figura 6.4b digitalizado punto por punto, para la obtención de los datos en formato de lista, de modo que sea editable y poder realizar los análisis de combustión que se requirieren. En la Figura 6.6 se presenta el resultado de esta digitalización, en forma de gráfico *Excel*, los datos recopilados se ajustan en forma precisa a los entregados por la imagen, por lo tanto se puede extrapolar el método para analizar gráficos del motor Mercedes-Benz OM366 La, que se encuentren disponibles en la literatura.

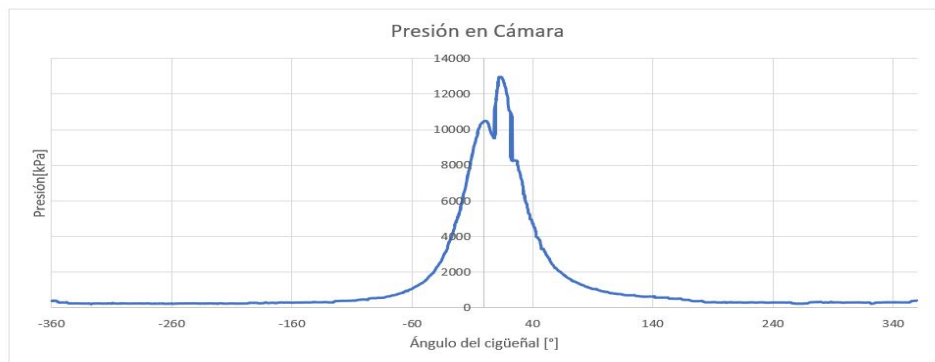


Figura 6.6: Datos obtenidos mediante *Engauge Digitizer*

El trabajo de Evangelos G Giakoumis, Constantine D Rakopoulos, Athanasios M Dimaratos y Dimitrios C Rakopoulos [10] fue realizado en un motor Mercedes-Benz OM366 LA, por lo tanto representa una fuente de información relevante para la comparación de datos obtenidos por los equipos instalados en el laboratorio de Motores. La curva de presión que se muestra, representa el comportamiento del ciclo de trabajo, con el motor funcionando a un 80 % de carga. Este trabajo, permite la visualización de la presión al interior de la cámara de combustión del motor real a utilizar y ejemplificar el método de análisis que pretenden desarrollar las guías de laboratorio.

6.4.1. Guía N°1: Curva de presión en cámara motor OM366 LA

La guía N°1 tiene como objetivo principal acercar al estudiante a los nuevos instrumentos de medición del laboratorio de Motores, por lo tanto la mayor parte de ella es de carácter descriptivo e investigativo. Para ello el estudiante debe aprender cómo están conectados los instrumentos, cómo funcionan y cómo se configuran. Para corroborar el correcto montaje y configuración, al final de la experiencia los estudiantes realizan una medición de la presión en la cámara de combustión, con el motor en ralentí.

El análisis que se les solicita respecto de los datos de presión obtenidos, está orientado a reforzar el estudio del diagrama de válvulas de un motor, para ello se les solicita que identifiquen la situación de las válvulas en las distintas zonas del gráfico de presión.

6.4.2. Guía N°2: Parámetros para análisis de combustión

Para la ejemplificación del análisis de combustión, se utilizarán los datos del gráfico del motor Mercedes-Benz OM366 LA a un 80 % de carga y el *peak* se calcula con un gráfico al 75 % de carga, el cual aporta datos más detallados en el rango del *peak* de presión.

Para el análisis de combustión se utilizan los datos de presión obtenidos mediante *Engauge Digitizer* y los datos del motor que se encuentran en el manual del motor y están listados en el trabajo del equipo de Evangelos G. Giakoumis [10], estos datos se encuentran resumidos en la Tabla 6.2.

Tabla 6.2: Datos Motor Mercedes-Benz OM366 LA

Diámetro	(B)	97.5	[mm]
Carrera	(S)	133	[mm]
Relación de compresión	(r_c)	18:1	[-]
Manivela	(a)	66.5	[mm]
Biela	(l)	230	[mm]
Parámetros Calculados			
Relación Biela-Manivela	(R)	3.46	[-]
Volumen de desplazamiento	(V_d)	0.000993	[m3]
Volumen muerto	(V_c)	6.41E-05	[m3]

Adaptado de E. Giakoumis, C. Rakopoulos, A. Dimaratos and D. Rakopoulos. (2011). "Combustion noise radiation during the acceleration of a turbocharged diesel engine operating with biodiesel or n-butanol diesel fuel blends"

El método para calcular el diagrama indicador se realiza en base logarítmica, utilizando como variable dependiente el logaritmo de la presión y como variable independiente, el cálculo del volumen

de desplazamiento en función del ángulo (Ecuación 7.4) en razón del volumen de desplazamiento máximo que tiene la cámara de combustión. Los puntos X e Y del diagrama indicador son calculados como se presenta en la Ecuación 6.13.

$$X(\theta) = \text{Log}(V/V_{Max}) \quad ; \quad Y(\theta) = \text{Log}(P) \quad (6.13)$$

En la Figura 6.7 se muestra el diagrama indicador generado mediante este método. Los datos de esta curva permiten el cálculo de los coeficientes politrópicos de expansión y de compresión. Adicionalmente, dado que se ha registrado el volumen de desplazamiento en función del ángulo, es posible generar el gráfico que muestra la situación del volumen al interior de la cámara de combustión (Figura 6.8).

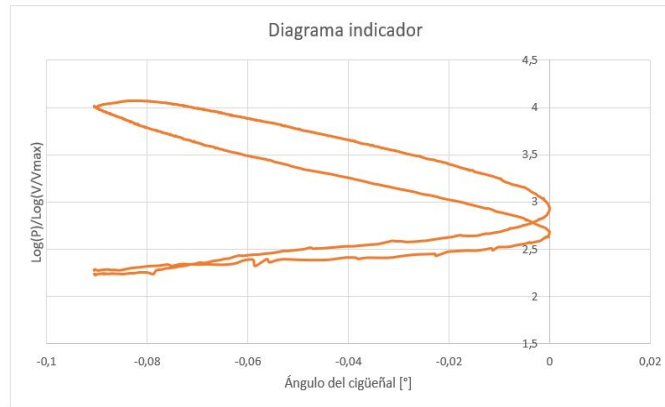


Figura 6.7: Diagrama Indicador

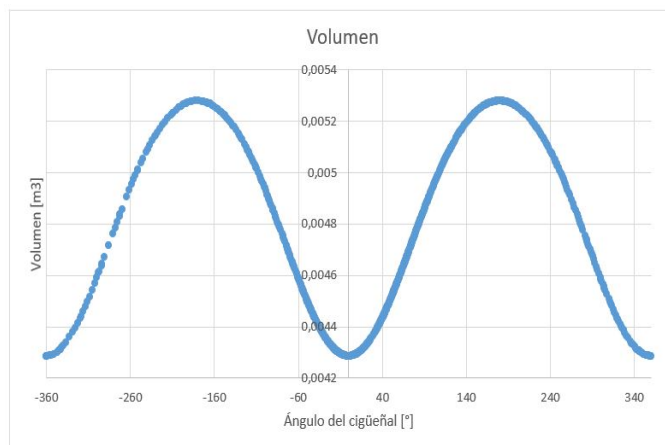
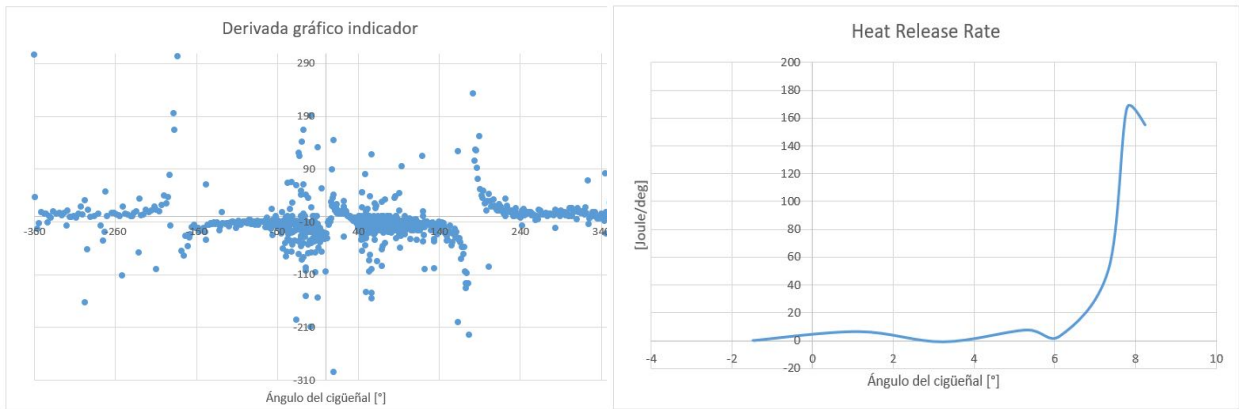


Figura 6.8: Volumen Instantáneo

Al calcular la primera derivada del diagrama indicador, se obtiene el gráfico mostrado en la Figura 6.9a, en el cual es posible determinar el inicio de la combustión así como el final de la combustión. Esto se logra observando los ángulos en los cuales el gráfico alcanza una asíntota y se indetermina. Para el cálculo de la tasa de liberación de calor, se utiliza la Ecuación 7.5 aplicada a los datos de presión y volumen que se obtienen del gráfico a 75 % de carga. Los datos que se obtienen con el método de digitalización no permiten obtener una alta resolución en cuanto al ángulo del cigüeñal, por lo tanto se dificulta el obtener una curva detallada en un rango tan acotado, como es el caso de la curva de tasa de liberación de calor. No obstante se genera una gráfica que permite obtener la tendencia de los datos, se puede notar que la curva presenta una tendencia creciente.



(a) Primera Derivada Diagrama Indicador

(b) Tasa de liberación de calor

Figura 6.9: Análisis de la combustión

Finalmente, la última curva que se espera de los cálculos realizados a partir de un análisis de la curva de presión en la cámara de combustión, es la fracción de quemados. Esta curva señala la cantidad de combustible que se quema al avanzar la combustión, una fracción de 1 indica que todo el combustible ha sido quemado y por lo tanto la combustión ha terminado. No obstante, existen distintos criterios para situar el momento exacto en que ocurre el fin de la combustión en base a la fracción de quemados, así como también existen estos criterios para señalar el comienzo de la combustión.

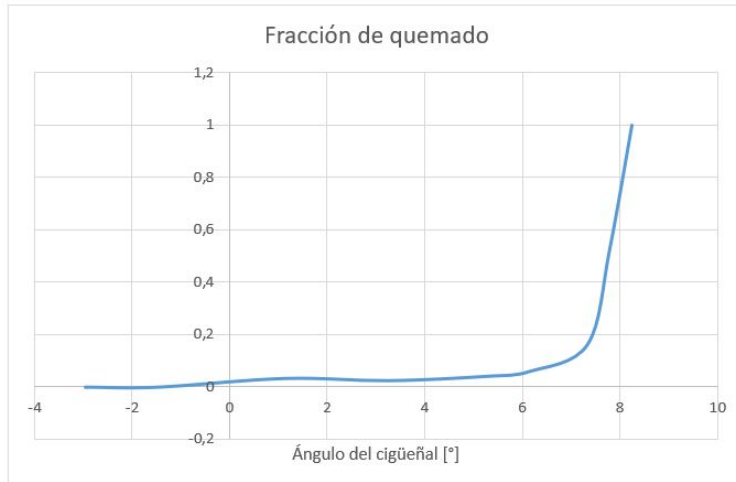


Figura 6.10: Fracción de Quemados

En la Figura 6.10 se presenta la curva de la fracción de quemados, como es de esperarse ésta es creciente y llega a un valor máximo de 1. El alumno debe generar esta curva con los datos obtenidos en el motor Mercedes-Benz OM366 LA y en base a los distintos criterios presentes en la literatura, realizar el análisis correspondiente para situar el inicio de la combustión, el fin de la combustión y por lo tanto la duración de la combustión.

Posteriormente el alumno debe buscar en la literatura los métodos numéricos que existen para determinar la fracción de quemados, particularmente el método de *Wiebe* y ser capaz de contrastar los resultados que derivan de ese análisis, con los datos que se obtienen experimentalmente en los ensayos en el motor Mercedes-Benz OM366 LA, mediante los sensores KISTLER y los equipos de adquisición de datos *National Instruments*.

Capítulo 7

Conclusiones y Recomendaciones

En base al trabajo desarrollado en las distintas secciones y a los resultados obtenidos a partir de ello, se desprenden las siguientes conclusiones principales:

- ✓ Se ha determinado, mediante las herramientas CAD disponibles, el lugar de instalación del sensor de presión para la cámara de combustión. Mediante el modelado 3D de la culata del motor, se pudo simular la instalación del sensor en la culata y mediante la elaboración de planos, se pudo fijar un estándar para futuras instalaciones en este tipo de motores.
- ✓ El montaje y prueba de los equipos no ha sido realizado en terreno debido a condiciones externas al proyecto. Sin embargo, el desarrollo de las actividades a realizar está completo. Se ha diseñado el plan de manufactura para la instalación del sensor de presión, los sensores de temperatura han sido comprados y ya están dentro del inventario del laboratorio, al igual que el equipo de adquisición de datos.
El equipo de adquisición de datos y los sistemas de amplificación y acondicionamiento de señal, requieren de un método específico de montaje, configuración y prueba. Esto ya ha sido desarrollado en este trabajo, se han creado los procedimientos para el montaje y prueba de todos los sistemas de medición desarrollados en esta memoria.
- ✓ Se han diseñado dos guías de laboratorio para las actividades docentes del laboratorio de Termodinámica. Estas guías están orientadas al reforzamiento de los conocimientos de las nuevas tecnologías disponibles en el estudio de los motores de combustión interna. La primera guía acerca al estudiante al funcionamiento de los nuevos instrumentos de medición con los que

cuenta la Universidad, mediante un análisis sencillo de los datos que entregan estos equipos. Por otra parte, la segunda guía desarrolla un análisis completo de la combustión, basado en el estudio de la curva de presión del motor, medida empíricamente por los nuevos instrumentos del laboratorio de Termofluidos.

- ✓ Finalmente se concluye que se ha logrado desarrollar un método para el montaje y la prueba de sensores de presión en el motor Diesel Mercedes-Benz OM366 LA. Esto permite la implementación de nuevas experiencias de laboratorio en el laboratorio de Termofluidos del DIMEC, a su vez se genera un precedente para futuros proyectos de instalación de sensores de presión, que se realicen tanto en este motor como en motores de otros modelos. El método aplica para aquellos motores de combustión interna en los cuales se pretende medir presión en la cámara de combustión, utilizando sensores piezoeléctricos.

7.1. Recomendaciones

Dado que el desarrollo de este trabajo comprende un primer acercamiento del laboratorio de Termofluidos, a la utilización de tecnología KISTLER en el campo del estudio de motores de combustión, se mencionan a continuación algunas recomendaciones para la etapa de diseño, desarrollo e instalación de nuevos sistemas de medición, ya sea en el motor Mercedes-Benz OM366 LA, o en motores diferentes:

1. En la etapa de selección del sensor piezoeléctrico, destinado a la medición de presión al interior de la cámara de combustión, procurar la adquisición de un sensor que permita ser montado en una camisa de montaje provista por el fabricante, pues esto garantiza un montaje bajo las condiciones recomendadas. Además, si se trabaja con KISTLER, procurar que el sensor cuente con tecnología “PiezoSmart”, esto permite una incorporación más sencilla del sensor al sistema de acondicionamiento de la señal.
2. Si se trabaja con un motor Mercedes-Benz OM366 LA, tomar en cuenta que la geometría de la culata es igual en los cilindros 1, 3 y 5 e igual en los cilindros 2, 4, 6. Por lo tanto la instalación proyectada en esta memoria se puede además realizar en los cilindros 2 y 4, pues para el resto de cilindros cambia la distribución de los ductos de admisión y escape y por lo

tanto el espacio para alojar la camisa del sensor.

Para el resto de motores, en el momento de realizar un levantamiento de la culata, se recomienda prestar especial atención en la zona media del cilindro, en la zona de la válvula de escape y en la zona de la válvula de admisión.

3. Al momento de proyectar la instalación del sensor, procurar que ésta sea vertical, es decir con el eje del sensor y la camisa, totalmente perpendicular a la superficie de la culata que está en contacto con la cámara de combustión. Esto simplifica el montaje desde el punto de vista del mecanizado.
4. Prestar especial cuidado a las dimensiones de la camisa del sensor. La camisa tiene dos puntos principales, la zona del sello con rosca y la zona del sello con *O-ring*. Considerar el largo de la camisa como punto crítico del diseño, de modo que las zonas que producen el sello queden situadas correctamente en la culata del motor.
5. Al seleccionar los módulos de adquisición de datos, se debe considerar el tipo de conexión que se requiere, Adicionalmente se debe considerar el rango de voltaje de la señal y el tipo de señal, vale decir, si es analógica o digital pues esto cambia totalmente el tipo de módulo que se necesita.
6. En consideración a futuras instalaciones es necesario mencionar que los sistemas KISTLER, permiten la conexión de múltiples sensores y sistemas de acondicionamiento de señal. Por otro lado, es factible monitorear múltiples sistemas a la vez, para ello se debe utilizar la conexión *Ethernet* en lugar de la conexión RS-232.
7. Finalmente, se recomienda que ante cualquier duda respecto a la programación del código en LabVIEW para la utilización de los equipos, se recurra a la documentación provista por *National Instruments* o directamente hacerse asesorar por uno de sus ingenieros capacitados en LabVIEW.

Bibliografía

- [1] Departamento de Ingeniería Mecánica-UTFSM. (2018). Laboratorios. 2020, de Departamento de Ingeniería Mecánica-UTFSM. Sitio web: <https://www.mecanica.usm.cl/laboratorios>
- [2] Edward F. Obert. (1999). *Motores de Combustión Interna: Análisis y Aplicaciones*. México: CECSA.
- [3] John B. Heywood. (1988). *Internal Combustion Engine Fundamentals. United States of America: McGraw-Hill*.
- [4] Buomsik Shin, Insoo Jung, Soonchan Pyo, and Yohan Chi. (2014). *A Model for Crank-Angle-Resolved Engine Cylinder Pressure Estimation*. SAE International. 2020, De SAE International Base de datos.
- [5] Brunt, M. and Platts, K. (1999) *Calculation of Heat Release in Direct Injection Diesel Engines*. SAE Technical Paper. 2020, De SAE International Base de datos.
- [6] Jing Wu, Andres Jacoby, Daniel Llamocca, and Brian Sangeorzan. (2018). *A Study of Combustion Control Parameter Optimization in a Diesel Engine Using Cylinder Pressure*. 2020, De SAE International Base de datos.
- [7] Günter F. Hohenberg. (1979). *Advanced Approaches for Heat Transfer Calculations*. 2020, de SAE Technical Paper Series.
- [8] Béla G. Lipták. (2003). Pressure Measurement. En *Process Measurement and Analysis* Third Edition (709-765). United States of America: CRC Press.
- [9] Tony Challoner - Warren Spring Laboratory, Gunnels Wood Rd, Stevenage, Herts. (1987). *Measuring process pressure-A users guide*. 2020, de Sage Journals.

- [10] Evangelos G Giakoumis, Constantine D Rakopoulos, Athanasios M Dimaratos and Dimitrios C Rakopoulos. (2011). "*Combustion noise radiation during the acceleration of a turbocharged diesel engine operating with biodiesel or n-butanol diesel fuel blends*". 2020, de SAGE Publications.
- [11] ISO 128-30: Basic conventions for views. Technical Committee ISO/TC 10, Technical product documentation, Subcommittee SC 1, First Edition 2001-04-01.
- [12] Abhishek Dixit, Vikas Dave, M.R. Baid.(2015). *WATER JET MACHINING: AN ADVANCE MANUFACTURING PROCESS*.(2020), de International Journal of Engineering Research and General Science, Volume 3, Issue 2, Part 2.
- [13] M5 Soluciones Industriales y Mecánicas Ltda. *Corte Por Agua: Perfecta solución para todo tipo de materiales*. (2020), de M5 Soluciones Industriales y Mecánicas Ltda Sitio web: <http://www.solucionesm5.cl/page/corte-por-agua>
- [14] Isabel Gil Alonso. (2014). *Introducción al corte por hilo*. 2020, de Brettis: Soluciones para la industria Sitio web: <https://www.brettis.com/blog/187-introduccion-al-corte-por-hilo>
- [15] Industrias Loher Mecanizados. (2020). *ELECTROEROSIÓN POR HILO*. 2020, de Industrias Loher Mecanizados Sitio web: <https://www.industriasloher.com/electroerosion-por-hilo/>
- [16] Henry Cave - Hartford,Conn. (1919). *THE DEVELOPMENT OF THE OXY-ACETYLENE WELDING AND CUTTING INDUSTRY IN THE UNITED STATES*. 2020, de Sage Journals.
- [17] Indura Grupo Air Products. (2020). *INDURA aporta ahorro, portabilidad y eficiencia a la industria metalmecánica con el proceso de Oxicorte*. 2020, de Indura Sitio web: <http://www.indura.cl/Mobile/cl/Menu/102>
- [18] Bogdan Nedić, Marko Janković, Miroslav Radovanović, Gordana Globočki Lakić. (2013). *QUALITY OF PLASMA CUTTING*. (2020), de ResearchGate
- [19] Flow: Shape Technologies Group. (2020). *Comparación de Procesos de Corte*. 2020, de Flow: Shape Technologies Group Sitio web: <https://www.flowwaterjet.es/Aprender/Corte-Comparativo-es.aspx#waterjet>

- [20] Mark W. Baldwin and Arvid G. Waschek. (1982). *The Laser: New Concepts in Manufacturing*. (2020), de SAE International Base de Datos.
- [21] John O. Curtis. (1973). *The Introduction of the Circular Saw in the Early 19th Century*. (2020), de Association for Preservation Technology International (APT) en JSTOR.
- [22] Kearney & Trecker. (1966). *Operator's Manual No. SC-64 for S-12 & S-15 Knee Type Milling Machines*. Kearney & Trecker Corporation. Milwaukee 14 Wisconsin: S Series Kearney & Trecker.
- [23] F. Zieher, F. Langmayr, A. Jelatancev and K. Wieser. (2005). *Thermal Mechanical Fatigue Simulation of Cast iron Cylinder Heads*. (2020), de SAE International Base de Datos.
- [24] Doru M. Stefanescu. (1990). *Classification and Basic Metallurgy of Cast Iron*. (2020), de ASM International.
- [25] Heinrich Gerling. (1984). *Alrededor de las MÁQUINAS-HERRAMIENTAS*. Barcelona, España: Editorial REVERTÉ S.A.
- [26] Kistler-Christoph R. Gossweiler-Prof. Dr. sc. techn.. (2006). *Sensors and Amplifiers for Combustion Analysis - A guide for the user*. Switzerland/Liechtenstein: Kistler Instrumente AG.
- [27] Kistler Group. (2018). *Instruction Manual Uncooled piezoelectric pressure sensors Types 6052, 6054, 6056, 6058, 6124, 6125, 6044, 6045*. Switzerland: Kistler Group.
- [28] Kistler Group. (2018). *Instruction Manual Piezoresistive pressure sensors Types 4007, 4011, 4043, 4045, 4073, 4075, 4049, 4065, 4067*. Switzerland: Kistler Group.
- [29] Kistler Group. (2018). *SCP Slim for engine indication, Signal conditioning system, with optional PiezoSmart*.Switzerland: Kistler Group.
- [30] Kistler Group. (2018). *Instruction Manual Charge Amplifier Type 5064D....*Switzerland: Kistler Group.
- [31] Kistler Group. (2018). *Instruction Manual Piezoresistive Amplifier Type 4665B1, Type 4665B2*.Switzerland: Kistler Group.

- [32] Kistler Group. (2018). *Instruction Manual Crank Angle Encoder Set Type 2614CK*....Switzerland: Kistler Group.
- [33] National Instruments. (2015). *NI 9401 Datasheet*. Austin, TX 78759-3504, USA: NATIONAL INSTRUMENTS CORP.
- [34] National Instruments. (2016). *NI 9215 Datasheet*. Austin, TX 78759-3504, USA: NATIONAL INSTRUMENTS CORP.
- [35] National Instruments. (2017). *NI 9213 Datasheet*. Austin, TX 78759-3504, USA: NATIONAL INSTRUMENTS CORP.
- [36] National Instruments. (2013). *NI cDAQ-9174 Specifications*. Austin, TX 78759-3504, USA: NATIONAL INSTRUMENTS CORP.
- [37] SomosNewCity SpA. (2019). CICLO DE SEMINARIOS: TRANSICION HACIA UNA MOVILIDAD SOSTENIBLE. Septiembre 2020, de FutureMobility Sitio web: <https://medium.com/@contacto.futuremobility/ciclo-de-seminarios-transici%C3%B3n-a-una-movilidad-sostenible-bad0d28fa8f2>
- [38] Dey, Koustav. (2012). “*CHARACTERIZATION AND REJECTION OF NOISE FROM IN-CYLINDER PRESSURE TRACES IN A DIESEL ENGINE*”. Electronic Theses and Dissertations. 121.
- [39] V. Giglio, B. Iorio, G. Police, N. Rispoli.(2005). “*In-cylinder Pressure Measurement for Control and Diagnostics in Spark Ignition Engines*”, de SAE Technical Paper Series.

Anexos

A. Catálogo Sensores 6052C y 4007D005FDS1

High-Temperature Pressure Sensor

Type 6052C...

for Engine Measuring Technology

High-temperature pressure sensor with very small dimensions are ideal for use in internal combustion engines with complex structural geometry of the cylinder head. The sensor is installed with front sealing in an M5x0,5 bore.

- Good temperature stability of the sensitivity
- High sensitivity
- Low thermal shock error
- Long service life due to front seal

Description

Type 6052C... uses a piezoelectric crystal which achieves high sensitivity in conjunction with an extremely small sensor structure. This sensitivity varies by not more than $\pm 1,0\%$ in the operating temperature range. The passive acceleration compensation patented by Kistler keeps the influence of engine vibrations to a minimum.

The front seal allows very good heat dissipation and thus briefly a maximum operating temperature of 400 °C. The diaphragm, optimized by finite element calculation, produces good measuring results and ensures a long service life.

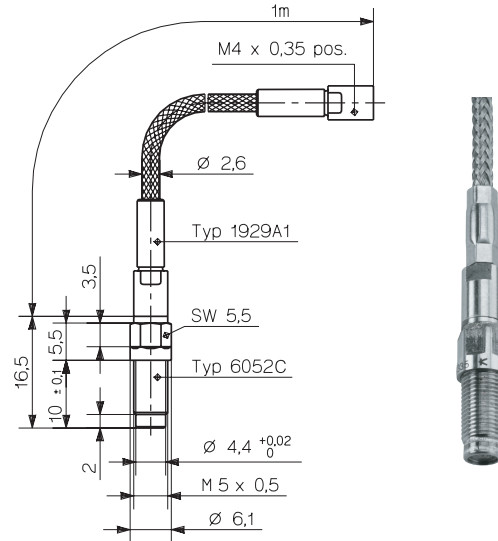
Application

The sensor Type 6052C... is an excellent all-rounder. Its rugged construction makes it suitable for measurements at the knock limit as well as for thermodynamic investigations. This sensor is used mainly on multi-valve engines, motor cycle and other small engines and for combustion analysis.

For applications mainly in the knocking range or at very high peak pressures, use of Type 6052C...U20 with reinforced diaphragm (heavy duty version) is recommended.

Type 6052C...U40 is provided with additional damping and is suitable for applications on engines with extremely high vibrations, e.g. racing engines.

These sensors are always provided with an integrated cable. For standard applications, a rugged cable with steel braiding Type 1929A1 is used. If the sensor connector is exposed directly to engine oil, e.g. when installed through the valve cover, the oil proof cable (IP67) Type 1983AA1 is recommended.



Technical Data

Type 6052C...

Measuring range	bar	0 ... 250
Calibrated partial ranges	bar	0 ... 50, 0 ... 100, 0 ... 150
Overload	bar	300
Sensitivity	pC/bar	≈ -20
Natural frequency (measuring element)	kHz	≈ 160
Linearity, all ranges (at 23 °C)	%/FSO	≤ ±0,4
Acceleration sensitivity		
axial	bar/g	< 0,0002
radial	bar/g	< 0,0005
Operating temperature range	°C	-20 ... 350
Temperature min./max.		-50 ... 400
Sensitivity change		
200 °C ± 50 °C	%	≤ ±0,5
23 ... 350 °C	%	≤ ±2
Thermal shock error		
(at 1500 1/min, p _{mi} = 9 bar)		
Δp (short time drift)	bar	≤ ±0,5
Δp _{mi}	%	≤ ±2
Δp _{max}	%	≤ ±1,5
Insulation resistance at 23 °C	Ω	≥ 10 ¹³
Shock resistance	g	2 000
Tightening torque	N·m	1,5
Capacitance, without cable	pF	5
Weight with cable	g	30
Connector, ceramic insulator	-	M4 x 0,35

Page 1/3

This information corresponds to the current state of knowledge. Kistler reserves the right to make technical changes. Liability for consequential damage resulting from the use of Kistler products is excluded.

©2006, Kistler Instrumente AG, PO Box, Eulachstr. 22, CH-8408 Winterthur
Tel +41 52 224 11 11, Fax +41 52 224 14 14, info@kistler.com, www.kistler.com

Accessories Included

- Cable according to ordering key
- Coupling M4 neg. – BNC pos.

Type

1705

Optional Accessories

- Spare cable with metal braiding, L = 1 m 1929A1
- Spare cable oil proof of Viton®, L = 1 m 1983AA1
- Coupling M4 neg. – 10-32 UNF neg. 1700A13
- Mounting sleeve incl. O-ring 6525Asp...
- Mounting key SW 5,5 1300A9
- Torque wrench 1 ... 6 N·m 1300A17
- Special tap M5x0,5 1357A
- Step drill 1300A51
- Dummy sensor (for Type 6052C...) 6445
- Extraction tool for dummy sensor 1319
- Adapter for pressure generator Type 6904 6585A
- O-ring for Mounting sleeve Type 6525 5.110.078
- Finishing tool for bore, bore depth ≤60 mm 1300A79
- Finishing tool for bore, bore depth ≤170 mm 1300A79Q01
- Adapter M8x0,75 6595
- Adapter M10x1 6595A1

Ordering Key

Type 6052C

Without PiezoSmart®	-
With PiezoSmart®	5

Cable Version

With metal braiding, Type 1929A...	3
Viton®, oil proof	7

Cable length

1 m	1
2 m	2
Cables with special length, specify cable length L in m (L _{min} = 0,15 m/L _{max} = 3,5 m)	9

Version

Standard	-
Reinforced diaphragm	U20
Additional damping	U40

Ordering Examples: Type 6052C...

- Version with 1 m braided cable Type 6052C31
- Version with PiezoSmart® and 1 m Viton® cable Type 6052CS41
- Version with PiezoSmart® and 1 m Viton® cable, and reinforced diaphragm Type 6052CS41U20
- Version with PiezoSmart®, braided cable L = 3 m and additional damping Type 6052CS39U40 L = 3 m

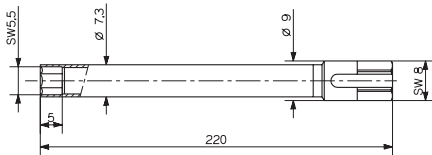


Fig. 4: Mounting key SW 5,5 Type 1300A9

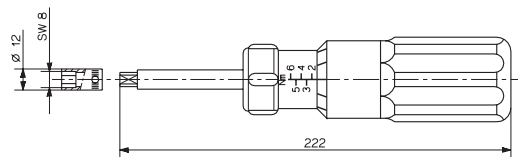


Fig. 5: Torque wrench 1 ... 6 N·m Type 1300A17

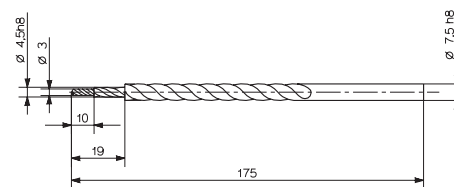


Fig. 8: Step drill Type 1300A51

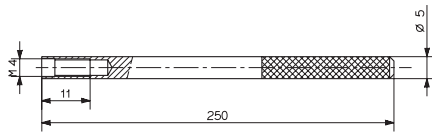


Fig. 6: Extraction tool for dummy sensor Type 1319

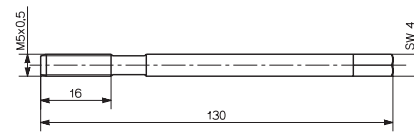


Fig. 9: Special tap M5x0,5 Type 1357A

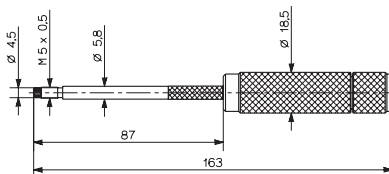


Fig. 7: Finishing tool for bore Type 1300A79

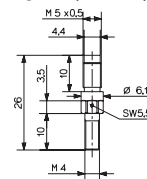


Fig. 10: Dummy sensor (for Type 6052C...)

6052C_000-552e-10.06

High temperature pressure sensor

Type 4007D...DS

for temperatures up to 200 °C

Universal M5 miniature absolute pressure sensor for operating temperatures up to 200 °C.

- Improved media compatibility
- Compact size (M5) and low mass
- High natural frequency and low acceleration sensitivity
- Digital temperature compensation
- Kink protection

Description

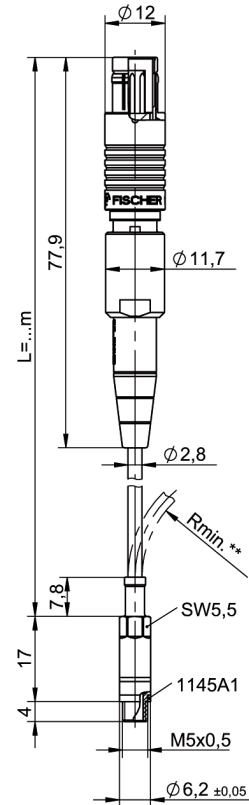
The piezoresistive pressure sensor Type 4007D...DS is a small, rugged high accuracy sensor capable of continuous high temperature operation up to 200 °C. Type 4007D...DS uses a fully active Wheatstone bridge to generate an electrical signal, which is proportional to the applied pressure. The resistors making up the Wheatstone bridge are implanted into a micro-machined silicon diaphragm which is formed using Silicon on Insulator (SOI) technology.

This approach, coupled with Kistler's DCE method of sensor construction, allows Type 4007D...DS to be exposed to media temperatures up to 200 °C while minimizing hysteresis and repeatability errors. Further performance improvements are made using digital compensation techniques whereby, the effects of zero offset and sensitivity changes due to temperature can be reduced without sacrificing signal bandwidth.

The digital compensation technique further allows a monitoring of the sensor temperature (amplifier Type 4665B... and 4624A...).

Application

The small size and excellent dynamic response of the sensor allows for high quality pressure measurements to be made in locations where other sensors may not fit. The sensor can be used in many ways and has particular proven in pressure measurements of gaseous and liquid media.



** Rmin. 21 fixed installation
Rmin. 42 free movement

Technical data

Measuring range	bar	0 ... 5, 0 ... 10, 0 ... 20, 0 ... 50, 0 ... 100, 0 ... 250
Overload	bar	15, 30, 40, 100, 200, 400
Electrical connection		Fischer connector 5 pole (S103A054)
Amplifier compatibility	Type	4665, 4665B, 4624A
Power supply		amplifier integrated
Reference temperature (Tref)	°C	25
Sensor temperature, min./max.	°C	-40/200
Temperature compensation		digital
Temperature compensation range	°C	25 ... 180

Technical data (continuation)

Max. deviation pressure*	%FSO	≤±1
Max. deviation temperature*	°C	≤±6
Linearity at Tref (LSQ)	%FSO	≤±0.2 ≤±0.3 (p≥100 bar)
Natural frequency	kHz	>100
Acceleration sensitivity	mbar/g	≤±0.1
Internal dead volume	mm ³	40
Media compatibility**	compatible with most auto- motive fluids and gases	
Clamping torque sensor	N·m	1.5 ... 2.5
Weight, without connector and cable	g	3
Degree of protection		IP67

* Measuring results based on digital compensation with DS-compatible amplifier. The deviations include measuring errors due to sensor characteristics (linearity, hysteresis, thermal effects) and a compensation model.

** Not suitable for measuring helium.

Installation

The sensor can be easily mounted directly into a simple threaded measuring port. When measuring compressible media with high flow dynamics (such as intake pressure measurement in combustion engines), a flush mount configuration must be ensured (Fig. 1).

Mounting

The sensor fitting must be machined in accordance with the data sheet specifications (Fig. 4) and it is essential to comply with the tightening torque of 1.5 ... 2.5 N·m when installing the sensor. The use of the correct installation tools is mandatory in particular the mounting tool Type 1300B12 (Fig. 8) and the torque wrench Type 1300A17 (Fig. 7).

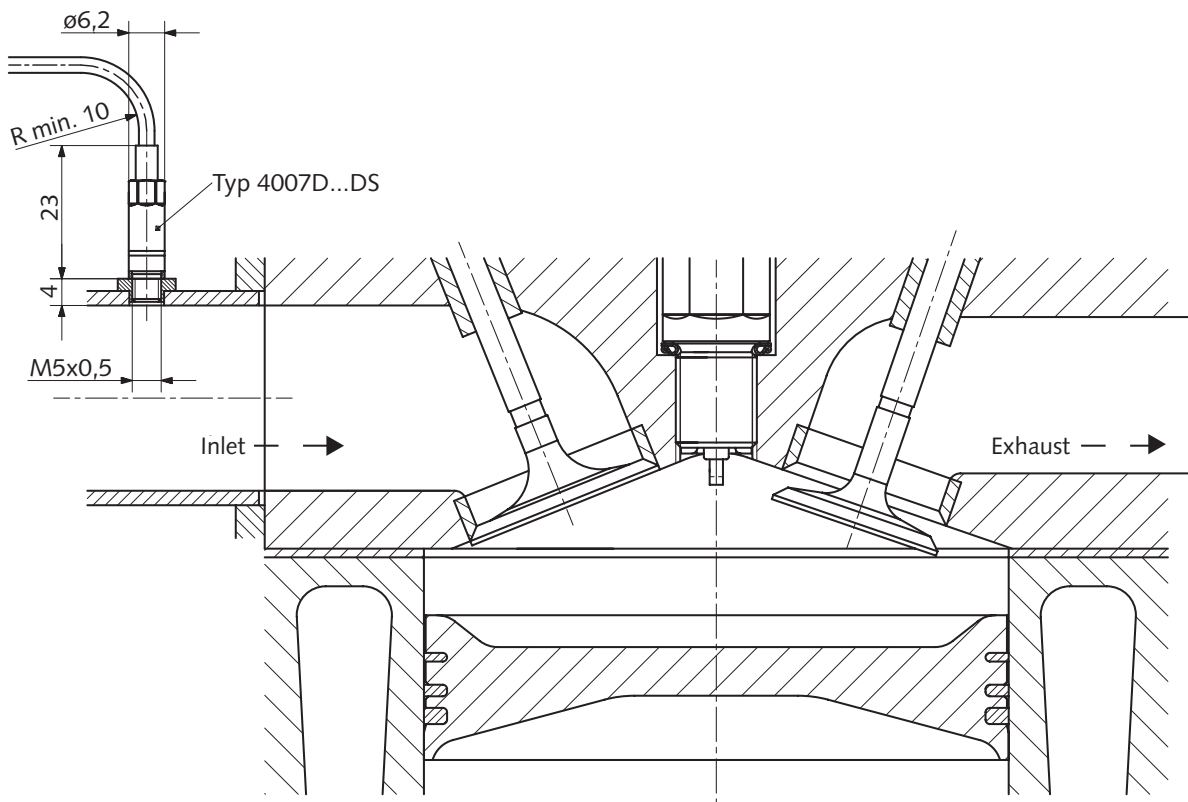
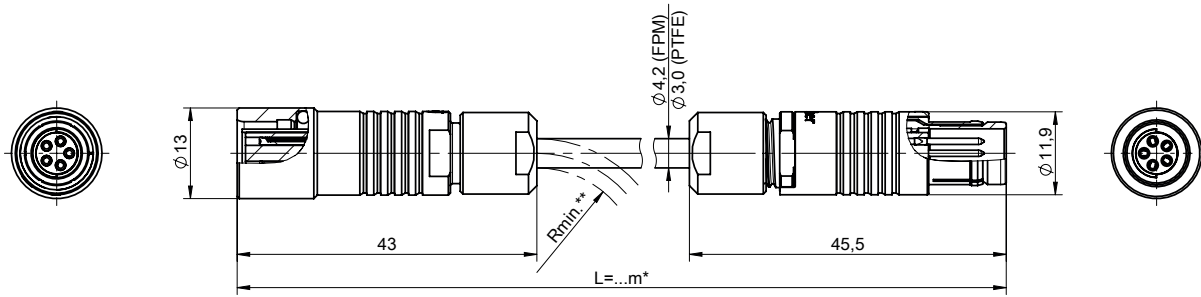


Fig. 1: Direct mounting of sensor Type 4007D...DS in the intake manifold

4007D_003-300e-05_19



* 0,2...10 m bei kundenspez. Länge /
customer-specific cable length

Kabel / cable Ø4,2 (FPM)

** Rmin.31,5 feste Verlegung / fixed installation
Rmin.63 freie Bewegung / free movement

Kabel / cable Ø3,0 (PTFE)

** Rmin.22,5 feste Verlegung / fixed installation
Rmin.45 freie Bewegung / free movement

Fig. 2: Extension cable Type 4785A_1

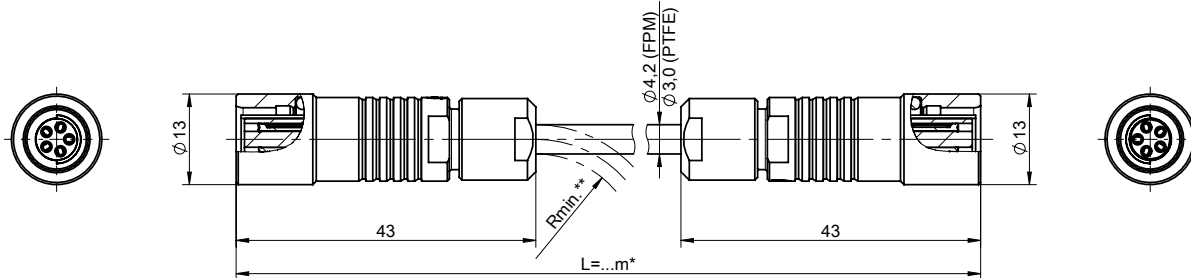


Fig. 3: Adapter cable Type 4785A_2

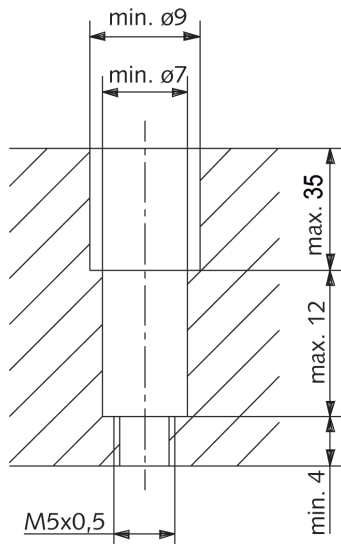


Fig. 4: Mounting bore for direct mounting

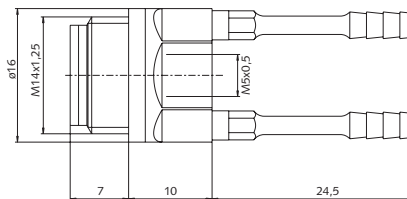


Fig. 5: Cooling adapter Type 7525A2

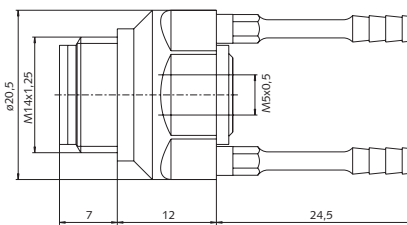


Fig. 6: Cooling adapter, damped Type 7525A6

4007D_003-300e-05.19

B. Vistas Culata de Motor OM366 LA

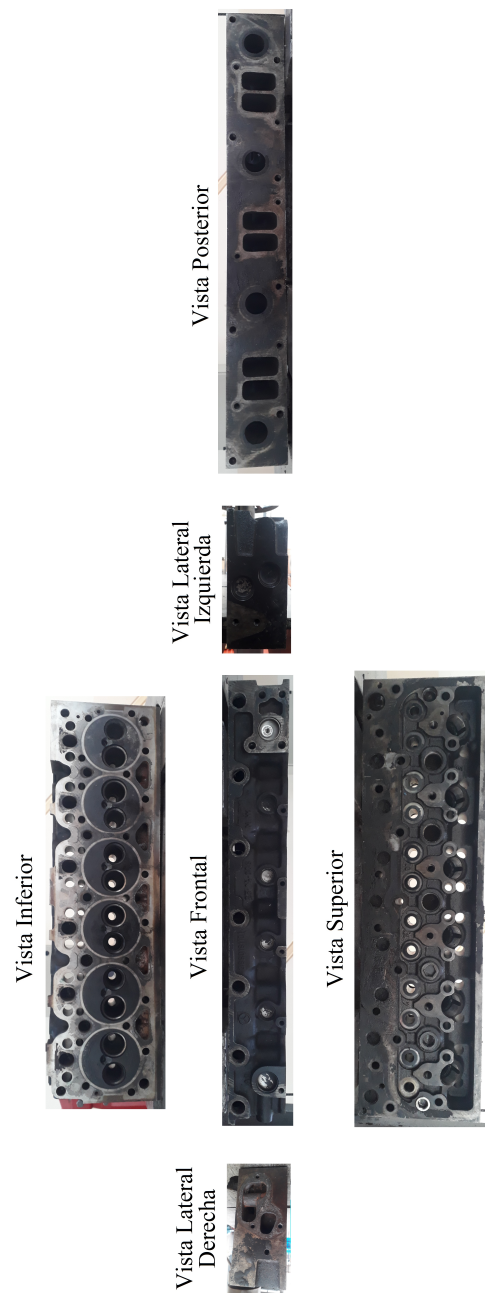





Figura 7.1: Vistas Ortogonales Culata de motor OM366 LA, dispuestas según norma ISO 128-82

C. Elementos para realizar mediciones en taller

Tabla 7.1: Elementos de Protección Personal en Taller Metalmecánica

Elemento de Protección Personal (EPP)	Descripción	
Buzo u overol	El overol es una prenda que se utiliza para proteger el cuerpo, usualmente se coloca encima de la ropa o directamente sobre el cuerpo. Utilizado ampliamente en la industria en general, consiste en una sola pieza que cubre desde los tobillos hasta el cuello y se le ponen cintas reflectantes para aumentar su visibilidad.	
Calzado de seguridad	El calzado de seguridad es cualquier calzado destinado a entregar cierta protección del pie contra los riesgos asociados a la actividad laboral. Como los dedos de los pies son las partes más expuestas a las lesiones por impacto, la puntera metálica es el elemento esencial en todo calzado de seguridad, además de la suela antideslizante para disminuir el riesgo de caída.	
Lentes de seguridad	Lentes de policarbonato que ofrecen la mejor resistencia al impacto, este material absorbe energía sin romperse y cuando falla no se fragmenta dañando el ojo del usuario. Los lentes de seguridad de policarbonato si bien ofrecen un alto nivel de protección ocular, son vulnerables a los rayones, por lo tanto se recomienda lavarlos diariamente con agua limpia para quitar partículas que puedan rayarlos y secarlos diariamente para evitar la acumulación de estática.	

Fuente: Duerto Protección Laboral.(2015). *Equipos de protección individual*. Recuperado de <https://duerto.com>

Tabla 7.2: Instrumentos de Medición

Instrumento	Rango	Resolución
Pie de metro	0-150 [mm]	0.02 [mm]
	0-150 [mm]	0.05 [mm]
	0-300 [mm]	0.02 [mm]
	0-1000 [mm]	0.1 [mm]
Transportador de Ángulos	0-180°	1°
Profundímetro	0-150 [mm]	0.02 [mm]

D. Mediciones generales Culata OM366 LA

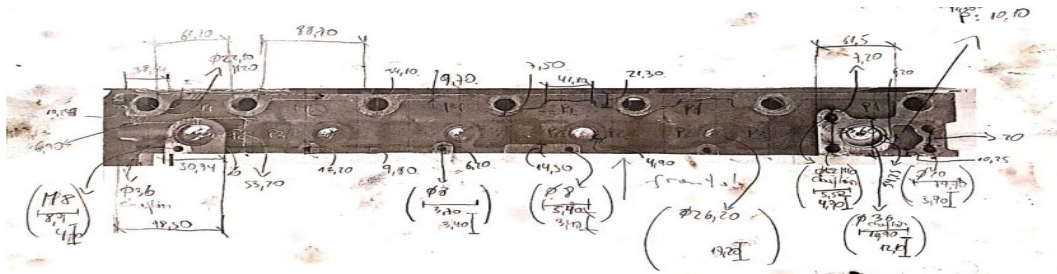
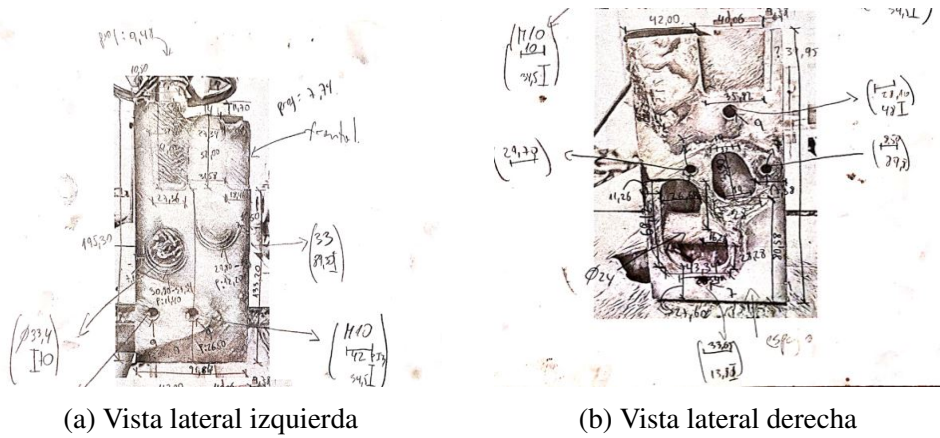


Figura 7.2: Mediciones Vista Frontal



(a) Vista lateral izquierda

(b) Vista lateral derecha

Figura 7.3: Vistas Laterales

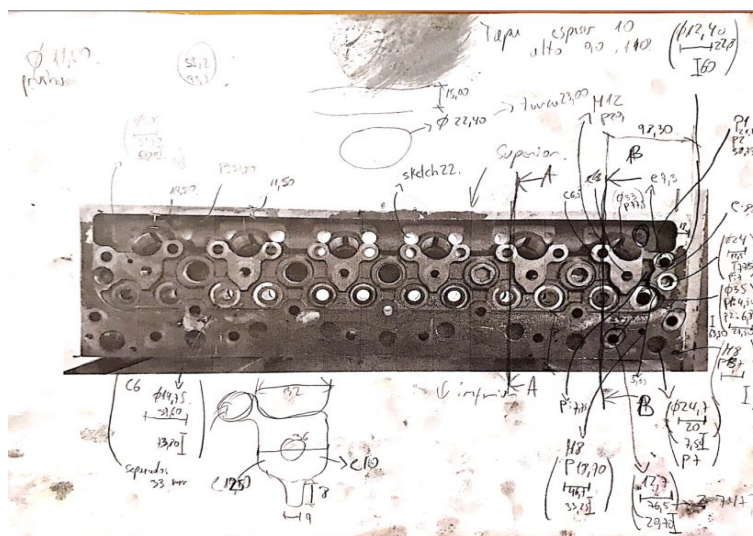


Figura 7.4: Vista Superior

E. Catálogo *Tester de Dureza TH-110*

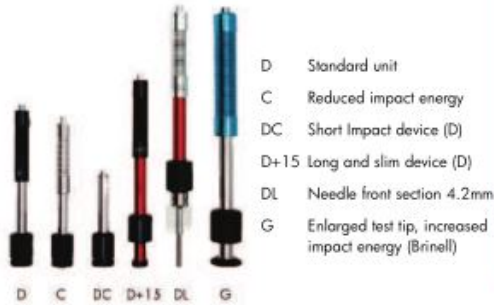
Q-SUPPLIES GmbH
TOP QUALITY INDUSTRIAL PRODUCTS

PORTABLE HARDNESS TESTER TH-110

Portable, dynamic hardness tester with changeable impact body

- Test results appear directly on the large display
- According to ASTM and DIN standards
- Display scales HRC, HRB, HV, HB, HS and conversion to tensile strength
- Highly accurate readings $\pm 6\text{HLD}$
- Correction for impact direction 360 degrees
- Chargeable battery pack to ensure many hours of undisturbed testing and printing
- Direct keys for easy set up of testing parameters
- Mini-printer installed on the main unit
- Ridged ABS anti-shock casing with sealed keypad

IMPACT DEVICES FOR SPECIAL APPLICATIONS



Technical specifications		Standard delivery		Optional accessories	
Hardness parameters	HL, HRB, HRC, HV, HB, HS	■ Instrument with impact device type D	■ Special impact devices (see next page)	■ Special impact devices (see next page)	
Tensile strength U.T.S.	ab from 374 to 2652 range (steel only)	■ Printer on top	■ UKAS Reference hardness blocks	■ UKAS Reference hardness blocks	
Accuracy	Within $\pm 6\text{HLD}$	■ Hardness test block with HLD value	■ Support rings for convex, concave and spherical surfaces	■ Support rings for convex, concave and spherical surfaces	
Printer	Printer showing all test results and settings	■ Charger			
Statistics	Average value	■ Cleaning brush			
Impact device	D (standard)	■ Coupling paste			
Optional impact devices	DC, D+15, DL, G, C	■ Support ring small			
Max. hardness value	940HV - 1000HV	■ INNOVATEST® certificate			
Workpiece radius (convex/concave)	Rmin = 50mm (with support ring Rmin = 10mm)	■ Manual			
Workpiece min. thickness coupled	5mm (except with impact device G: 10mm, C: 1mm)	■ Carrying case			
Workpiece min. case hardened depth	0.8mm, except C impact device 0.2mm and G impact device 1.2mm				
Power	Rechargeable NiMH battery pack				
Charger	12V, 600mA (1.8VA)				
Charging time	2.5 - 4 hours				
Operating temperature	0°C to 40°C				
Overall dimensions	235mm x 90mm x 47mm				
Weight	615gr (incl. Impact device and printer)				

PORTABLE HARDNESS TESTER TH-110

Portable hardness tester with built-in printer

Materials and hardness range

Material	HL	HRB	HRC	HRA	HB	HV	HS
Steel and cast steel	300 - 900	38 - 100	20 - 68	60 - 85	81 - 654	81 - 955	32 - 100
Cold work tool steel	300 - 840	-	20 - 68	-	-	80 - 898	-
Stainless steel	300 - 800	46 - 101	-	-	85 - 655	85 - 802	-
Grey cast iron	360 - 650	-	-	-	93 - 334	-	-
Cast aluminium alloys	200 - 570	23 - 84	-	-	19 - 164	-	-
Brass	200 - 550	13 - 95	-	-	40 - 173	-	-
Bronze	300 - 700	-	-	-	60 - 290	-	-
Copper	200 - 690	-	-	-	43 - 315	-	-



Impact device D Universal standard unit. For the majority of hardness testing assignments.

Impact device C Reduced impact energy (approximately 1/4 of type D): Surface hardened components, coatings, thin walled or impact sensitive components (small measuring indentation).

Schlaggerät DC Extremely short impact device. Spring loaded with a special loading stick. Otherwise as for type D. Use in very confined spaces, e.g. in holes, cylinders or for internal measurements on assembled machines.

Schlaggerät D+15 Particularly slim front section and with measuring coil moved back. Hardness measurements in grooves and on recessed surfaces.

Schlaggerät DL Needle front section Ø4.2mm, length 50mm. Measurements in extremely confined spaces.

Schlaggerät G Enlarged test tip, increased impact energy (approximately 9 times that of type D). Low demands on measuring surface finish. For measurements in the Brinell range only (max. 650 HB). Solid components, e.g. heavy castings and forgings.

Technical specifications for impact devices

Impact devices	D / DC / DL	D+15	C	G	E
Impact energy	11 Nmm	11 Nmm	3 Nmm	90 Nmm	11 Nmm
Mass of impact body	5.5gr (DL: 7.3gr)	7.8gr	3.0gr	20gr	5.5gr
Test tip:					
- Hardness	1600HV	1600HV	1600HV	1600HV	5000HV
- Diameter	3mm	3mm	3mm	5mm	3mm
- Material	Tungsten carbide	Tungsten carbide	Tungsten carbide	Tungsten carbide	Diamant
Impact body:					
- Diameter	20mm	20mm	20mm	30mm	20mm
- Length	147/86mm	162mm	141mm	254mm	155mm
- Weight	70/50gr	80gr	75gr	250gr	80gr
Max. hardness of sample	940HV	940HV	1000HV	650HB	1200HV
Preparation of surface					
- Roughness class ISO	N7	N7	N5	N9	N7
- Max. roughness depth Rt	10µm	10µm	2.5µm	30µm	10µm
- Average roughness Ra	2µm	2µm	0.4µm	7µm	2µm
Min. weight of sample:					
- Of compact shape	5kg	5kg	1.5kg	15kg	5kg
- On solid support	2kg	2kg	0.5kg	5kg	2kg
- Coupled on plate	0.1kg	0.1kg	0.02kg	0.5kg	0.1kg
Min. thickness of sample:					
- Coupled	3Mm	3Mm	1Mm	10mm	3Mm
- Min. thickness of hardened layers	0.8mm	0.8mm	0.2mm	1.2mm	0.8mm
Diameter a. Depth of indentation					
- With 300 HV	Ø / Tiefe 0.54mm / 24µm	Ø / Tiefe 0.54mm / 24µm	Ø / Tiefe 0.38mm / 12µm	Ø / Tiefe 1.03mm / 53µm	Ø / Tiefe 0.54mm / 24µm
- With 600 HV	0.45mm / 17µm	0.45mm / 17µm	0.32mm / 8µm	0.90mm / 41µm	0.45mm / 17µm
- With 800 HV	0.35mm / 10µm	0.35mm / 10µm	0.30mm / 7µm	-	0.35mm / 10µm

F. Planos Fresadora Milwaukee 307 S-12

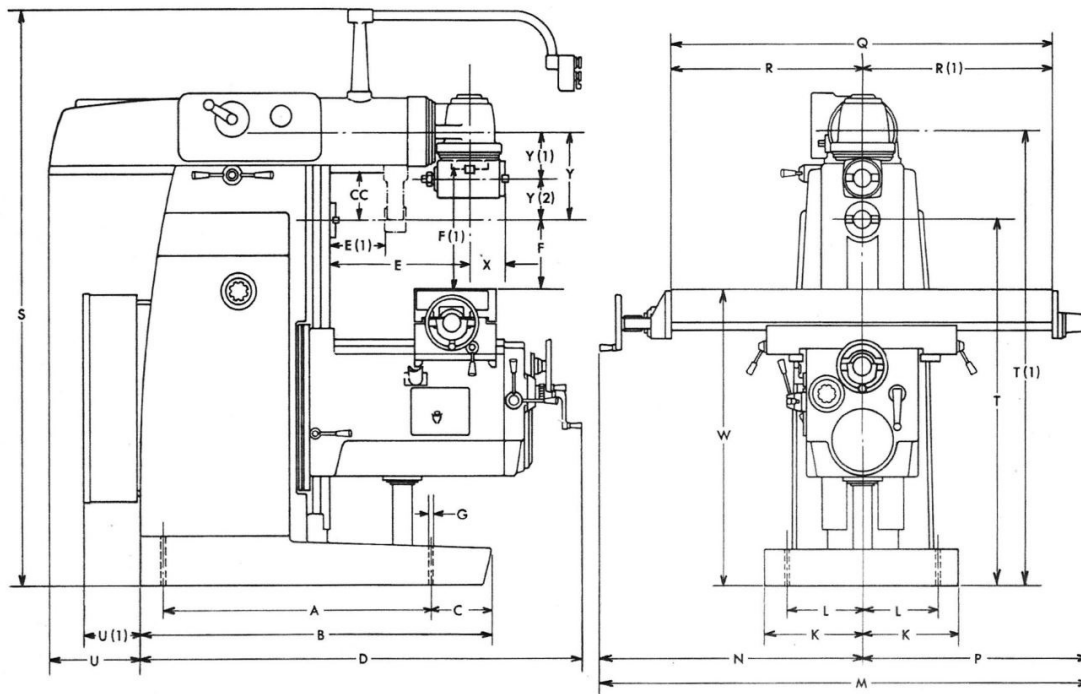


Figura 7.7: Plano Fresa Milwaukee 307 S-12

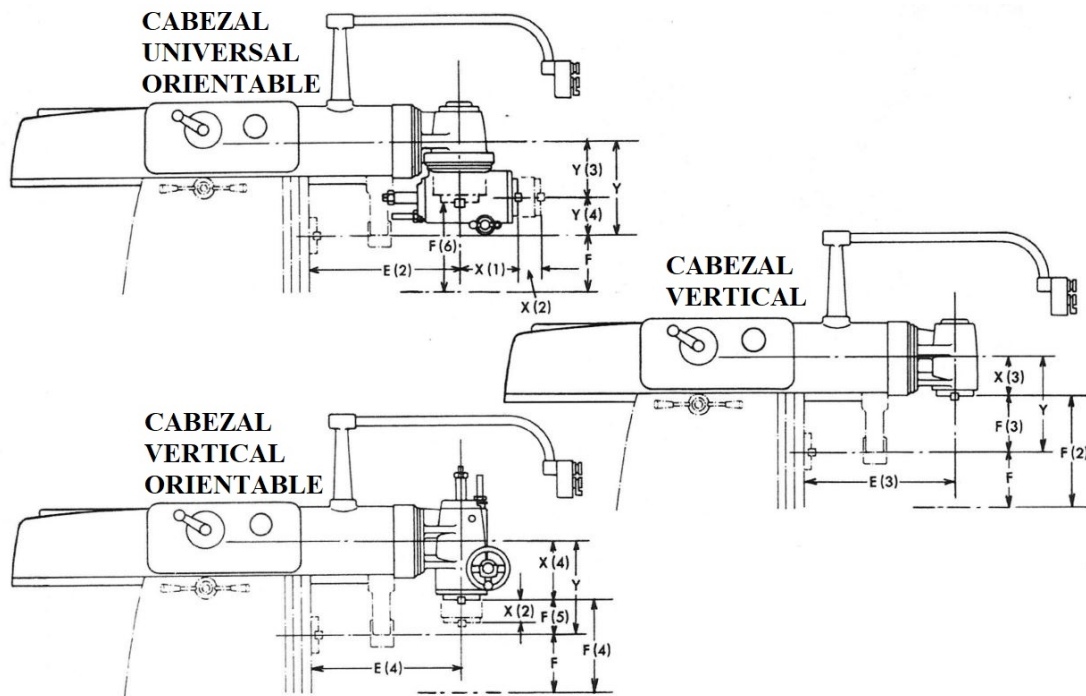


Figura 7.8: Plano Cabezales Fresa Milwaukee 307 S-12

Tabla 7.3: Cotas correspondientes a los planos de las Figuras 7.7 y 7.8

A	B	C	D	E (Mín)	E (Máx)	E (1)	E (2)
39 1/2	52	9 1/8	70 1/2	9	35 3/8	23 9/16	35 3/8
E (3)	E (4)	F (Mín)	F (Máx, Plain)		F (Máx, Univ.)		F (1) Plain
35 3/8	35 3/8	0	18 1/4		16 5/8		25 7/8
F (1) Univ.	F (2) Plain	F(2) Univ.	F (3)	F (4) Plain	F (4) Univ.	F (5)	F (6) Plain
24 1/4	25 7/8	24 1/4	7 5/8	23	21 3/8	4 3/4	23
F (6) Univ.	G	K	L Front	L Rear	M Plain	M Univ.	N
21 3/8	13/16	14	11	11 1/2	79 7/8	79 5/8	60 1/2
P Plain	P Univ.	Q	R	R (1)	S	T	T (1)
53 7/8	53 5/8	62 1/2	48 1/2	48	82 1/2	52 3/8	65 1/8
U	U (1)	W Min. Plain		W Min. Univ.		X	X (1)
30	8	34 1/8		35 3/4		5 1/8	8
X (2)	X (3)	X (4)	Y	Y (1)	Y (2)	Y (3)	Y (4)
3	5 1/8	8	12 3/4	6 5/8	6 1/8	7 1/2	5 1/4
				CC			
				7			

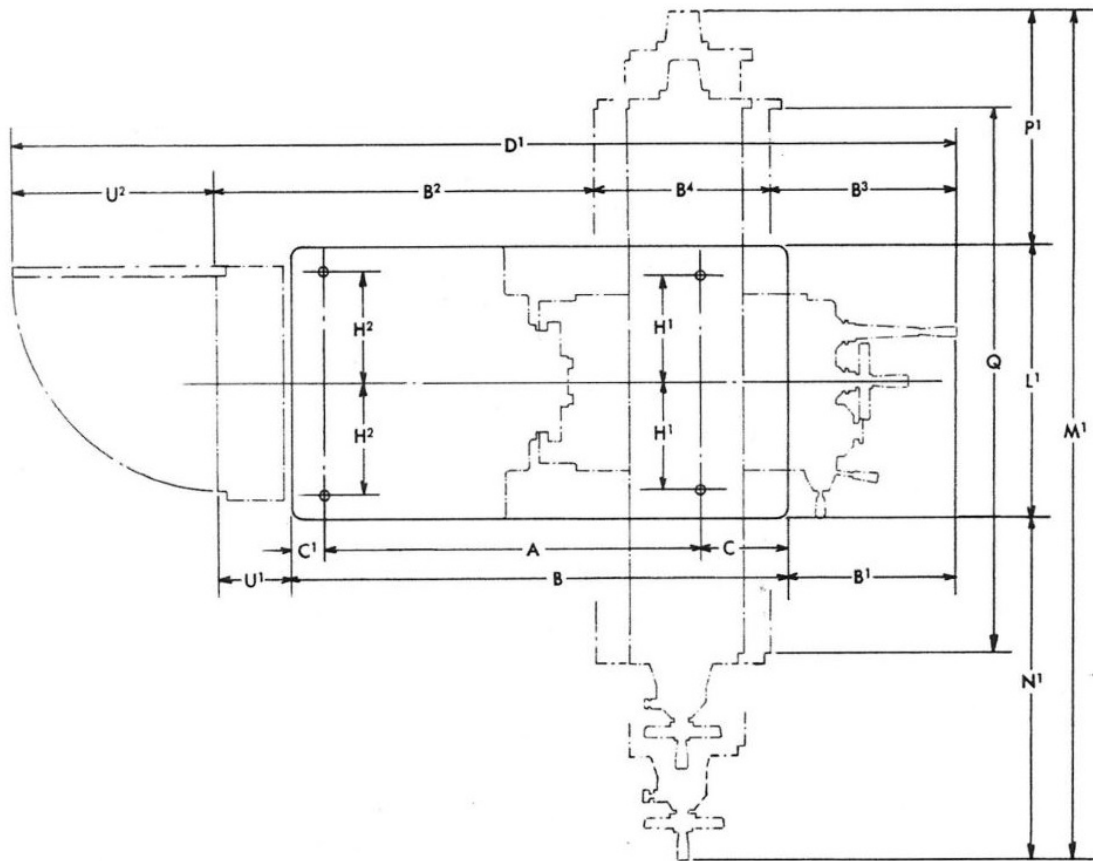


Figura 7.9: Plano Fresa *Milwaukee* 307 S-12 en Planta

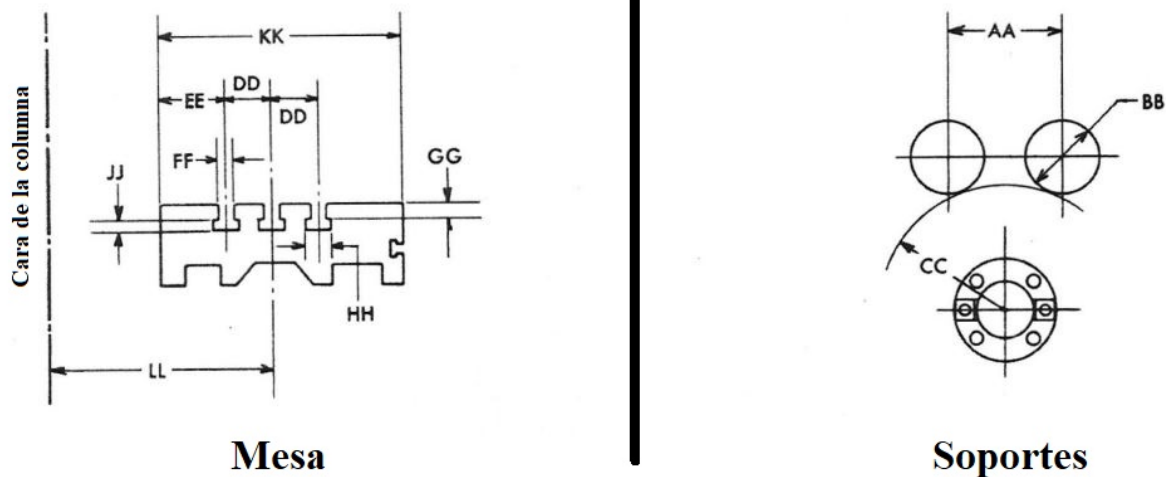


Figura 7.10: Planos Mesa y Soportes de Fresa *Milwaukee* 307 S-12 en Planta

Tabla 7.4: Cotas correspondientes a los planos de las Figuras 7.9 y 7.10

A	B	B ¹	B ²	B ³
39 1/2	52	18 1/2	38 3/8	16 1/8
B ⁴	C	C ¹	D ¹	H ¹
24	9 1/8	3 3/8	100 1/2	11
H ²	L ¹	M ¹	N ¹	P ¹
11 1/2	28	114 3/8	46 1/2	39 7/8
Q	U ¹	U ²	AA	BB
62 1/2	8	22	5 5/8	3 5/8
CC	DD	EE	FF	GG
6 3/16	2 1/4	3 1/4	11/16	3/4
HH	JJ	KK	LL Mín.	LL Máx.
1 1/4	1/2	12	7 3/8	17 5/8

G. Tipos de Discos de Corte

Tabla 7.5: Discos de Corte Según Materiales

Material de la Hoja de Sierra	Características	Usos
Acero para herramienta	<ul style="list-style-type: none"> • Hojas íntegramente de acero al carbono templado. • Son económicas y funcionan bien para cortar madera blanda, pero se desafilan rápidamente en madera dura. 	<ul style="list-style-type: none"> • Madera blanda. • Tubos de acero de poco espesor. • Materiales no ferrosos.
Acero Rápido HSS	<ul style="list-style-type: none"> • Hojas de acero al carbono templado con puntas con aleación de cobalto, cromo, molibdeno y vanadio. • Se obtienen buenos acabados superficiales, pero no conviene utilizarlas en maderas abrasivas ni con tableros aglomerados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Madera blanda y semidura. • Acero y acero inox. • Materiales ferrosos y de fundición. • Tubos. • Plástico. • Aluminio.
Carburo	<p>Hojas de acero al carbono templado generalmente provistos de ranuras de expansión para reducir el calentamiento y evitar torceduras. Pueden ser de dos tipos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Con dientes de carburos metálicos sinterizados (polvo de carburo de tungsteno + carburo de cobalto). • Con dientes que tienen insertos de metal duro HM (widia): permiten obtener acabados óptimos y excelente duración. 	<ul style="list-style-type: none"> • Madera blanda, semidura y dura. • Aglomerados. • Melamínicos. • Plásticos. • Aluminio, acero, cobre y metales no ferrosos.
Diamante	<ul style="list-style-type: none"> • Hojas de acero al carbono templado con borde continuo o segmentado de diamante policristalino (PCD). • Generalmente no contienen dientes. • Excepcional dureza. • Rendimiento muy superior a los insertos de metal duro. • Ideales para materiales altamente abrasivos. • Excelente desempeño en madera maciza sin nudos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Maderas duras y abrasivas. • Aglomerados y contrachapados. • Plásticos. • Aluminio. • Materiales no ferrosos. • Cerámica. • Vidrio. • Hormigón. • Asfalto.

Adaptado de: DE MAQUINAS Y HERRAMIENTAS. (2014). *¿Cómo elegir una hoja de sierra circular?*

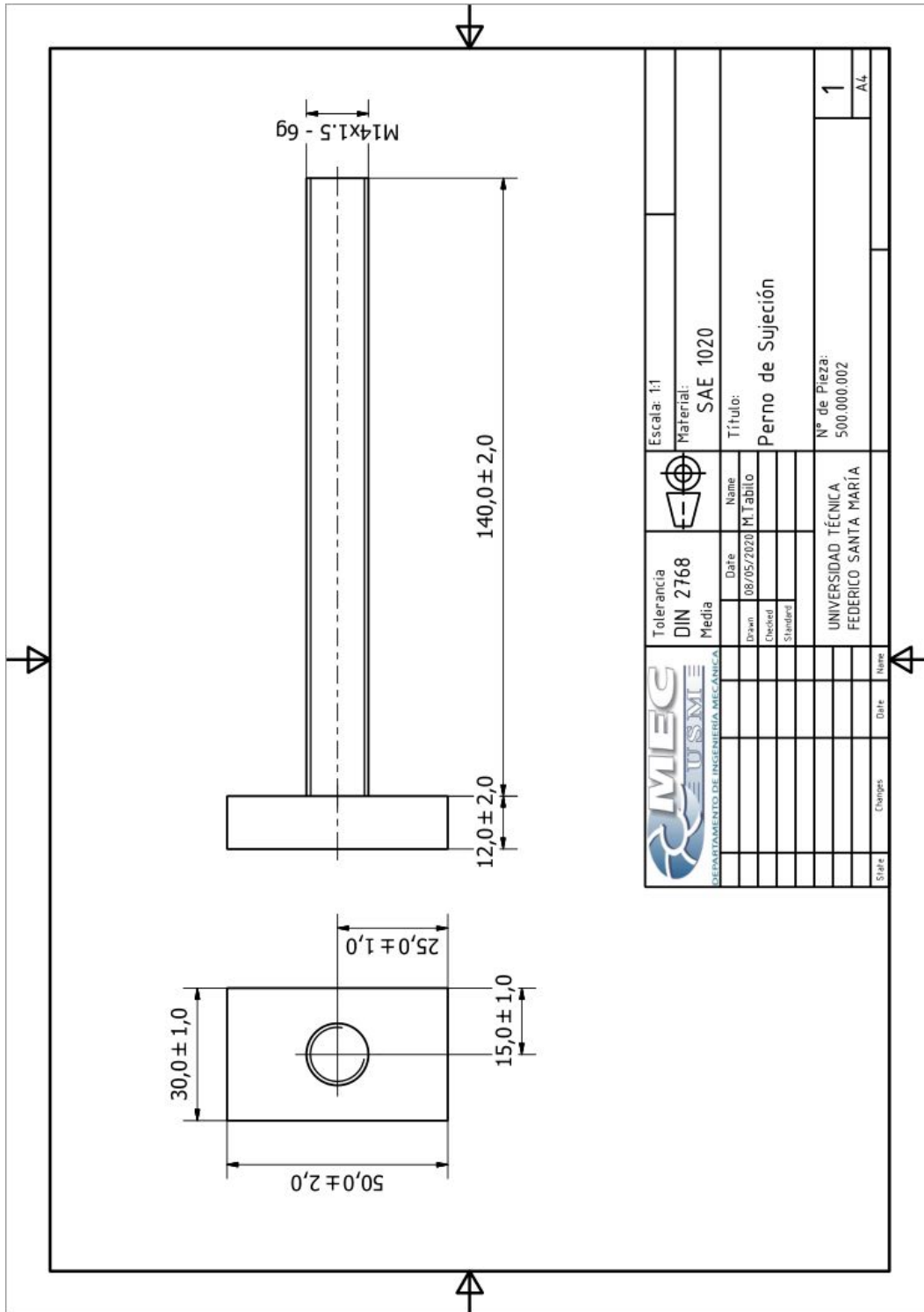


Figura 7.12: Plano Perno de sujeción

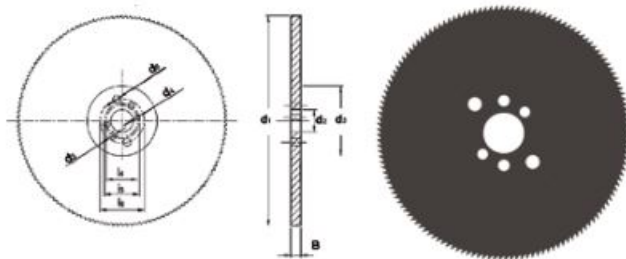
I. Catálogo Dormer Discos Dentados D750-D751



- D750** • 粗齿的锯片铁刀
• Serra Circular para Abertura de Rasgos Largos
- D751** • Sierras de ranurar o tronzar paso grueso
• Metal slitting saw Coarse

D750; D751 ■ 1.1 1.2 1.3 1.4 3.1 3.2 3.3 6.1 6.2 6.3 7.1 7.2 7.3 8.1
• 2.1 2.2

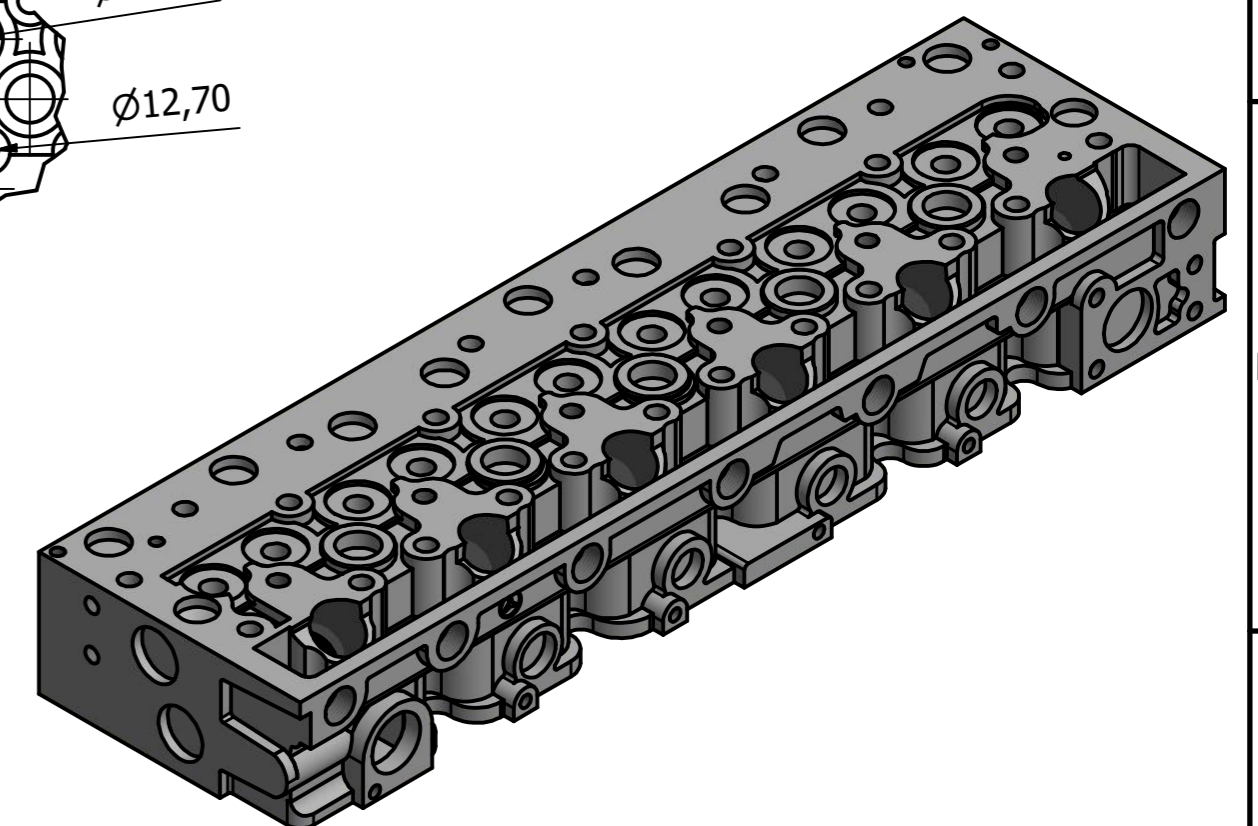
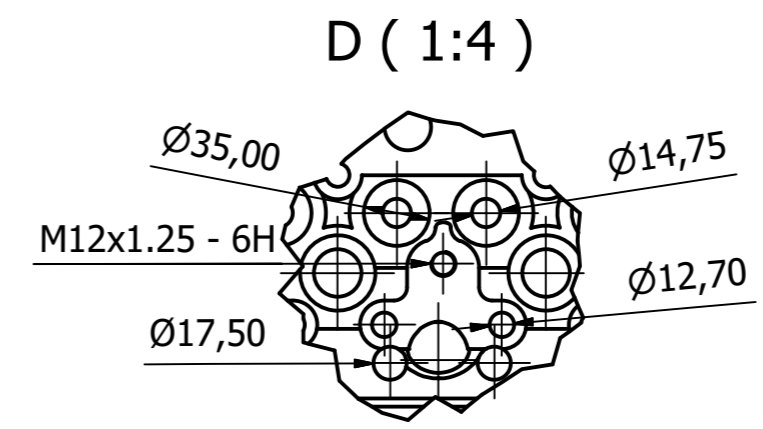
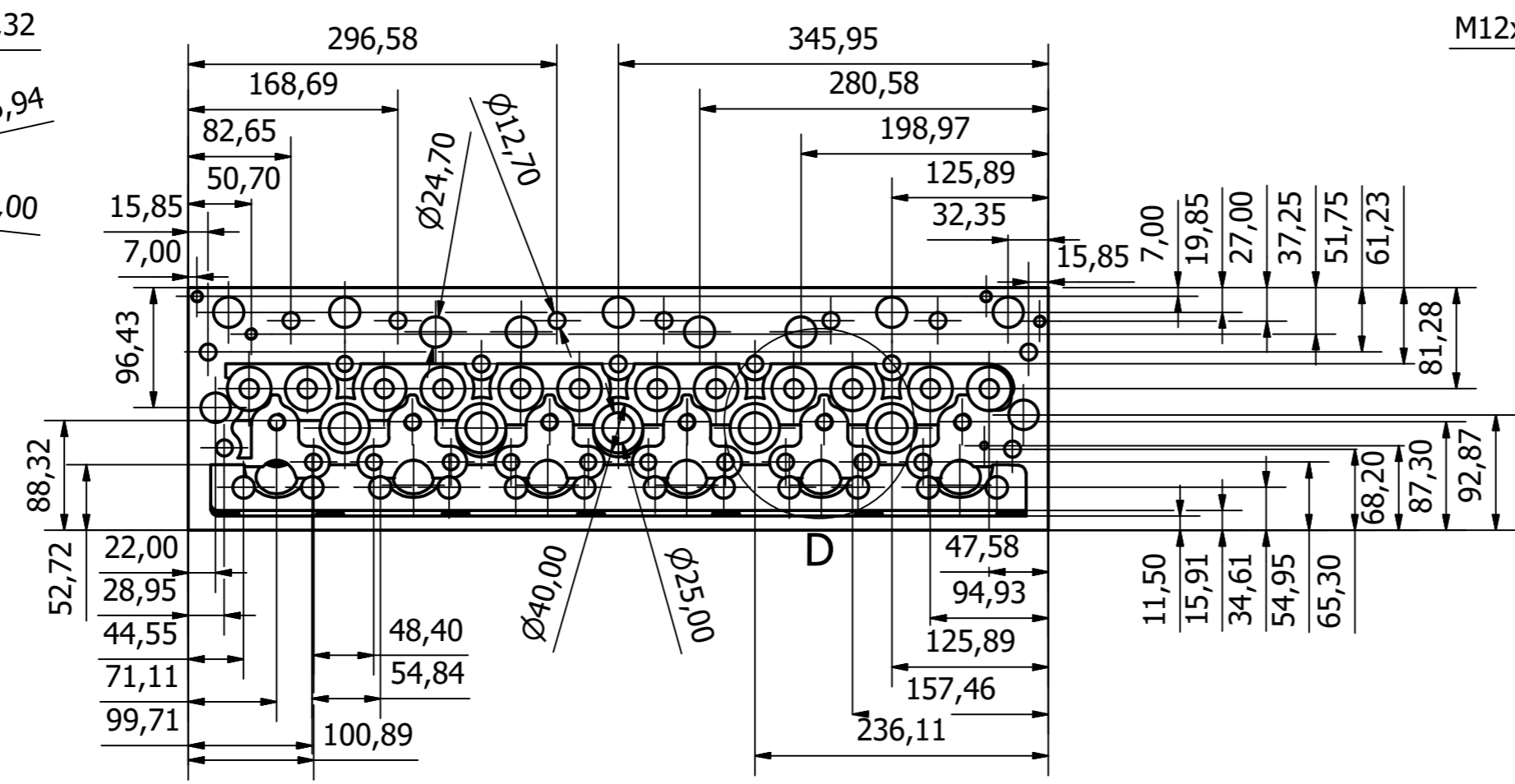
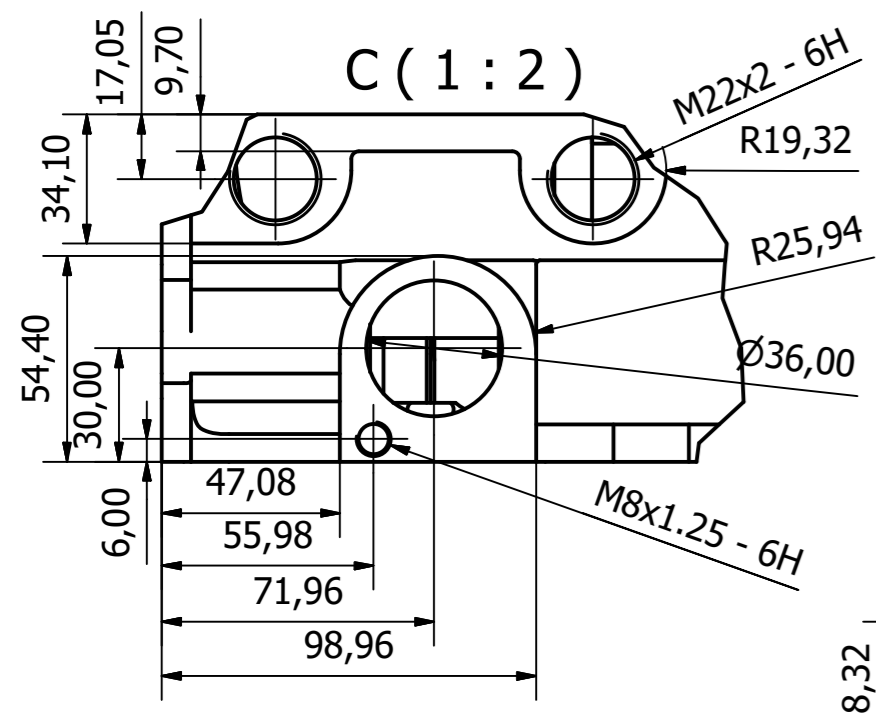
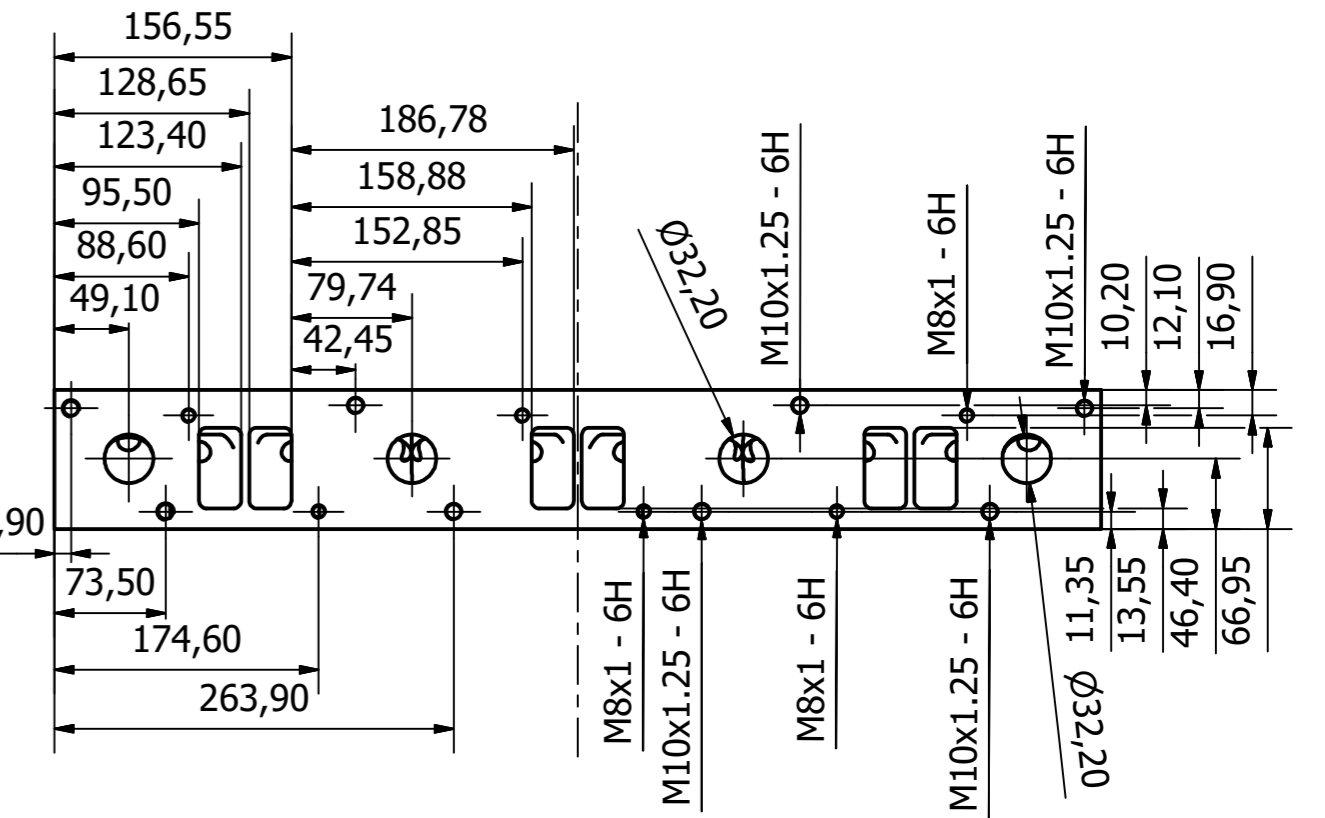
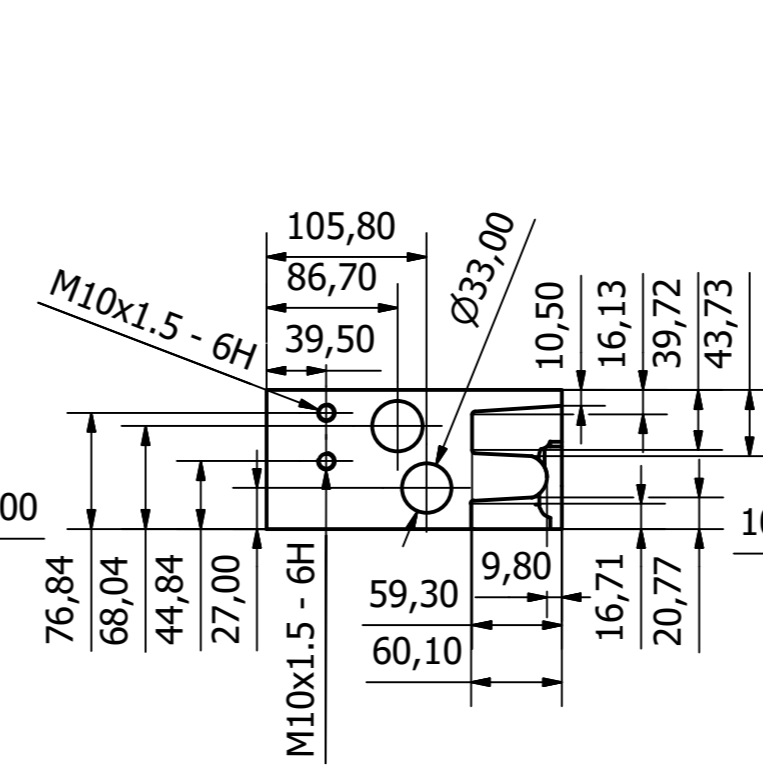
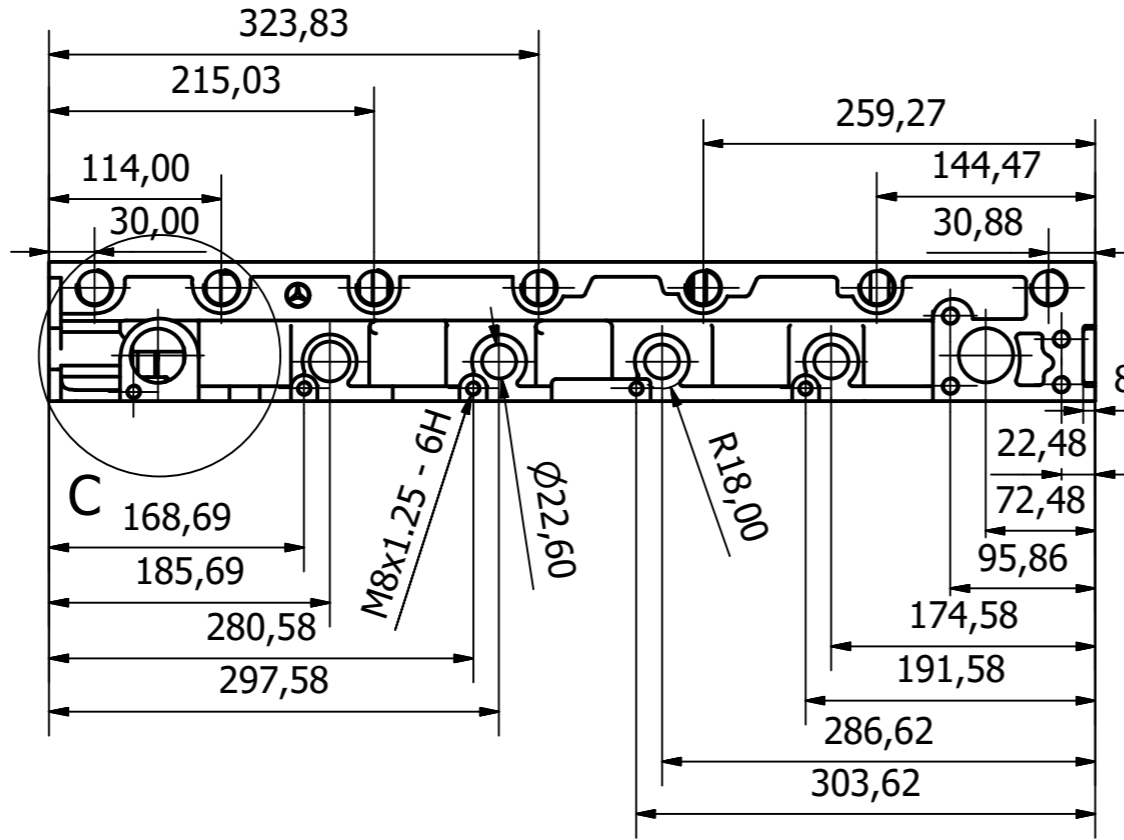
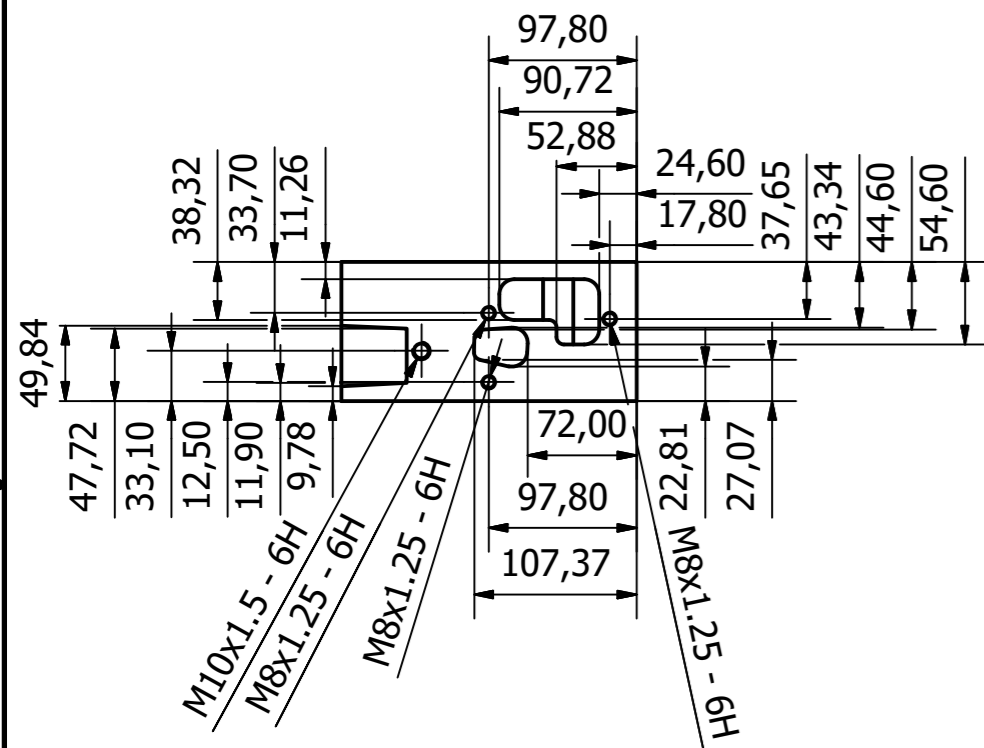
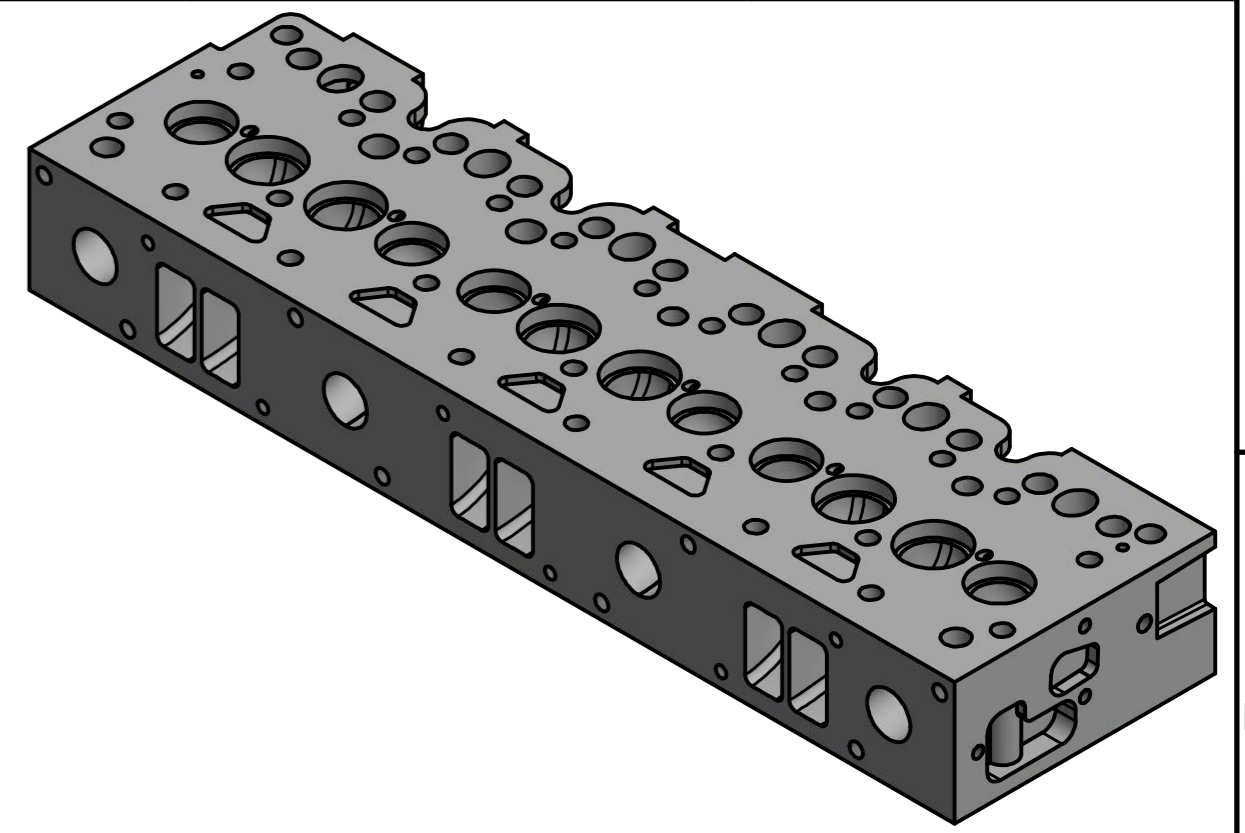
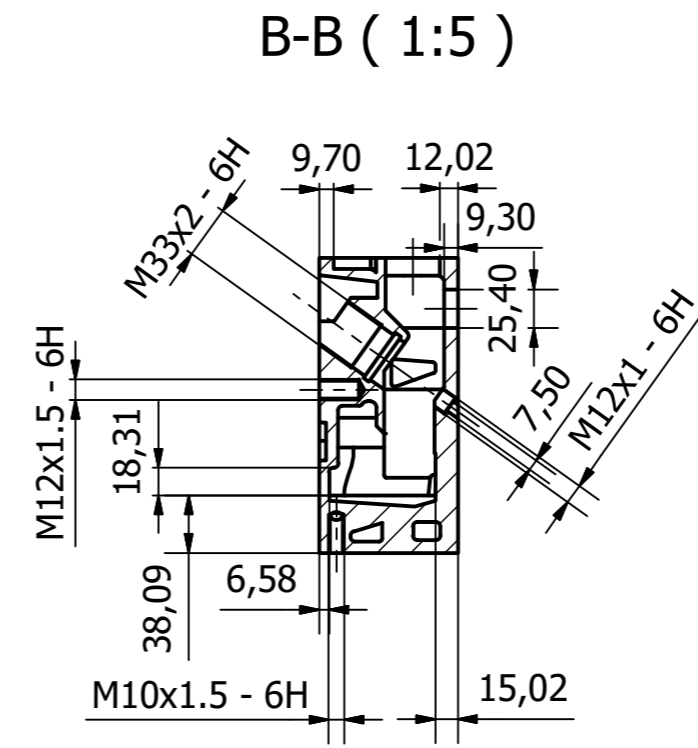
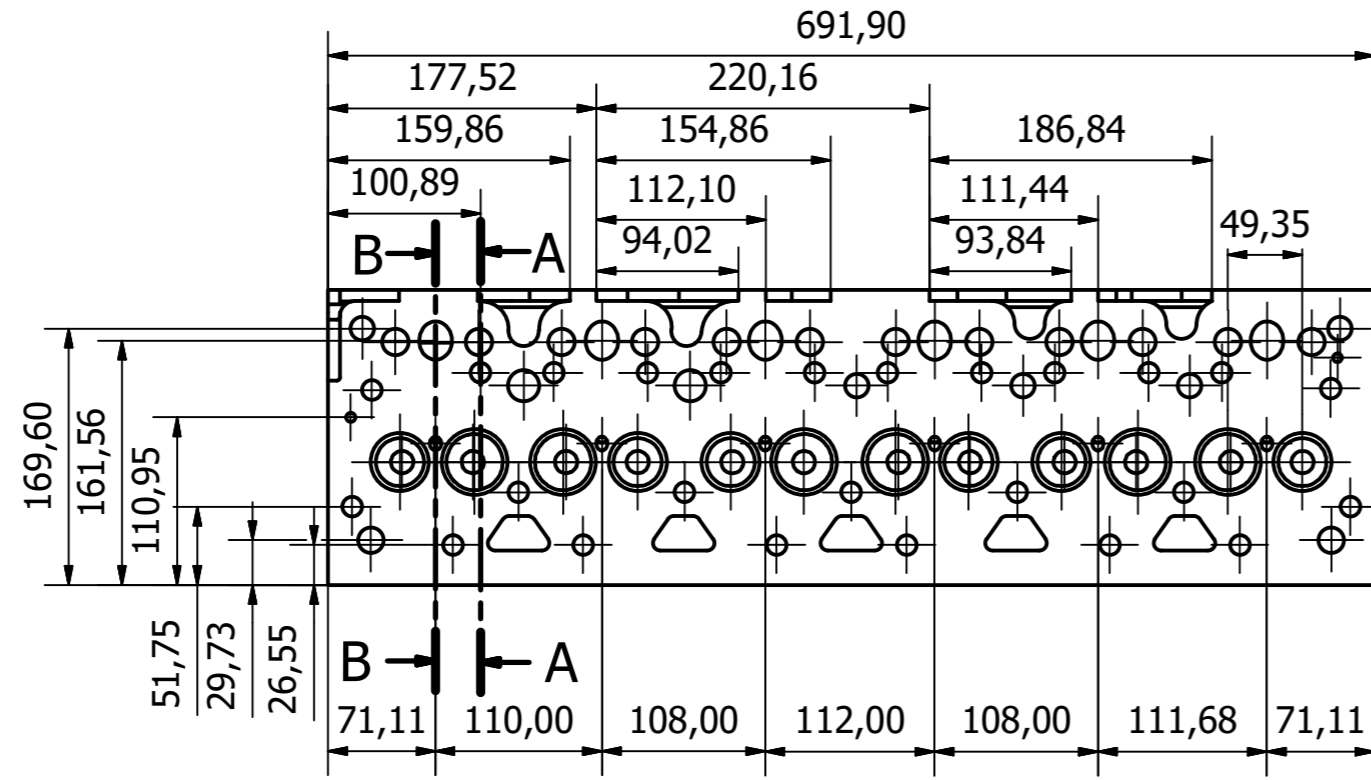
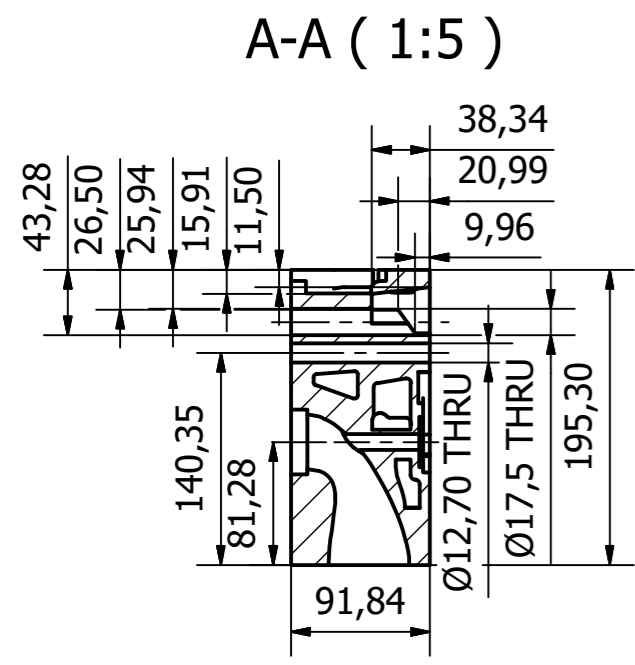
D750	HSS			Z 128-220		$\gamma 18^\circ$						
D751	HSS			Z 160-350		$\gamma 18^\circ$						



d ₁ Ø mm	B mm	d ₂ Ø mm	z	P mm	d ₃ Ø mm	d ₄ Ø mm	i ₄ mm	d ₅ Ø mm	i ₅ mm	d ₆ Ø mm	i ₆ mm	D750	D751
200	1.8	32	130	5	100	8	45	9	50	11	63	D750200.0X1.8	
200	1.8	32	160	4	100	8	45	9	50	11	63		D751200.0X1.8X160
200	1.8	32	200	3	100	8	45	9	50	11	63		D751200.0X1.8X200
225	2.0	32	140	5	100	8	45	9	50	11	63	D750225.0X2.0	
225	2.0	32	180	4	100	8	45	9	50	11	63		D751225.0X2.0X180
225	2.0	32	220	3	100	8	45	9	50	11	63		D751225.0X2.0X220
250	2.0	32	160	5	100	8	45	9	50	11	63	D750250.0X2.0	
250	2.0	32	200	4	100	8	45	9	50	11	63		D751250.0X2.0X200
250	2.0	32	250	3	100	8	45	9	50	11	63		D751250.0X2.0X250
275	2.5	32	180	5	100	8	45	9	50	11	63	D750275.0X2.5	
275	2.5	32	220	4	100	8	45	9	50	11	63		D751275.0X2.5X220
275	2.5	32	280	3	100	8	45	9	50	11	63		D751275.0X2.5X280
300	2.5	32	180	5	100	8	45	9	50	11	63	D750300.0X2.5	
300	2.5	32	220	4	100	8	45	9	50	11	63		D751300.0X2.5X220
300	2.5	32	300	3	100	8	45	9	50	11	63		D751300.0X2.5X300
315	2.5	32	200	5	100	8	45	9	50	11	63	D750315.0X2.5	
315	2.5	32	240	4	100	8	45	9	50	11	63		D751315.0X2.5X240
315	2.5	32	320	3	100	8	45	9	50	11	63		D751315.0X2.5X320
350	2.5	32	220	5	120	8	45	9	59	11	63	D750350.0X2.5	
350	2.5	32	280	4	120	8	45	9	50	11	63		D751350.0X2.5X280
350	2.5	32	350	3	120	8	45	9	50	11	63		D751350.0X2.5X350

Figura 7.13: Catálogo Dormer Discos Dentados

J. Plano Culata de motor Mercedes-Benz OM366 LA



DIBUJO Miguel Ángel Tabilo	REVISO G. Amador	TOLERANCIAS GENERALES ISO 2768 - c	FECHA 25-05-2020	ESCALA 1:5
			Culata de Motor OM366 LA	
Vistas Generales			Edition	Sheet 1 / 1

K. Plano de Camisa 6525ASP

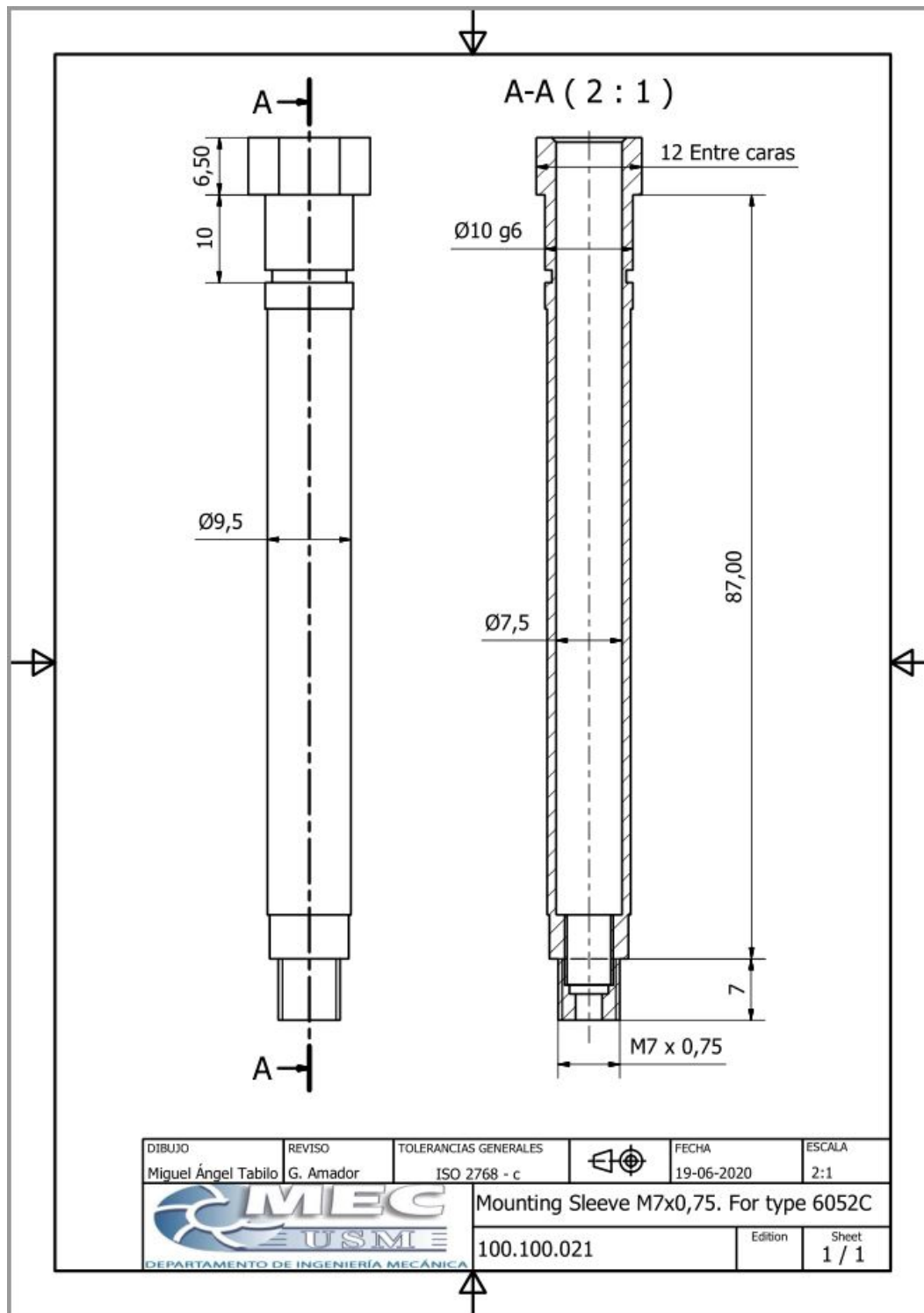


Figura 7.14: Plano Camisa 6525ASP

L. Plano de Soporte para Instalación de Camisa

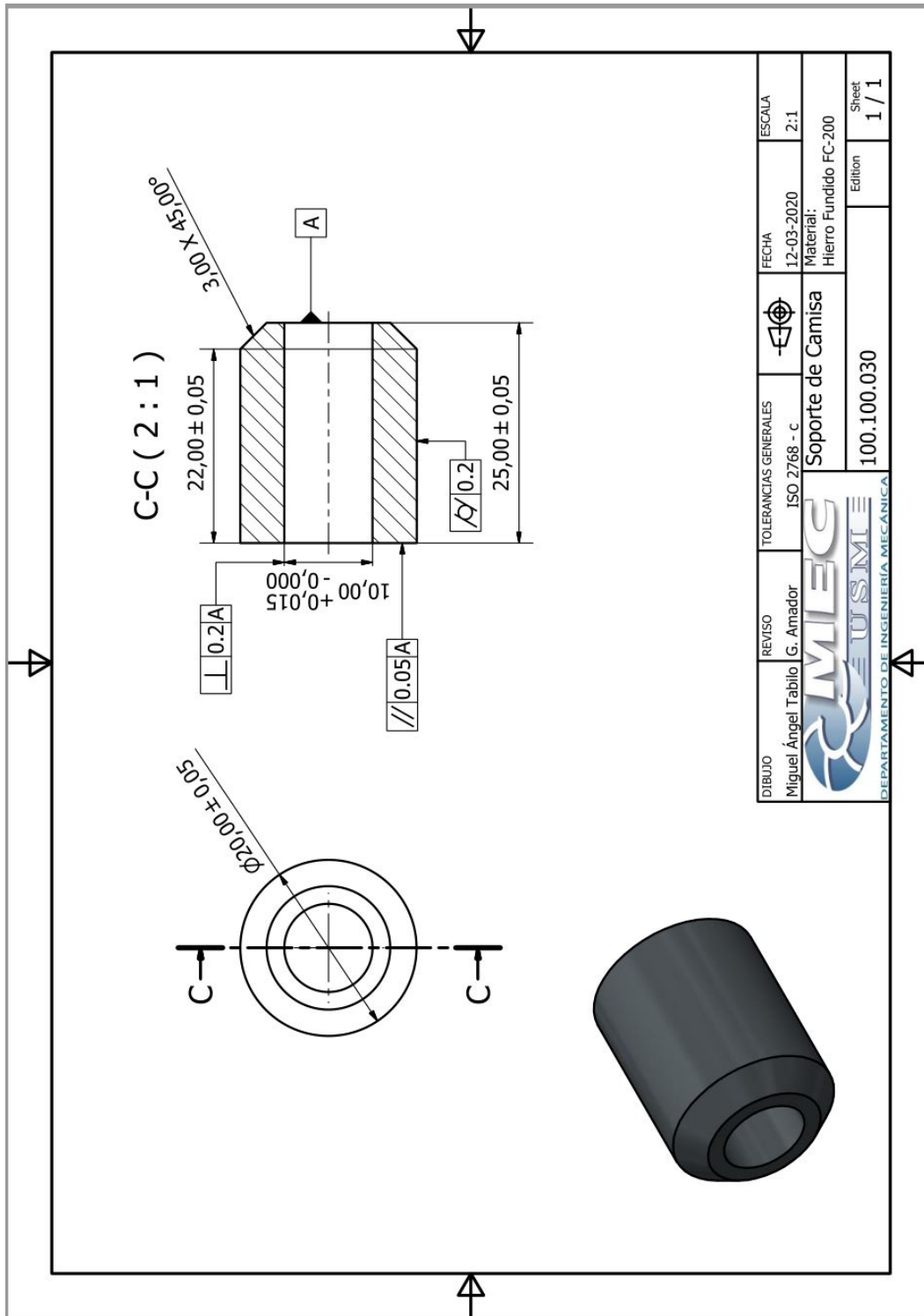


Figura 7.15: Plano Soporte de Camisa

M. Plano de Instalación Camisa 6525ASP

Notas:

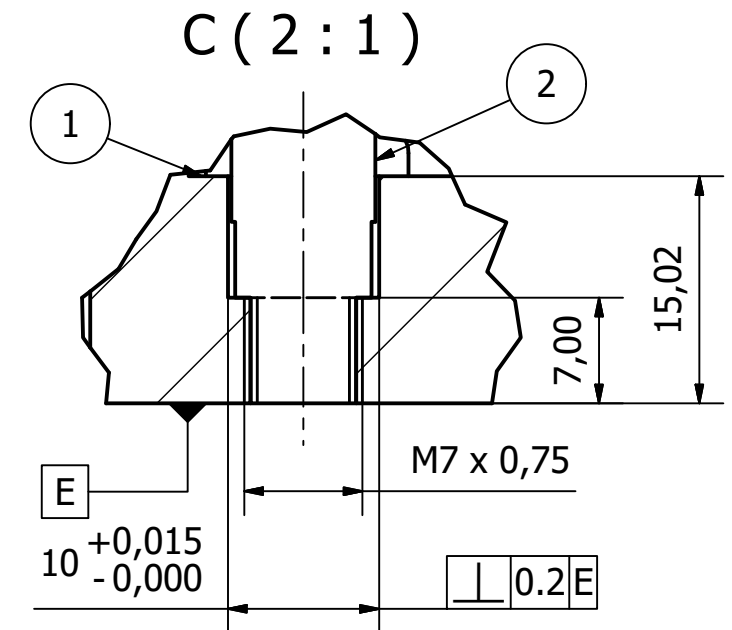
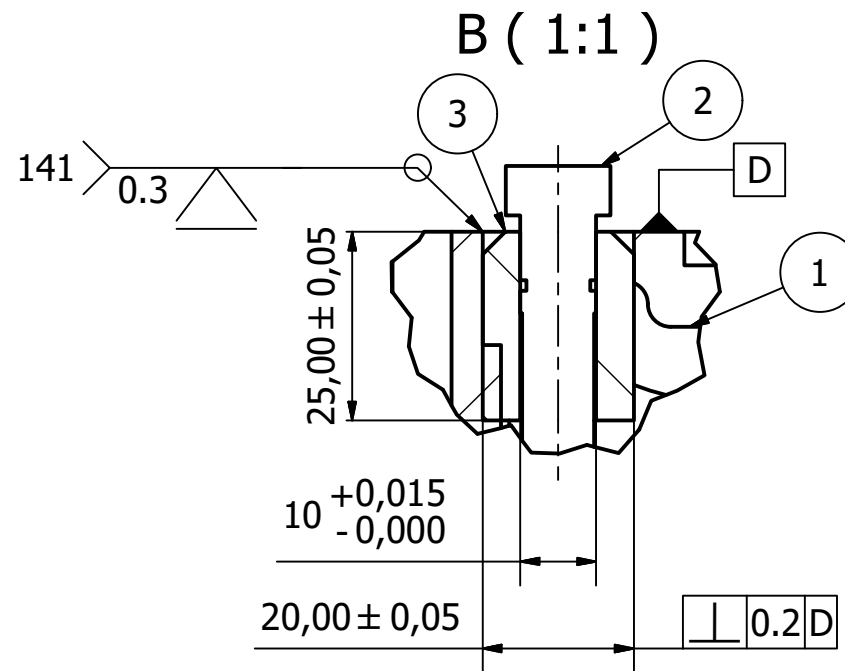
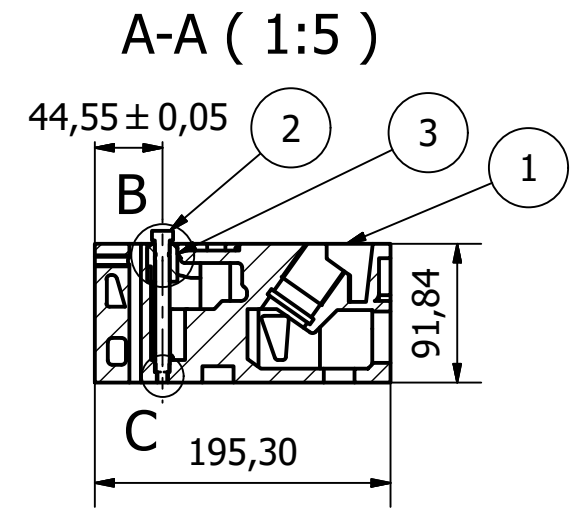
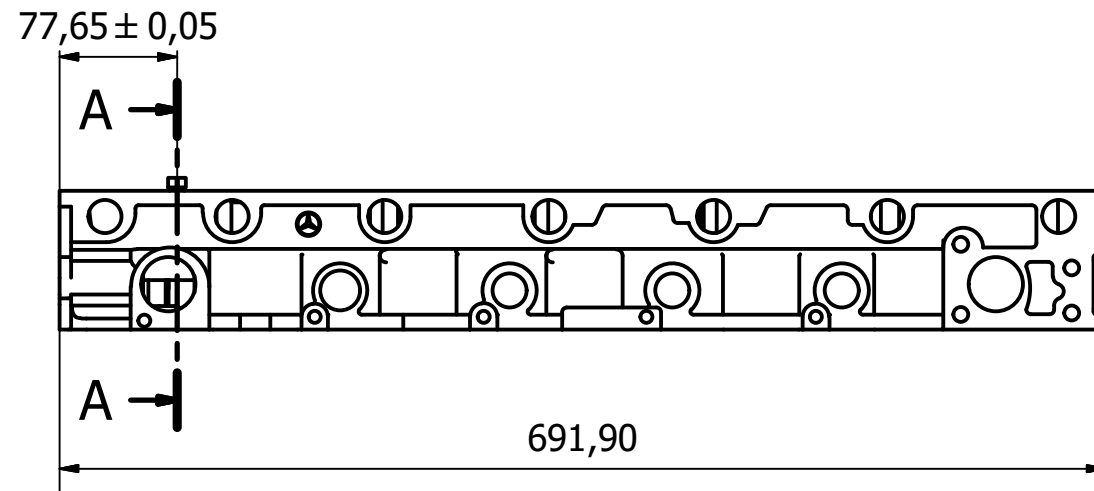
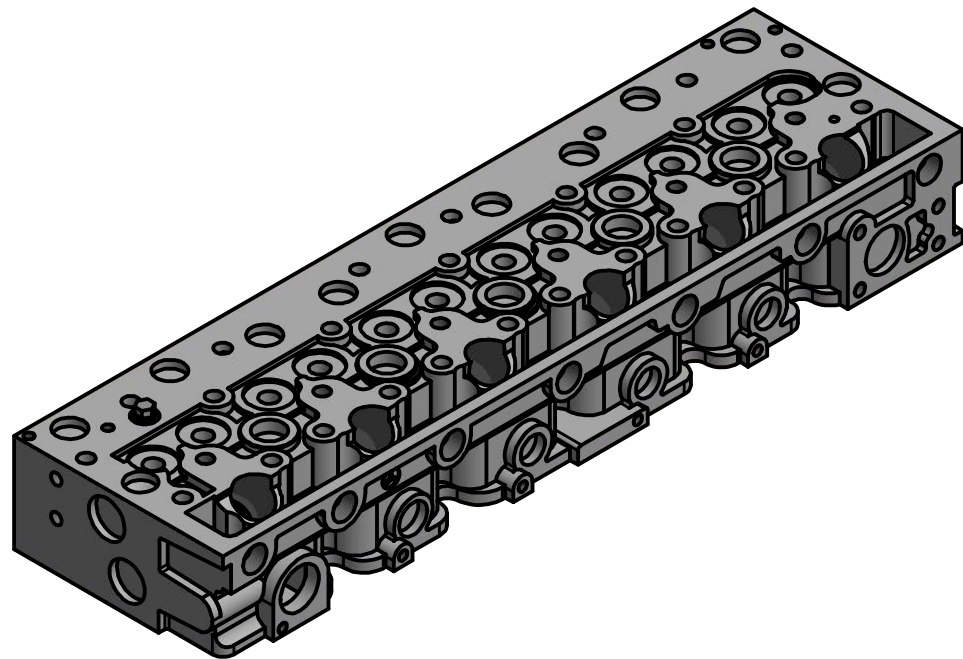
1) Previo al ensamblaje de Camisa (100.100.020) en la Culata (100.100.010) se debe limpiar las zonas de contacto en ambas piezas, así como también el agujero de la pieza de refuerzo (100.100.030), con compuesto LOCTITE 7063 y dejar secar por 60 segundos.


2) Insertar O-rings en ranuras de Camisa (100.100.020). Aplicar compuesto LOCTITE 290 en la rosca exterior de la Camisa, el compuesto debe aplicarse uniformemente alrededor del tornillo en una zona que abarque un tercio del tornillo (comenzando en el extremo más alejado a la tuerca hexagonal de la Camisa).

3) Aplicar compuesto LOCTITE 640 en el agujero de la pieza de refuerzo (100.100.030). El compuesto debe esparcirse por el contorno interno del agujero, con una brocha nueva, hasta aproximadamente la mitad de la pieza.

Aplicar compuesto LOCTITE 640 en la zona cilíndrica de la Camisa (100.100.020), debe abarcar aproximadamente 10 mm de la Camisa (comenzando en el extremo cercano a la rosca).

4) Montar la Camisa (100.100.020), girando en sentido horario para permitir a los compuestos LOCTITE rellenar todas las zonas de sellado. Fijar la Camisa con un torque de 5,5 [Nm].



PARTS LIST					
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION		
1	1	100.100.010	Culata MB - OM366 LA		
2	1	100.100.021	Camisa		
3	1	100.100.030	Soporte externo		
DIBUJO		REVISO	TOLERANCIAS GENERALES	FECHA	ESCALA
Miguel Ángel Tabilo		G. Amador	ISO 2768 - c	19-06-2020	1:5
			100.100.001		
Instalación				Edition	Sheet
				2	1 / 1

N. Procesos en Manufactura de Precisión



DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
MECÁNICA UTFSM**



Fecha 20/07/2020

Revisión A

Páginas 5

**INSTALACIÓN CAMISA DE SENSOR DE PRESIÓN EN CULATA
MOTOR – OM366 LA**

INSTALACIÓN CAMISA DE SENSOR DE PRESIÓN EN CULATA DE MOTOR – OM366 LA



Fecha	20/07/2020
Revisión	A
Páginas	5

**INSTALACIÓN CAMISA DE SENSOR DE PRESIÓN EN CULATA
MOTOR – OM366 LA**

CONTENIDO

1. ANTECEDENTES	3
2. PLAN DE MANUFACTURA	4
3. NOTAS	5

SOLO PARA USO ACADÉMICO

Fecha	20/07/2020
Revisión	A
Páginas	5

**INSTALACIÓN CAMISA DE SENSOR DE PRESIÓN EN CULATA
MOTOR – OM366 LA**

1. ANTECEDENTES

La recolección de datos acerca de la presión dentro de un cilindro de un motor a combustión es un tema relevante para la academia. El poder realizar estas mediciones permite a los investigadores conocer más de cerca qué es lo que ocurre con certeza dentro del cilindro, y así determinar, por ejemplo, el comportamiento de un nuevo combustible.

A partir de esta motivación, se le encargó a nuestra empresa estudiar la factibilidad del procedimiento de instalación de la camisa que contiene al sensor de presión sobre la culata de un motor Diesel – OM366 LA.

Luego de varias iteraciones entre el equipo de trabajo del departamento de ingeniería mecánica (DIMEC) UTFSM y nuestra empresa, se ha desarrollado un plan de manufactura para la instalación de esta camisa. Cabe mencionar que todos los requerimientos técnicos fueron entregados por el DIMEC, quienes poseen una estrecha comunicación con la empresa que desarrolla y fabrica el sensor de presión y la camisa ya mencionada.

A continuación, se presenta un resumen con los antecedentes y/o requerimientos técnicos más relevantes:

Características de la perforación.

- Perforación no continua.
- Perforación bidiametral en sección inferior.
- Material de culata: Hierro Fundido FC-200.
- Material soporte camisa: Hierro Fundido FC-200.
- Diámetro de perforación 10 H7 [mm].
- Fondo plano para asiento de camisa.
- Rosca M7x0,75 para fijación de camisa en extremo inferior de ésta.
- Largo total de operación: 92 [mm].

Requerimientos de instalación.

- Previo a instalar camisa en culata, se debe limpiar las zonas de contacto en ambas piezas. Aplicar Loctite 7063 y dejar secar por 60 segundos.
- Aplicar Loctite 290 en rosca M7x075 de camisa, el compuesto debe aplicarse uniformemente alrededor de rosca, en el tercio que se encuentra más distante de la tuerca hexagonal de la camisa.
- Aplicar Loctite 640 en agujero de Soporte Externo (100.100.030). El compuesto debe aplicarse por el contorno interno del agujero con una brocha nueva, hasta aproximadamente la mitad del largo de ésta, desde afuera hacia adentro.
- Aplicar Loctite 640 en la zona cilíndrica de la camisa sobre aproximadamente 10 mm de ésta, comenzando del extremo roscado.
- Montar la camisa, girando en sentido horario, aplicando un torque de apriete de 5,5 [Nm].

Fecha	20/07/2020
Revisión	A
Páginas	5

**INSTALACIÓN CAMISA DE SENSOR DE PRESIÓN EN CULATA
MOTOR – OM366 LA**

2. PLAN DE MANUFACTURA

El plan de manufactura consiste en la descripción del procedimiento que se llevará a cabo para cumplir con los requerimientos descritos en la sección anterior.

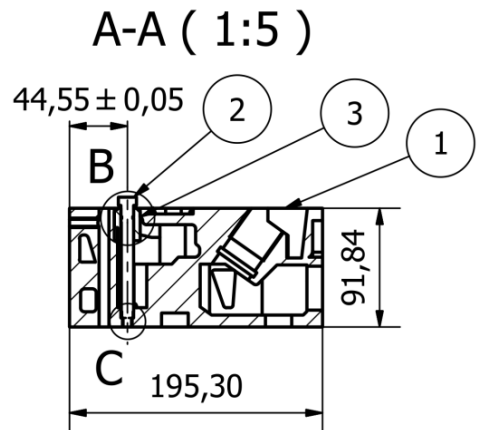


FIGURA 1: VISTA EN CORTE – ESQUEMA DE INSTALACIÓN.

Para asegurar la coaxialidad de la operación, se debe realizar la perforación de 9.5 [mm] en toda su longitud e inmediatamente se debe realizar la perforación con la broca de 6 [mm], procurando solo mover la mesa en su vertical.

De acuerdo con lo recién mencionado, la perforación central del Soporte Externo debe realizarse una vez éste sea soldado en la culata.

A continuación, se presenta el procedimiento de manufactura:

1. Mecanizado exterior de Soporte Externo.
2. Perforación en culata según diámetro exterior de Soporte Externo.
3. Instalación y soldadura de Soporte Externo en culata.
4. Perforación broca 9.5 [mm].
5. Perforación broca 6 [mm] pasante.
6. Escariado 10 H7 [mm].
7. Operación de fondo plano con escariador 10 H7 [mm] modificado.
8. Roscado M7x0,75 en cara opuesta desde la que se han realizado todas las operaciones.

Fecha	20/07/2020
Revisión	A
Páginas	5

**INSTALACIÓN CAMISA DE SENSOR DE PRESIÓN EN CULATA
MOTOR – OM366 LA**

3. NOTAS

- El plan de manufactura desarrollado tiene estrecha relación con los equipos y capacidades disponibles de la empresa.
- Previo al mecanizado de la culata mencionada, se validará el plan de manufactura sobre un segmento de una culata de similares características, el cual será entregado por el DIMEC.
- El plan de manufactura puede sufrir modificaciones de acuerdo a la experiencia en la prueba realizada.
- El plan de manufactura no considera operaciones sobre Camisa.
- Este documento solo puede ser utilizado para fines académicos y como respaldo de trabajos futuros.

SOLO PARA USO ACADÉMICO

Ñ. Plano *Dummy Sensor* 6445

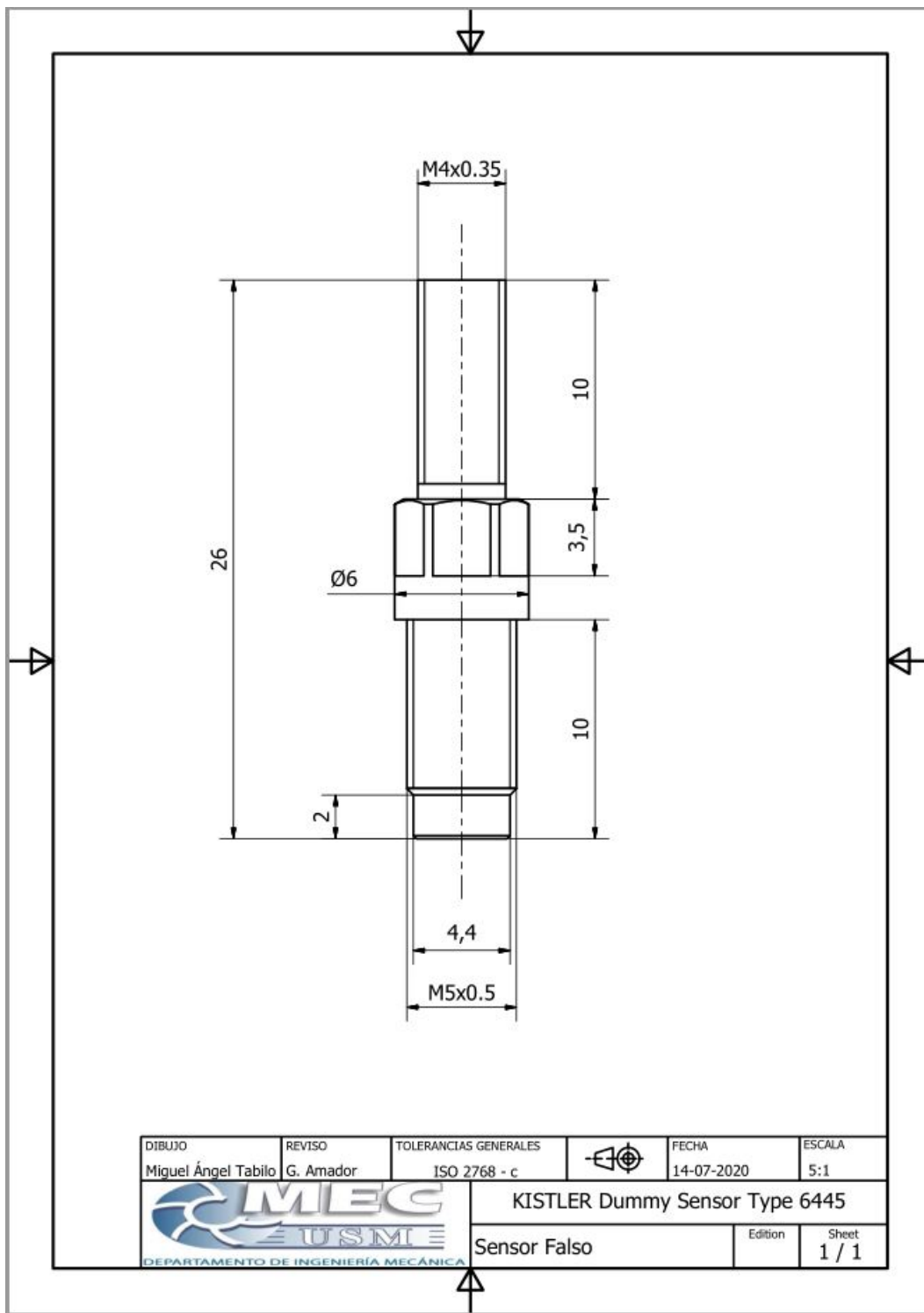


Figura 7.16: Plano Sensor Falso

O. Costos

Tabla 7.6: Costos Insumos y otros Productos

Código	Producto	Descripción	Cantidad	CLP
D751	D751315.0X2.5X240	Sierra dentada, diámetro 315 mm	1	\$ 16.5941
6.962.540	LOCTITE 7063	Limpiador desengrasante	1	\$ 7.898
6.952.920	LOCTITE 290	Fijador de roscas	1	\$ 19.350
6.956.420	LOCTITE 640	Fijador de uniones cilíndricas	1	\$ 23.707
				\$ 216.896

Tabla 7.7: Costos Productos KISTLER

Código	Producto	Descripción	Cantidad	USD	TOTAL
18005361	6052C39U20	Sensor de Presión Piezoeléctrico	1	3669,2	3669,2
18000302	1300A9	Llave de montaje para sensor 6052C	1	218,7	218,7
18006224	6525ASP	Camisa de montaje	1	492	492
18000700	1700A13	Copla KIAG 10-32 UNF neg.	1	82	82
18000524	1631C10	Cable Extensión sensor 6052C (KIAG 10-32 / BNC)	1	224,9	224,9
18033379	4007D005FDS1	Sensor de Presión Piezorresistivo	1	1940,6	1940,6
18000082	1145A1	Sellos de cobre	10	1,9	19
18027344	4785A41	Cable Extensión sensor 4007D005FDS1	1	393,6	393,6
18031848	1300B12	Llave de montaje para sensor 4007D005FDS1	1	174,9	174,9
18000249	1300A17	Llave de Torque (1...6 Nm)	1	404,5	404,5
18030696	285B12	Sistema SCP Slim	1	2183,3	2183,3
18033791	5064D11	Amplificador para sensor 6052C	1	3847,3	3847,3
18003644	4665B1	Amplificador para sensor 4007D005FDS1	1	3423,1	3423,1
18030304	2614CK0	Set Encoder con salida TTL	1	4349,2	4349,2
					21422,3

Tabla 7.8: Costos Productos National Instruments

Código	Producto	Descripción	Cantidad	USD	TOTAL
781922-01	NI 9924	Terminal de 25 pines	1	130	130
781157-01	cDAQ-9174	Chasis comácto para adquisición de datos	1	1030	1030
785080-01	NI 9940	Terminal Spring para módulo NI 9213	1	45	45
779351-01	NI 9401	Módulo para Señales digitales	1	365	365
779138-01	NI 9215	Módulo con entrada BNC	1	685	685
785185-01	NI 9213	Módulo para terminal Spring	1	1475	1475
763000-01	Power Cord.	Cable para Fuente de poder	1	10	10
SRV-CD6099999	Program for cDAQ	Programa informático estándar para cDAQ	1	284,4	284,4
781887-01	BNC Male/BNC Male	Cables BNC terminaciones macho	4	55	220
					4244,4

P. Guía N°1

Motores de Combustión Interna ILM-310.

1. Título:

“Reconocimiento de Instrumentación - Motor Diésel OM366 LA ”

2. Objetivos:

- 1) **Objetivo general:** Reconocer el funcionamiento de los instrumentos de medida instalados en el motor OM366-LA
- 2) **Objetivos específicos:** Se contempla como objetivos específicos realizar las siguientes actividades:
 - A) Clasificar y describir los distintos instrumentos de medida y equipos de adquisición de datos.
 - B) Aprender el método de montaje y puesta a punto de los instrumentos.
 - C) Realizar una medición de presión en cámara del motor.
 - D) Rescatar los datos del equipo del laboratorio.
 - E) Describir, según lo estudiado en clases, las zonas de la curva de presión y en qué se traducen en el ciclo de trabajo.

3. Procedimiento de ensayo:

- 1) Identificación del motor:
 - A) Marca: Mercedes - Benz
 - B) Modelo: OM 366 LA
 - C) Motor:
 - Ignición por compresión, 4T, enfriado por agua.
 - Cilindrada: 5958 [cm³].
 - N° de cilindros: 6, en línea.
 - Diámetro (B): 97.5 [mm]

- Carrera (S): 133 [mm].
 - Largo biela (l): 230 [mm].
 - Potencia máx: 177 [kW] @ 2600 [r.p.m.].
 - Torque máx: 840 [Nm] @ 1250-1500 [r.p.m.].
 - Relación de compresión (rc): 18:1.
- 2) Verificar la instalación del sensor 6052C en la culata del motor, hacer seguimiento del cable del sensor para verificar sus conexiones con los sistemas de análisis de datos.
 - 3) Verificar la instalación del sensor 4007D005FDS1 en el sistema de escape del motor, hacer seguimiento del cable del sensor para verificar sus conexiones con los sistemas de análisis de datos.
 - 4) Verificar la instalación del *Encoder* 2614C11 en el cigüeñal del motor, hacer seguimiento del cable del *Encoder* 2614C11 hasta el *Encoder* electrónico 2614C21 y verificar su conexión con los sistemas de análisis de datos.
 - 5) Verificar conexión de termocuplas en los distintos puntos del motor, hacer seguimiento de la conexión de las termocuplas hacia el sistema de adquisición de datos.
 - 6) Verificar conexión de equipos de amplificación de señal con equipo de adquisición de datos. Revisar conexión del equipo de adquisición de datos al computador.
 - 7) Conectar todos los sistemas a una fuente de poder y encenderlos.
 - 8) Comprobar que el *software* para análisis de datos se encuentre instalado y operativo. Crear una nueva medición en el sistema de adquisición de datos y comprobar el programa reconozca todos los módulos de adquisición de datos.
 - 9) Poner en marcha el motor y estabilizar en ralentí. Ejecutar la medición mediante el programa. Obtener la curva de presión en cámara de combustión y en el escape. Tomar el registro de las temperaturas.
 - 10) Guardar los datos obtenidos por el equipo y enviarlos por correo a uno o más de los integrantes del grupo.
 - 11) Finalizar rutina de medición, cerrar el software y apagar los equipos.
 - 12) Detener el motor.

4. Datos entregados.

- 1) Curva de Presión.
- 2) Temperatura.

5. Análisis

- 1) Hacer una ficha de los instrumentos de medida y de los equipos utilizados, indicando al menos:
 - Nombre.
 - Función, resolución y rango de trabajo.
 - Funcionamiento.
- 2) Determinar el diagrama de distribución del motor en la curva de presión obtenida. Esto es, indicar la situación de las válvulas de admisión y de escape a lo largo del ciclo.
- 3) Genere en base a la presión obtenida, el diagrama indicador del motor.
- 4) Muestre el cambio de volumen en la cámara de combustión durante el ciclo de trabajo, mediante un gráfico Volumen v/s ángulo del cigüeñal.

6. Entrega de Informe.

- 1) El informe será realizado por grupos de 4 personas que harán la sesión en conjunto.
- 2) El informe debe ser entregado en el Laboratorio a más tardar hasta las 17:00 horas de la semana siguiente en el día que se realizó la experiencia. El no cumplimiento significa nota 0.

7. Bibliografía y documentación.

- 1) “Manual del Motor Mercedes Benz OM 366 LA”.
- 2) Manuales y Guías de Usuario - KISTLER.
- 3) “Internal Combustión Engines Fundamentals” John B Heywood.
- 4) “Motores Endotérmicos” D Giacosa.

Q. Guía N°2

Motores de Combustión Interna ILM-310.

1. Título:

“Análisis de la combustión de Motor OM366 LA”

2. Objetivos:

- 1) **Objetivo general:** Analizar la combustión de un motor mediante el uso de la curva de presión v/s ángulo del cigüeñal.
- 2) **Objetivos específicos:** Se contempla como objetivos específicos el determinar los siguientes parámetros:
 - A) El inicio de la combustión observado.
 - B) El fin de la combustión observado.
 - C) La duración de la combustión observada.
 - D) El retraso del inicio de la combustión observado (*Ignition Delay*).
 - E) La curva de tasa de liberación de calor en función del ángulo del cigüeñal.
 - F) La fracción de quemado en función del ángulo del cigüeñal.

3. Procedimiento de ensayo:

- 1) Identificación del motor:
 - A) Marca: Mercedes - Benz
 - B) Modelo: OM 366 LA
 - C) Motor:
 - 1) Ignición por compresión, 4T, enfriado por agua.
 - 2) Cilindrada: 5958 [cm³].
 - 3) N° de cilindros: 6, en línea.
 - 4) Diámetro (B): 97.5 [mm]

- 5) Carrera (S): 133 [mm].
 - 6) Largo biela (l): 230 [mm].
 - 7) Potencia máx: 177 [kW] @ 2600 [r.p.m.].
 - 8) Torque máx: 840 [Nm] @ 1250-1500 [r.p.m.].
 - 9) Relación de compresión (rc): 16,5:1.
- 2) Verificar que estén montados los sensores en el motor y conectados a los equipos de adquisición de datos. Conectar los equipos al computador y encender todos los sistemas como en la experiencia previa.
 - 3) Crear un archivo nuevo en el programa de *National Instruments*.
 - 4) Poner en marcha el motor e iniciar la medición con el motor en ralentí. El programa registra la presión en el motor y las temperaturas en distintos puntos.
 - 5) Repetir la medición cambiando el régimen de giro a 2500 +/- 300 [r.p.m.].
 - 6) Reducir la velocidad del motor y dejarlo operar unos minutos en ralentí
 - 7) Detener el motor y exportar los datos registrados al correo de uno o varios de los integrantes del grupo.

4. Valores medidos:

Ángulo del cigüeñal [°]	Presión en cámara [bar]	Presión en el Escape [bar]

5. Desarrollo literal de cálculos:

- 1) Cálculo del volumen de desplazamiento Vd:

$$V_d = \frac{\pi * B^2}{4} * S \quad (7.1)$$

- 2) Cálculo del volumen muerto Vc:

$$V_c = \frac{V_d}{r_c - 1} \quad (7.2)$$

3) Cálculo relación biela-manivela:

$$R = \frac{l}{a} \quad ; a = S/2 \quad (7.3)$$

4) Cálculo de volumen en función del ángulo del cigüeñal:

$$V = V_C \left[1 + \frac{1}{2}(r_c - 1) [R + 1 - \cos(\theta) - (R^2 - \sin^2(\theta))^{\frac{1}{2}}] \right] \quad (7.4)$$

5) Cálculo de la tasa de liberación de calor:

$$\frac{\delta Q_{HR}}{d\theta} = \frac{\gamma}{\gamma - 1} P \frac{dV}{d\theta} + \frac{1}{\gamma - 1} V \frac{dP}{d\theta} \quad (7.5)$$

6. Valores calculados:

Ángulo del cigüeñal [Rad]	Presión en cámara [Pa]	Volumen [m3]	$\frac{\delta Q_{HR}}{d\theta}$ [Joule]	X_b [-]

7. Análisis de resultados:

- 1) En base a los datos de presión recopilados y a los datos de volumen calculados, generar el diagrama indicador del motor.
- 2) En base al diagrama indicador, indique el valor aproximado de los coeficientes politrópicos y compárelos con la literatura.
- 3) Establezca el ángulo del cigüeñal en el cual inicia la combustión (SOC), en el cual termina (EOC) y, por tanto, la duración de la combustión (CD). Hacer esto en base a una aproximación mediante la derivada del diagrama indicador.
- 4) Calcule la curva de la tasa de liberación de calor en función del ángulo del cigüeñal ($\delta Q/d\theta$ vs θ), según los métodos estudiados en clases.
Compare con la curva de tasa de liberación de calor de un motor ciclo Otto.
- 5) Determinar las posibles fuentes de error de los valores obtenidos anteriormente.

8. Preguntas Adicionales.

- 1) Compare los valores de SOC, EOC Y CD obtenidos mediante aproximación y los que se obtienen al utilizar la curva de fracción de quemados.
- 2) Calcular la fracción de quemado mediante el método de Wiebe.
- 3) Obtener el factor de eficiencia (a) y el factor de forma (m) que mejor ajustan la curva de Wiebe.
- 4) Calcule el porcentaje de error entre la curva de fracción de quemados experimental y la obtenida mediante el método de Wiebe.

Nota: Los cálculos y determinaciones se deben realizar en una planilla Excel anexada en el informe. Las fórmulas para el cálculo de los distintos parámetros están en la sección “Desarrollo literal de cálculos”

9. Entrega de Informe.

- 1) El informe será realizado por grupos de 4 personas que harán la sesión en conjunto.
- 2) El informe debe ser entregado en el Laboratorio a más tardar hasta las 17:00 horas de la semana siguiente en el día que se realizó la experiencia. El no cumplimiento significa nota 0.

10. Bibliografía y documentación.

- 1) “Manual del Motor Mercedes Benz OM 366 LA”.
- 2) Manuales y Guías de Usuario - KISTLER.
- 3) “Internal Combustión Engines Fundamentals” John B Heywood.
- 4) “Motores Endotérmicos” D Giacosa.

