



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA



DEPARTAMENTO DE
ELECTRONICA

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL ELECTRÓNICO
“INSTRUMENTACIÓN Y ADQUISICIÓN DE DATOS
PARA MONITOREO EN TIEMPO REAL DE LA
COMBUSTIÓN DE MOTORES DE COMBUSTIÓN
INTERNA”

Presentado por: Sebastián Felipe Vidal Lillo
Profesor Guía: Manuel Olivares Salinas
Profesor Co-referente: Germán Amador Díaz

Resumen

El presente proyecto de título trata sobre el desarrollo de un sistema de monitoreo de combustión en motores de combustión interna, a ser implementado en particular en los motores disponibles en el laboratorio de termofluidos del Departamento de Ingeniería Mecánica de la UTFSM, en el contexto de modernización del laboratorio de motores de combustión interna. El objetivo principal de este trabajo es desarrollar un sistema de monitoreo de la combustión en motores de combustión interna mediante el uso de sensores, un sistema de acondicionamiento de señal, y un sistema de adquisición de datos.

La metodología de la presente memoria se basa en el estudio de la instrumentación disponible que permitan adquirir datos reales de los motores, para luego desarrollar un programa e interfaz de usuario que permita medir y analizar los datos adquiridos. Para realizar esto se aplican conocimientos de procesamiento digital de señales, protocolos de comunicación y programación orientada en hardware.

El resultado final obtenido de este trabajo, es la primera versión del sistema de monitoreo de combustión en motores de combustión interna, basado en programación en LabVIEW y MATLAB. Se logró integrar las mediciones de presión, temperatura y ángulo de cigüeñal con instrumentación de las empresas National Instruments y KISTLER. Se adaptó un algoritmo desarrollado por el equipo del proyecto para ser implementado en LabVIEW. Se elaboró un manual de usuario para la implementación modular del sistema desarrollado.

Finalmente, se detalla el funcionamiento a nivel de usuario del sistema completo, además de proponer trabajos a futuro que permitan continuar la modernización del laboratorio de motores del departamento de Ingeniería Mecánica de la UTFSM.

Abstract

This degree project is about the development of a monitoring system for internal combustion engines to be implemented in particles of the engines that are available in the Thermofluids Laboratory at the Mechanical Engineering Department of UTFSM, within the context of the upgrading of the internal combustion engine laboratory. The main objective of this work is to develop a combustion monitoring system for internal combustion engines using sensors, signal conditioning system, and data acquisition system.

The methodology of this report is based on the study of the available instrumentation that allows the acquisition of real data from the engines, and then develop a program and user interface to measure and analyze the acquired data. To do this, knowledge of digital signal processing, communication protocols and hardware-oriented programming is implemented.

The result obtained from this work is the first version of the combustion monitoring system for internal combustion engines, based on programming in LabVIEW and MATLAB. It was possible to integrate the pressure, temperature, and crankshaft angle with instrumentation from National Instruments and KISTLER. An algorithm developed by the project team was adapted to be implemented in LabVIEW. A user's manual was developed for the modular implementation of the developed system.

Finally, the user-level operation of the complete system is detailed, in addition to proposing future work to continue the modernization of the motor laboratory of the Mechanical Engineering Department of the UTFSM.

Glosario

- **ADC:** Analog to Digital Converter.
- **BNC:** Conector de rápida conexión/desconexión para cable coaxial.
- **Buffer size:** Número de muestras almacenadas en el buffer de comunicación entre el sistema DAQ y el computador.
- **cDAQ:** Compact DAQ. Chasis de adquisición de datos.
- **Combustión:** Reacción química que va acompañada de desprendimiento de energía, habitualmente manifestada por incandescencia o llama.
- **DIMEC:** Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica Federico Santa María.
- **Encoder:** Dispositivo electromecánico usado para convertir la posición angular de un eje a un código digital.
- **Intercooler:** Radiador donde enfría el aire de admisión en motores.
- **KISTLER:** Empresa encargada de proveer sensores de presión, encoder y sistema de acondicionamiento de señales.
- **Manifold:** Pieza del motor que proporciona la mezcla de combustible y aire a los cilindros.
- **MCI:** Motor de combustión interna.
- **Módulos NI-C:** Dispositivos de entradas y salidas compatibles con CompactDAQ.
- **NI:** National Instruments. Empresa encargada de proveer cDAQ y módulos C.
- **PC:** Computador personal.
- **PiezoSmart:** Tecnología utilizada por el hardware de KISTLER para la identificación automática de sensores en el sistema de acondicionamiento de señales.
- **SCP Slim:** Sistema de acondicionamiento de señal comprado a la empresa KISTLER.

- **SubVI:** Sub-Virtual Instrument. Estructura de programación referida LabVIEW.
- **VI:** Virtual Instrument. Estructura de programación LabVIEW.
- **LVDS:** Low-voltage differential signaling.
- **TTL:** Transistor Transistor Logical.
- **ROT:** Rotation signal.
- **CDM:** Crank Degree Marks signal.
- **TRG:** Triger signal.

Introducción

El análisis de la combustión en motores de combustión interna, de ahora en adelante MCI, es una temática altamente estudiada en el área de Ingeniería Mecánica, ya que permite determinar la eficiencia y características principales del funcionamiento de un MCI. Sin embargo, para realizar este estudio se debe contar con instrumentación que permita medir variables esenciales de operación de un motor, cómo lo es la presión en cámara de combustión, temperatura de operación, entre otros. Es en este punto donde el conocimiento adquirido en la carrera de Ingeniería Civil Electrónica aporta en el proceso de estudio de combustión. Para abordar el trabajo desarrollado se debió estudiar temáticas ajenas al plan de estudios de Ingeniería Civil Electrónica, permitiendo tener una visión general del funcionamiento de los MCI disponibles en el laboratorio.

El presente trabajo de memoria se desarrolla en el marco del proyecto de investigación Fondecyt Iniciación Nro. 11190447 “Development of a detailed chemical kinetic mechanism for modeling autoignition and knock intensity in renewable gas spark ignition engines”. Se establecen como objetivos: configurar un sistema modular de adquisición de datos con instrumentación de National Instruments, para integrar sensores de presión, temperatura y posición angular de motores de combustión interna (MCI) disponibles en el laboratorio de termofluidos del Departamento de Ingeniería Mecánica; Integrar el sistema de adquisición de datos a un computador personal a través del puerto USB; Desarrollar un sistema de monitoreo en tiempo real de parámetros de combustión de MCI, como diagrama indicador, fracción de quemados, tasa de quemado e indicadores de intensidad de knock, en un computador personal con software LabVIEW.

En el primer capítulo se describe la situación actual del laboratorio de termofluidos y los sensores ya disponibles e instalados en los MCI para desarrollar este trabajo de memoria. Los capítulos 2,3 y 4 detallan el desarrollo del sistema de monitoreo de combustión, abordando la instalación de hardware, desarrollo de software y manual de operación del sistema. Finalmente se establecen las limitaciones del sistema.

Al término de este proyecto se tiene totalmente implementada una primera versión del sistema de monitoreo de combustión, el cual será utilizado, en primera instancia, en experiencias de docencia, con proyecciones de ser utilizado en actividades de investigación. A futuro se recomienda continuar el desarrollo de este sistema, para llegar a tener plataformas de mediciones de primer nivel.

Índice

1. Capítulo 1: Instrumentación de Motores de Combustión Interna del Laboratorio de Termofluidos.	6
1.1. Laboratorio de termofluidos - área de motores	6
1.2. Sensores y encoder	9
1.2.1. Sensor de presión en cámara: 6052C	9
1.2.2. Sensor presión admisión: 4007DS	11
1.2.3. Sensores de temperatura	14
1.2.4. Set Encoder Tipo 2614CK0	15
2. Capítulo 2: Sistema de adquisición de datos	19
2.1. Hardware	19
2.1.1. Acondicionamiento de señales de presión	19
2.1.2. Sistema de adquisición de datos: CompactDAQ y Módulos C	23
2.1.3. Integración de señales DAQ	27
2.2. Software	32
2.2.1. LabVIEW	32
2.2.2. MATLAB	33
2.2.3. Kistler SCP software	33
2.2.4. Integración de señales a nivel de software	34
3. Capítulo 3: Desarrollo software de monitoreo.	40
3.1. Adquisición de datos	40
3.2. Procesamiento de los datos	46
3.3. SubVI cálculo parámetros de combustión	50
3.3.1. Gráficos de presión	50
3.3.2. Índices numéricos de combustión	56
3.4. SubVI cálculo MAPO-IMPO	61
4. Capítulo 4: Manual de usuario sistema de monitoreo	63
4.1. Introducción y consideraciones iniciales	63
4.2. Elementos sistema monitoreo	64
4.3. Instalación de softwares	64

4.4.	Descripción interfaz de usuario	67
4.4.1.	Adquirir datos	67
4.4.2.	Post Procesamiento	68
4.4.3.	MAPO-IMPO	69
4.5.	Montaje de equipos	70
4.5.1.	Configuración inicial software	70
4.6.	Instrucciones de uso de las interfaces	72
4.6.1.	Programa Adquisición de datos	72
4.6.2.	Programa de procesamiento de datos	73
4.6.3.	Programa MAPO-IMPO	75
4.7.	Seguridad y consideraciones importantes	75
5.	Capítulo 5: Desempeño y limitaciones del sistema	77
5.1.	Limitantes del sistema	79
6.	Capítulo 6: Conclusiones y propuestas de trabajos futuros	84
6.1.	Propuestas de trabajos futuros.	85
7.	Anexos	88
A.	Catálogo Sensores 6052C y 4007D	88
B.	Hoja de datos módulos NI-9213 y NI-9215	97
C.	Crank Angle Encoder Set Type 2614CK1	144
D.	Instruction Manual for Ethernet Settings for SCP/SCP Slim Type 2852B.../2853B...	147
E.	SCP Slim for engine indication.	156

Índice de figuras

1.	Diagrama área de motores laboratorio de termofluidos. Motores con sensores instalados. Motor Kubota no tiene sensores de temperatura medibles a la fecha.	6
2.	Geometría de un cilindro, pistón, biela, y cigüeñal, donde B =diámetro interior del motor, L =carrera, l =largo de la biela, a =radio del cigüeñal (largo manivela), θ =ángulo de cigüeñal [1]	8
3.	Diagrama sensor 6052C. Adaptado de hoja de datos KISTLER Sensor 6052C [Anexo A].	11
4.	Vista superior montaje de sensor de presión en cámara 6052C.	12
5.	Diagrama sensor 4007D.Adaptado de hoja de datos KISTLER Sensor 4007D [Anexo A].	13

6.	Vista superior montaje de presión de admisión 4007D.	13
7.	Código de colores termocupla tipo K. Adaptado de norma IEC 584-3.	14
8.	Termocupla tipo K.	15
9.	Crank Angle Encoder 2614C11	16
10.	Datos técnicos del Crank Angle Encoder 2614C11 adaptado de Anexo C.	16
11.	Módulo de acondicionamiento 2614C21.	17
12.	Datos técnicos del módulo de acondicionamiento 2614C21, adaptado de Anexo C.	18
13.	Montaje encoder en motor Mercedes del laboratorio de termofluidos.	18
14.	Flujo de señal en sistema DAQ. Adaptado de <i>NI: ¿Qué es un DAQ?</i>	19
15.	SCP Slim 2852B12 con Amplificadores. Adaptada de catálogo KISTLER - SCP Slim for engine indication.	20
16.	Diagrama de vista frontal SCP Slim 2852B12. Adaptada de catálogo KISTLER - SCP Slim for engine indication.	20
17.	Vista trasera SCP Slim 2852B12. Adaptada de catálogo KISTLER - SCP Slim for engine indication.	21
18.	Amplificador de carga 5064D11	22
19.	Amplificador piezoresistivo 4665B1	23
20.	SCP Slim con amplificador de carga (slot derecho) y amplificador piezoresistivo (slot izquierdo).	24
21.	Diagrama módulo NI-9215. Adaptado de National Instruments - Getting Starter Guide NI 9215.	25
22.	Diagrama módulo NI-9215. Adaptado de National Instruments - Getting Starter Guide NI 9213.	26
23.	Esquema CompactDAQ. Adaptado de National Instruments, Specifications NI cDAQ- 9174.	28
24.	Diagrama conexión encoder. Adaptado de KISTLER - Instruccion Manual Crank Angle Encoder Set Type 2614CK.	29
25.	Resultado de la conexión de los sensores en sus módulos de amplificación.	30
26.	Vista frontal de la conexión desde los módulos de amplificación al módulo NI-9215	31
27.	Sensores y encoder conectados completamente en el hardware a disposición	32
28.	Interfaz de usuario software KISTLER SCP	34
29.	Parámetros de calibración amplificador 4665B para sensor de presión piezorresistivo de admisión 4007D,	35

30.	Parámetros de calibración amplificador 5064 para sensor piezoeléctrico en cámara de combustión 6052C.	35
31.	Ventana Event Log software KISTLER SCP al iniciar la comunicación	36
32.	Ventana Calibration Factores software KISTLER SCP	36
33.	Ventana Configure Network Devices para establecer nuevos puertos de comunicación	36
34.	Bloque DAQ Assistant para la configuración de adquisición de datos	37
35.	Ventana de opciones de medición CompactDAQ con controlador NI-DAQmx	37
36.	Ventana de configuración general de adquisición de datos	38
37.	Diagrama máquina de estados implementada para la etapa de adquisición de datos	41
38.	Diagrama de bloques etapa de adquisición de datos	42
39.	Diagrama bloques estado Start, proceso adquisición	42
40.	Diagrama bloques estado IDLE, proceso adquisición	43
41.	Diagrama bloques estado Comenzar Adqui, proceso adquisición	43
42.	Diagrama bloques estado Comenzar Adqui 2, proceso adquisición	44
43.	Diagrama bloques estado Stop, proceso adquisición	44
44.	Diagrama de bloques etapa de procesamiento	45
45.	Tabla de datos adquiridos. 10 primeras muestras adquiridas a 100 [kHz]	45
46.	Diagrama de estados implementada para la etapa de procesamiento de datos.	46
47.	Diagrama de bloques etapa de procesamiento	47
48.	Diagrama de bloques estado “Idle”, etapa de procesamiento	48
49.	Diagrama de bloques estado “Pedir ruta”, etapa de procesamiento	48
50.	Diagrama de bloques estado “Despliegue grafos”, etapa de procesamiento	49
51.	Diagrama de bloques estado “Guardar Datos”, etapa de procesamiento	49
52.	SubVI para el cálculo de curvas y parámetros de presión.	50
53.	Diagrama de bloques SubVI Get Column.	52
54.	Interfaz de usuario MAPO-IMPO.	61
55.	Ventanas emergentes en el cálculo de MAPO-IMPO correspondiente a histogramas.	62
56.	Interfaz de usuario programa Adquirir Datos	67
57.	Primera mitad interfaz post procesamiento	68
58.	Segunda mitad interfaz post procesamiento	69
59.	Interfaz MAPO-IMPO.	70
60.	Ventana de detección de chasis CompactDAQ	71
61.	Ventana de detección de módulos conectados al CompactDAQ.	71

62.	Panel “Proyector Explorer” de LabVIEW	72
63.	Curva de presión promedio a 35 [kHz] de frecuencia de muestreo.	77
64.	Curva de presión promedio a 50 [kHz] de frecuencia de muestreo.	77
65.	Curva de presión promedio a 75 [kHz] de frecuencia de muestreo.	78
66.	Curva de presión promedio a 100 [kHz] de frecuencia de muestreo.	78
67.	Diagrama de pulsos de la señal CDM proveniente del encoder.	80

Índice de tablas

1.	Condiciones de operación sensor 6052C. Adaptado de hoja de datos KISTLER Sensor 6052C [Anexo A].	10
2.	Descripción accesorios Sensor 6052C	11
3.	Condiciones de operación sensor 4007DS. Adaptado de hoja de datos KISTLER Sensor 4007D [Anexo A].	12
4.	Accesorios sensor 4007DS	12
5.	Rangos de operaciones de instrumentación a medir.	24
6.	Parámetros operación CompactDAQ. Adaptado de National Instruments, Specifications NI cDAQ-9174.	27
7.	Orden de conexión de sensores de presión en módulos de amplificación.	29
8.	Orden de conexiones NI-9215	30
9.	Detalle de estados etapa de adquisición de datos	41
10.	Detalle de estados etapa de procesamiento.	46
11.	Requisitos computador para LabVIEW SP2021.	64
12.	Modelos sensores y sistema de acondicionamiento de señal	64
13.	Modelos instrumentación DAQ	64
14.	Valores de presión promedio y presión máxima con sus respectivos ángulos de cigüeñal, para diferentes frecuencias de muestreo con velocidad angular constante.	79
15.	Máximos periodos de adquisición de presión, encoder y temperatura. (*) Para esta adquisición en particular, el error no correspondió a una sobrescritura de LabVIEW, sino a un error entregado por Windows respecto a la falta de memoria interna para poder adquirir datos.	81

1 Capítulo 1: Instrumentación de Motores de Combustión Interna del Laboratorio de Termofluidos.

En este primer capítulo se establece el contexto donde se implementará el proyecto de título, se presenta un diagrama del laboratorio de termofluidos de mecánica, y la instrumentación ya realizada previo a este trabajo de memoria, la cual será utilizada para desarrollar el sistema de monitoreo de la combustión.

1.1 Laboratorio de termofluidos - área de motores

El laboratorio de Termofluidos del DIMEC, es un extenso laboratorio de aplicación de ciencias básicas en ingeniería, donde se realizan experiencias de laboratorio para la docencia de ramos que abordan temáticas como mecánica de fluidos, termodinámica, máquinas térmicas e hidráulica, donde, a la fecha de desarrollo de este trabajo de memoria, se cuenta con tres motores de combustión interna dedicados al estudio de combustión dadas diferentes condiciones de operación, de los cuales solo uno se encuentra operativo para la docencia, y dos se encuentran intervenidos con sensores de presión y encoder. Estos corresponden a:

- Motor Mercedes Benz OM366 LA
- Motor Kubota DG972-E2

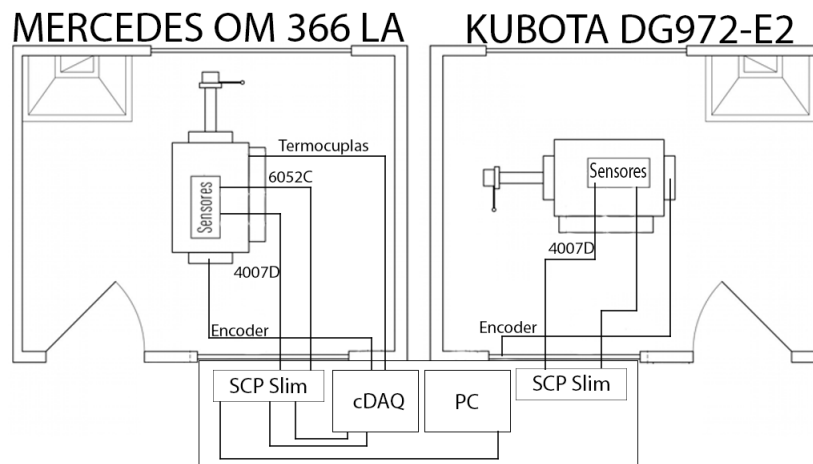


Figura 1: Diagrama área de motores laboratorio de termofluidos. Motores con sensores instalados. Motor Kubota no tiene sensores de temperatura medibles a la fecha.

Cada uno de estos motores cuenta con una sala de operaciones dedicada según los requerimientos espaciales de cada motor. También, cada sala está tratada acústicamente para reducir el ruido producto de su funcionamiento, además de contar con ventanales en su parte frontal, permitiendo la supervisión de quien esté a cargo de realizar un experimento.

Para la medición y análisis de la combustión en motores, se debe trabajar con una señal de presión proveniente de la cámara de combustión (sensor 6052C en figura 1), una señal de presión proveniente de la admisión de combustible (sensor 4007D en figure 1), y una señal proveniente de un encoder instalado en el cigüeñal del motor. Para esto, los motores Mercedes y Kubota han sido intervenidos previamente con instrumentación que permitan medir las señales antes requeridas.

Los índices de combustión interno de un MCI se basan en las características geométricas del motor donde se implemente el sistema, que corresponden a:

- **Volumen Muerto:** Corresponde al espacio entre el pistón y la parte superior del cilindro en que queda atrapada cierta cantidad de gas tras el tiempo de escape.
- **Volumen de desplazamiento:** Es el volumen combinado de los pistones dentro de los cilindros de un motor. Se calcula a partir del diámetro y número de los cilindros, así como la distancia que recorre el pistón.
- **Relación de compresión:** Corresponde a la diferencia de volumen que hay entre las dos posiciones extremas del pistón dentro del cilindro. Cuando se encuentra en el punto muerto inferior (cuando el pistón se encuentra en el punto más alejado de la culata) y en el punto muerto superior (punto más cerca de la culata).
- **Régimen [r.p.m]:** Corresponde a la cantidad de revoluciones por minuto mínima que el vehículo debe mantener para que no se detenga.
- **Relación Biela-Manivela:** Corresponde al cociente entre el radio de la manivela y la longitud de la biela.

Para ejemplificar los parámetros recién mencionados, en la figura 2 se pueden identificar diferentes parámetros antes mencionados. V_c corresponde al Volumen muerto, y V_d al volumen de desplazamiento.

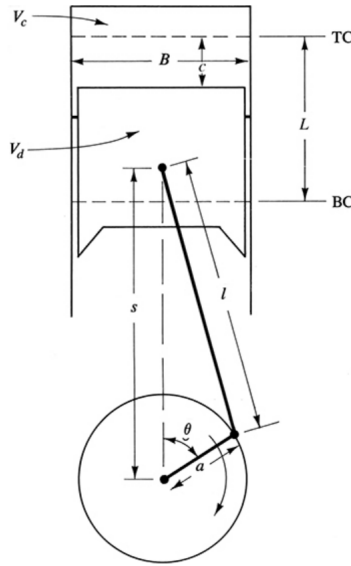


Figura 2: Geometría de un cilindro, pistón, biela, y cigüeñal, donde B =diámetro interior del motor, L =carrera, l =largo de la biela, a =radio del cigüeñal (largo manivela), θ =ángulo de cigüeñal [1]

Con estos dos parámetros conocidos se puede calcular la relación de compresión de la forma:

$$r_c = \frac{V_d + V_c}{V_c}$$

Un motor de combustión interna funciona en base a la quema y explosión de combustible. La combustión corresponde a la reacción química que se produce entre el oxígeno y un material oxidable, lo cual se acompaña por el desprendimiento de energía, produciendo así movimiento físico transformando energía química en energía mecánica. En los motores de combustión interna, se aprovecha la combustión de combustible encapsulada en diferentes cilindros cerrados, moviendo de esta forma un pistón metálico periódicamente generando movimiento rotatorio en torno a un eje. El diagrama de un cilindro donde se produce el proceso de combustión se muestra en la figura 2. Los motores intervenidos en los cuales se desarrolla el presente trabajo, presentan un ciclo de combustión de cuatro tiempos:

1. **Admisión:** Ocurre en el momento en que el pistón se encuentra en su punto más alto (punto muerto superior). Se introduce aire o mezcla de aire en conjunto con combustible a una presión constante empujando el pistón hacia abajo.
2. **Compresión:** Al finalizar el proceso de admisión, el pistón se encuentra en su punto más bajo

(punto muerto inferior), por lo que el pistón comienza a subir produciendo que la mezcla de aire/combustible se comprima.

3. **Explosión/Expansión:** Cerca de llegar a su punto más alto, se emplea una chispa eléctrica (ignición) provocando una explosión de la mezcla dentro del cilindro empujando el pistón hacia abajo produciendo trabajo mecánico.
4. **Escape:** El pistón termina su recorrido hacia abajo dejando salir los gases resultantes de la combustión debido al ascenso del pistón para iniciar un nuevo ciclo de combustión.

Debido a este funcionamiento, un ciclo de combustión corresponde a dos vueltas completas del cigüeñal, es decir, 720° de rotación.

1.2 Sensores y encoder

Las señales de presión de interés para ambos motores son dos: presión en la cámara de combustión y presión de admisión. Con la asesoría de la empresa KISTLER se opta por el sensor 6052C [4] para medir la presión en la cámara de combustión, y el sensor 4007D [5] para medir la presión de admisión. Las señales de ambos sensores deben ser acondicionadas a través de un amplificador de carga y un amplificador piezoeléctrico. Por otro lado, para medir la posición angular del cigüeñal, se opta por un encoder que mida la posición del cilindro en cada instante del ciclo de operación del motor. El modelo escogido bajo la asesoría de KISTLER corresponde al Set Encoder tipo 2614CK0. Finalmente, para la medición de las temperaturas se cuenta con termocuplas tipo K instaladas previamente en los motores. A continuación se muestran las especificaciones de los sensores y el encoder adquiridos.

1.2.1 Sensor de presión en cámara: 6052C

Para el estudio preciso de la combustión de un motor, es necesario contar con la 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. Para esto, debido a la naturaleza de los motores del laboratorio de termofluidos, el sensor de presión en cámara debe cumplir con los siguientes requerimientos:

- Posibilidad de montaje dentro de la cámara de combustión
- Los valores mínimos y máximos de medición de presión deben ser de 1[bar] y 120[bar] respectivamente, considerando un factor de seguridad de 2 para la presión máxima de medición, por lo

tanto se debe tener un rango hasta los 240[bar] [2].

Con la asesoría de KISTLER, se determina que el sensor más adecuado a los requerimientos es el sensor piezoelectrico modelo 6052C.

Un sensor piezoeléctrico se basa en el efecto piezoeléctrico para medir presión, aceleración o fuerza. Este efecto es un fenómeno que ocurre en determinados cristales al ser sometido a tensiones mecánicas, los cuales adquieren una polarización eléctrica, apareciendo una diferencia de potencial y carga eléctricas en su superficie proporcional a la tensión mecánica que es sometido el cristal del sensor, pudiendo así medir fenómenos físicos a través la señal eléctrica generada. Debido al efecto de carga eléctrica en las superficies de los cristales, la sensibilidad de estos sensores se mida en Coulomb por unidad de medida, en este caso corresponde a pC/bar (pico-coulomb por 1 bar de presión). Por lo general estos sensores contienen dos elementos de cristal y, entre ambos, se coloca un electrodo, el cual recoge la carga que se forma en las caras de los cristales. Un cable conecta el electrodo con un amplificador de carga que permite acondicionar la señal eléctrica a ser medida.

Dentro de las ventajas de los sensores piezoeléctrico encontramos su reducido tamaño, alta velocidad de respuesta y una construcción robusta, permitiendo que sea instalado en lugares donde las vibraciones debido al funcionamiento del motor no sean un problema para generar la señal de presión. Las condiciones de operación de este sensor se detallan en la tabla 1. Para mayor detalle de este sensor consultar catálogo [Anexo A].

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	-

Tabla 1: Condiciones de operación sensor 6052C. Adaptado de hoja de datos KISTLER Sensor 6052C [Anexo A].

La compra de este sensor incluye una serie de accesorios para su montaje en la cámara de combustión, y extensiones de cables para lograr llegar desde la toma de presión hasta el hardware de adquisición de datos. Estos accesorios se detallan en la tabla 2.

El montaje del sensor dentro de la cámara de combustión ya fue realizado por estudiantes memoristas del DIMEC. Para esto se realizó un procedimiento de corte en la culata del motor, instalando una

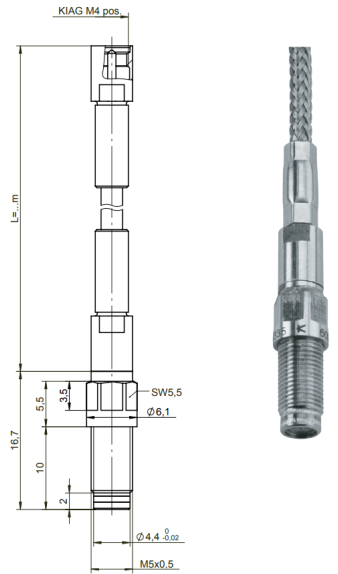


Figura 3: Diagrama sensor 6052C. Adaptado de hoja de datos KISTLER Sensor 6052C [Anexo A].

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

Tabla 2: Descripción accesorios Sensor 6052C

camisa de montaje en la cual se introduce el sensor de presión. En la figura 4 se muestra la vista superior del sensor de presión en cámara instalado en el motor Mercedes.

1.2.2 Sensor presión admisión: 4007DS

Para complementar la medición de la presión en la cámara de combustión, se instala un sensor de presión en el manifold de los gases de escape. Esta medición tiene la particularidad de ser una presión baja en comparación a la presión medida en la cámara de combustión, además de presentar un valor constante a lo largo de los ciclos de trabajo del motor, que debería ser igual a la presión ambiente (aproximadamente 1 [bar]), por lo que se debe optar por un sensor de presión que abarque, por seguridad, desde 0[bar] a 5[bar]. Para esta medición se opta por un sensor de tipo piezorresistivo de baja presión, los cuales son ampliamente utilizados en análisis en procesos de intercambio de gases.

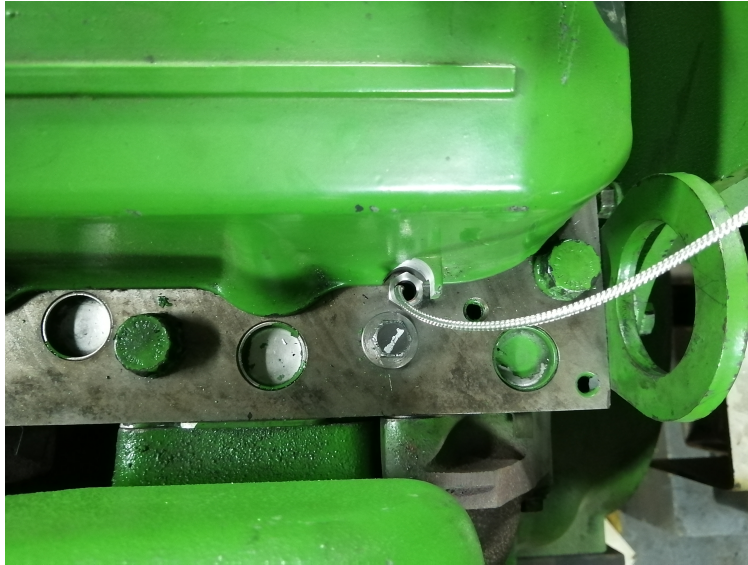


Figura 4: Vista superior montaje de sensor de presión en cámara 6052C.

El funcionamiento de los sensores piezorresistivos se basa en un puente semiconductor Wheatstone, formado por resistencias implantadas en un diafragma de silicio micromaquinado. Al aplicar presión en el sensor, la resistencia y salida de tensión de este cambian de manera proporcional a la presión. Para esta aplicación se cuenta con el sensor 4007D de KISTLER mostrado en la figura 5. Los rangos principales de operación del sensor 4007DS se muestran en la tabla 3.

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

Tabla 3: Condiciones de operación sensor 4007DS. Adaptado de hoja de datos KISTLER Sensor 4007D [Anexo A].

Al igual que el sensor de presión 6052C para la cámara de combustión, el sensor 4007DS cuenta con una serie de accesorios para su montaje. Estos se detallan en la tabla 4.

Producto	Descripción
4007D005FDS1-2,0	Sensor de Presión Piezorresistivo
1145A1	Sellos de Cobre
1300B12	Llave de montaje para sensor 4007DDS
1300A17	Llave de Torque 1...6 [Nm]
4785A41-10,0	Cable Extensión sensor 4007DDS

Tabla 4: Accesorios sensor 4007DS

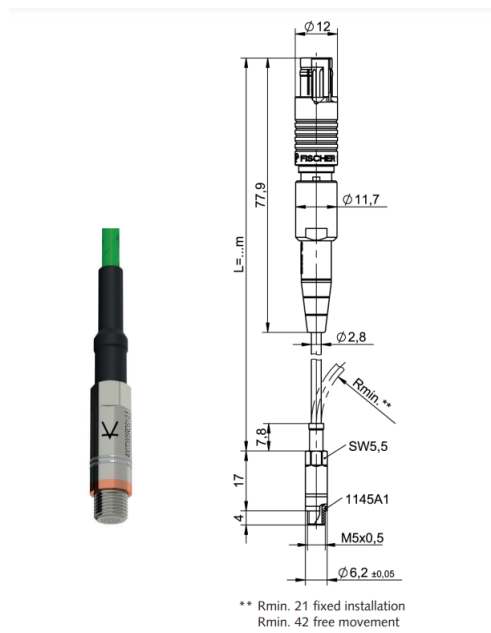


Figura 5: Diagrama sensor 4007D. Adaptado de hoja de datos KISTLER Sensor 4007D [Anexo A].

La metodología de instalación del sensor es similar a la del sensor 6052C, correspondiente a una camisa de montaje con el sensor dentro. La vista superior del sensor montaje en el motor Mercedes OM 663 LA se observa en la figura 6.



Figura 6: Vista superior montaje de presión de admisión 4007D.


1.2.3 Sensores de temperatura

A partir de la figura 1 se podría interpretar que se solo se medirá una señal de temperatura, sin embargo, este diagrama corresponde a una simplificación de las conexiones, ya que las temperaturas a medir por el sistema son 6:

- Temperatura gases de escape
- Temperatura del refrigerante
- Temperatura aire antes del intercooler
- Temperatura aire después del intercooler
- Temperatura agua retorno a motor
- Temperatura dinamómetro (sensor instalado en estructura externa al motor, dedicada a simular condiciones de carga)

Para las mediciones de temperatura de interés, se utilizan termocuplas tipo K. Este tipo de sensores son altamente usados en la industria, puesto que mediante una precisión razonable, permiten abarcar un gran rango de medición, normalmente entre -200 y $+1700^{\circ}\text{C}$. De las temperaturas medidas, la que presenta mayor variación a lo largo del funcionamiento del motor corresponde a la temperatura de los gases de escape, alcanzando casi los 1000°C para altos requerimientos de carga, por lo que el uso de termocuplas cumple con el rango de medida requerida dadas las temperaturas a medir.

Una termocupla industrial consta de dos hilos o aleaciones distintas soldados por un extremo, introducido 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 ser integrado en algún instrumento de medida.

Codificación de Color IEC 584-3	Código IEC
	K

Para la conexión de los terminales de las termocuplas se debe tener especial cuidado con la polaridad de los cables. Según la norma IEC 584-3 [3], el color de los cables de conexión indican la polaridad de los cables. El cable de color verde

Figura 7: Código de colores termocupla tipo K.¹⁴
Adaptado de norma IEC 584-3.

corresponde al terminal positivo, y el cable color blanco corresponde al terminal negativo. La señal de salida de este sensor es una señal analógica de voltaje, y se conecta directamente mediante los cables de cobre ubicados en sus terminales. Para adquirir las señales se utiliza el módulo NI-9213 con entradas tipo Spring.

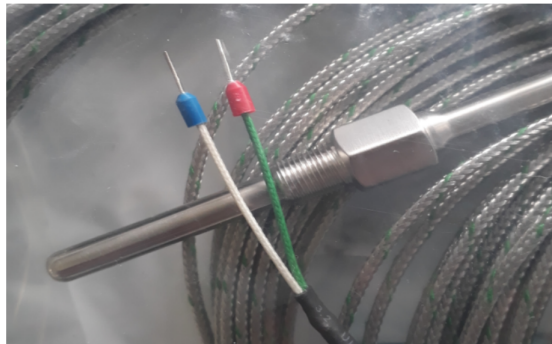


Figura 8: Termocupla tipo K.

1.2.4 Set Encoder Tipo 2614CK0

Para la medición del ángulo de cigüeñal del motor, se utiliza un Encoder óptico de tipo incremental que permite conocer el ángulo de giro del motor, y de esta forma relacionar la presión en la cámara de combustión con el ángulo de cigüeñal para calcular los parámetros de combustión detallados en los objetivos de la memoria.

Dentro del catálogo de instrumentación de KISTLER, se encuentra el conjunto Set Encoder Tipo 2614CK0 [9], correspondiente a un codificador óptico enfocado en la medición de ángulos de cigüeñal en motores. Este conjunto consiste en un Crank Angle Encoder 2614C11 y un módulo electrónico Encoder Electronics Type 2614C21 con salidas digitales LVDS y TTL.

Crank Angle Encoder 2614C11

Corresponde al instrumento a instalar directamente en el rotor del motor. Este rotor se relaciona con el ángulo de cigüeñal del motor en razón 1:1, es decir: 1 grado medido por el encoder corresponde a 1 grado de rotación del cigüeñal del motor.

El Crank Angle Encoder 2614C11 consiste en una montura fija con extremo movable. Esta montura

incluye los discos giratorios que generan la señal cuadrada relacionada al ángulo de medición. Desde este lugar se extiende un cable que se conecta al módulo electrónico de acondicionamiento de señal 2614C21. Ver figura 9.



Figura 9: Crank Angle Encoder 2614C11

En la tabla 10 se muestran los datos técnicos entregados por la hoja de datos del fabricante, destacando que la resolución corresponde a 720 pulsos por revolución, es decir, cada pulso indica 0,5 grados de giro.

Technical data of crank angle encoder Type 2614D11

Crank angle signal	°	720x0,5
Speed range	1/min	0 ... 12.000
Speed range	° C	-40 ... 85
Mechanical Interface/Mounting diameter (mounting compatibility to Type 2614C11)	mm	60
Electrical connection		cable with plug l = 2 m
Weight	g	360

Figura 10: Datos técnicos del Crank Angle Encoder 2614C11 adaptado de Anexo C.

Módulo de acondicionamiento 2614C21.

Las señales entregadas desde el encoder 2614C11 deben ser acondicionadas para ser medidas. De esto se encarga el módulo de acondicionamiento 2614C21, el cual recibe la señal desde el encoder y entrega una señal digital TTL de 5[V].

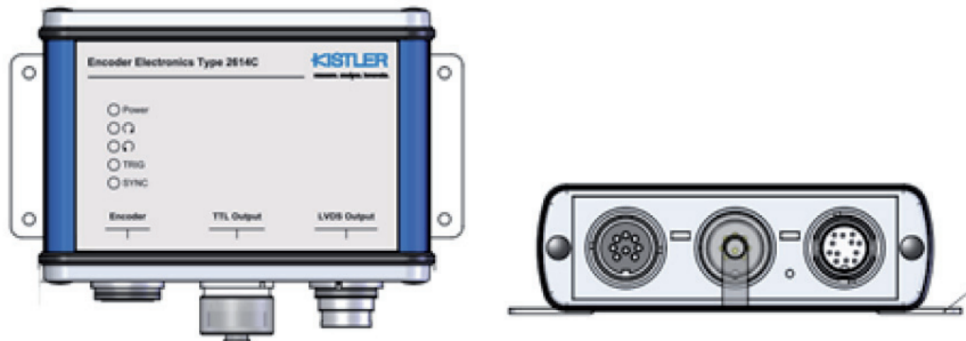


Figura 11: Módulo de acondicionamiento 2614C21.

Desde la salida TTL se pueden medir 3 señales mediante conexión BNC:

- **ROT:** Indica el sentido de giro del encoder. En caso de girar a favor de las manecillas del reloj entrega una señal constante de 5V, si gira en contra de las manillas del reloj la señal es constante de 0V.
- **CDM:** Corresponde a un tren de pulsos de 5V de amplitud, con resolución de 720 Pulsos/rotación.
- **TRG:** Es la señal de trigger. Entrega un pulso de 5V cada vez que el encoder cumple una rotación de 360°.

El montaje del encoder en el motor se realiza mediante la intervención en el cigüeñal, que permite instalar el soporte de anclaje al rotor de los motores. De esta forma desde el cigüeñal se tiene una única señal cableada al módulo electrónico del encoder, que luego entrega una señal TTL con la cual se procesan los datos adquiridos. En la figura 13 se muestra uno de los encoders adquiridos instalados en el motor Mercedes OM 633 LA.

Technical data of crank angle encoder Type 2614D21

Control and indication LED's		Power Rotation cw ¹ /ccw ² Trigger Synchronization
Output signal to indicating system		LVDS-Signal TTL-Signal
Power supply	VDC	8 ... 48
Temperature range	° C	-30 ... 70
Dimensions	mm	108x74x36
Weight	g	290

¹ clockwise

² counter clockwise

Figura 12: Datos técnicos del módulo de acondicionamiento 2614C21, adaptado de Anexo C.

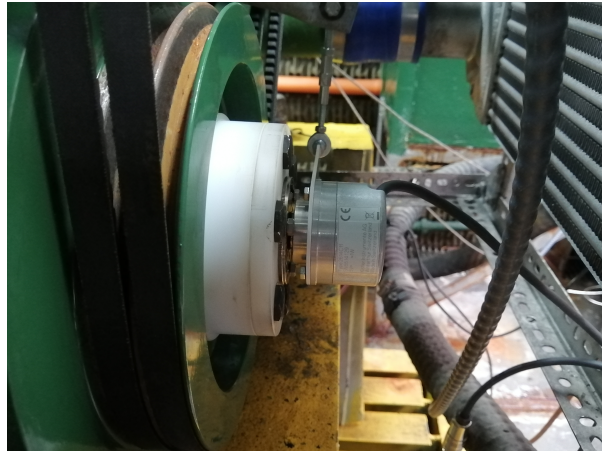


Figura 13: Montaje encoder en motor Mercedes del laboratorio de termofluidos.

Es de suma importancia mencionar que el ángulo de montaje del encoder no es arbitrario. El módulo de acondicionamiento 2614C21 tiene en su panel frontal un indicador led de la señal TRG, de esta forma se puede saber en qué momento el encoder se encuentra en sus 0°. Al momento de instalar el encoder, se debe procurar que el cilindro de la cámara de combustión se encuentre en el puerto muerto superior y además la luz led TRG se encuentre encendida, de esta forma se relaciona correctamente el ángulo de giro del motor con el ángulo de giro del encoder.

2 Capítulo 2: Sistema de adquisición de datos

Data AcQuisition o DAQ por sus siglas en inglés, es el proceso de convertir un fenómeno eléctrico o físico como voltaje, corriente, temperatura, presión o sonido en un dato digital. Un sistema DAQ consiste de sensores, hardware de medidas DAQ y un PC con software programable, capaz de procesar las mediciones y entregar información útil para el usuario. A continuación se presenta el hardware y software implementado para adquirir y procesar datos de presión, temperatura y ángulo de cigüeñal.



Figura 14: Flujo de señal en sistema DAQ. Adaptado de *NI: ¿Qué es un DAQ?*

2.1 Hardware

2.1.1 Acondicionamiento de señales de presión

Tanto el sensor de presión en cámara como el de admisión deben ser acondicionados para alcanzar el nivel de voltaje de operación aceptado por el sistema de adquisición de datos. Para lograr esto, KISTLER cuenta con instrumentación dedicada al acondicionamiento de señales entregadas por los sensores de la empresa. Este sistema de acondicionamiento consta de un chasis de módulos de amplificación llamado SCP Slim (modelo 2852B12), el cual es compatible con un amplificador de carga modelo 5064D11 para el sensor de presión en cámara, y un módulo amplificador piezoresistivo modelo 4665B1 para el sensor de admisión.

SCP Slim 2852B12

En la figura 15 se muestra el SCP Slim implementado para el presente trabajo de título. Este chasis cuenta con dos slots para módulos de acondicionamiento de señal, como se muestra en la figura 16, salidas Ethernet, CAN, RS-232, Analog Output y Digital Output. También cuenta con conexiones de expansión en caso de querer trabajar con más de un SCP Slim de forma simultánea, como se muestra en la figura 17



Figura 15: SCP Slim 2852B12 con Amplificadores. Adaptada de catálogo KISTLER - SCP Slim for engine indication.

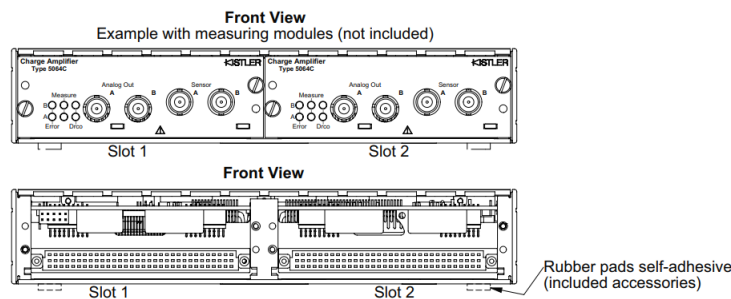


Figura 16: Diagrama de vista frontal SCP Slim 2852B12. Adaptada de catálogo KISTLER - SCP Slim for engine indication.

La gran ventaja de utilizar el chasis SCP Slim es la tecnología asociada a los sensores utilizados para medir presiones. El sistema SCP Slim reconoce de manera automática los módulos conectados al chasis, además de calibrar inmediatamente las señales entregadas por los sensores de presión. La información específica para la calibración de cada sensor está almacenada en una memoria no volátil y es automáticamente cargada al sistema una vez encendido, referida bajo el acrónimo TEDS (Transducer Electronic Data Sheet). 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:

Cascading for SCP Slim

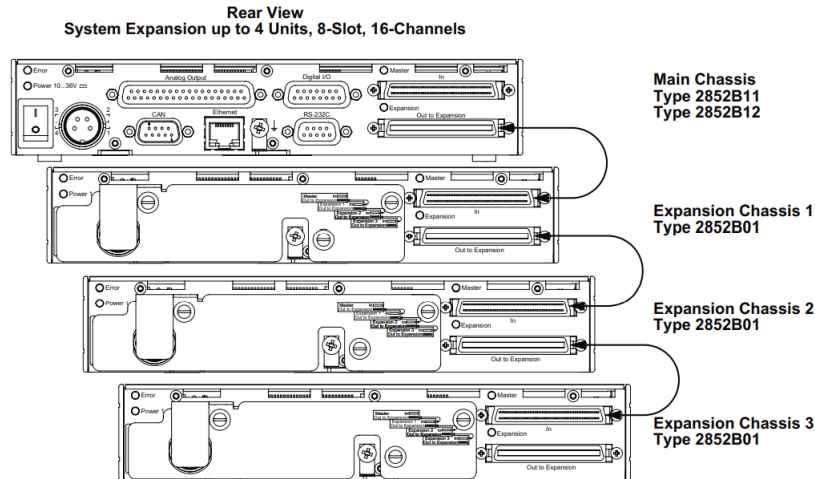


Figura 17: Vista trasera SCP Slim 2852B12. Adaptada de catálogo KISTLER - SCP Slim for engine indication.

- Tablas resumen de calibración de cada amplificador y sensor
- Posibilidad de exportación de la configuración de los amplificadores dada su Hoja de Datos de Transductor Electrónico (TEDS).
 - Identificador de sensores *PiezoSmart* para una mayor seguridad en el proceso y calidad de los datos.

Los módulos compatibles con SCP Slim detallados en el catálogo del instrumento son:

- Amplificador de carga con identificador de sensor, modelo 5064D11, 5064D12 y 5064D13
- Amplificador piezoresistivo con identificador de sensor, modelo 4665B1
- Módulo pMAX tipo 5269Y51
- Amplificador Bridge tipo 5271Y51

Ya que la naturaleza de los sensores de presión en cámara y admisión son piezoelectrico y piezoresistivo respectivamente, se debe utilizar un amplificador de carga y un amplificador piezoresistivo, detallados a continuación.

Amplificador de carga 5064D11

El módulo de amplificación 5064D11 [7] corresponde a un amplificador de carga de 2 canales controlado por microprocesador para acondicionamiento de señales análogas, en particular para sensores piezoeléctricos. En el caso específico de este proyecto, se utiliza para la amplificación de la señal proveniente del sensor 6052C, que registra las variaciones de presión al interior de la cámara de combustión. Además del modelo 5064D11, existe el modelo 5064D12 y 5064D13, los cuales cuentan con tecnología *PiezoSmart*, la cual permite identificar sensores automáticamente y registrar horas de funcionamiento del sensor conectado además de entregar valores importantes respecto a la presión mediante la salida CAN del SCP Slim conectada a un computador. Sin embargo, el amplificador disponible 5064D11 no cuenta con esta tecnología, por lo que se utiliza la amplificación de señal análoga para aumentar el nivel de voltaje recibido. La calibración de la amplificación viene dada por defecto para sensores de presión de KISTLER, aún así, puede ser modificada por el usuario con los permisos correspondientes desde el software KISTLER SCP (práctica no recomendada por este trabajo de memoria), sin embargo, el rango de voltaje de salida de este amplificador siempre será en 0V y 10V, entorno a los cuales se realiza una relación proporcional dado el rango de presión medida. En el caso de este proyecto, al tener un rango de medición entre 0[bar] y 240[bar], 0V corresponden a 0[bar] y 10V a 240[bar], obteniendo una relación de 24[bar/V].

En la figura 18 se muestra la vista frontal del amplificador de carga 5064D11, el cual cuenta con 2 entradas tipo BNC (A y B) para dos sensores de presión, y 2 salidas BNC correspondientes a señales acondicionadas de voltaje.

Para conectar este amplificador en el chasis SCP Slim, se introduce el amplificador en uno de los dos slots disponibles, haciendo presión hasta que se haya conectado completamente con el SCP Slim.

Amplificador piezoresistivo 4665B1

El módulo de amplificación 4665B1 [8] es un amplificador de 2 canales controlado por microcontrolador para el acondicionamiento de señales análogas proveniente de sensores piezoresistivos.



Figura 18: Amplificador de carga 5064D11

Este amplificador es particularmente recomendado para mediciones de alta precisión, y es usado típicamente en la medición de presiones de inyección o escape de motores. Para el desarrollo de este proyecto se utiliza en conjunto con el sensor piezoresistivo 4007D en la medición de la presión de admisión de los motores MCI.

Al igual que el amplificador de carga 5064D11, este amplificador piezoresistivo viene calibrado de fábrica para la utilización del sensor 4007D. Al igual que el amplificador 5064D11 el rango de voltaje de salida es de 0V a 10V, entorno a los cuales se realiza una relación proporcional dado el rango de presión medida. En el caso de este amplificador, al tener un rango de medición entre 0[bar] y 5[bar], 0V corresponden a 0[bar] y 10V a 5[bar], obteniendo una relación de 0,5[bar/V].

En esta implementación se utiliza un rango de medición de presión entre 0[bar] y 5[bar] Además, cuenta con tecnología digital *PiezoSmart* con salida digital tipo CAN, la cual puede ser conectada directamente a un computador y sincronizada con las mediciones del amplificador de carga 5064D11.

En la figura 19 se observan sus 2 entradas (A y B) para sensores con tecnología *Piezosmart*, y 2 salidas BNC análogas para ser entregadas al sistema DAQ.



Figura 19: Amplificador piezoresistivo 4665B1

La conexión con el SCP Slim es la misma que el amplificador de carga. Por lo tanto el montaje en el sistema SCP es el mismo descrito en la subsección anterior: presión hasta que se haya realizado la conexión de los terminales.

Finalmente el SCP Slim con ambos amplificadores montados en sus slots se muestra en la figura 20.

2.1.2 Sistema de adquisición de datos: CompactDAQ y Módulos C

Para recopilar las señales análogas del encoder, sensores de temperatura, y las señales acondicionadas entregadas por el SCP Slim, debemos contar con un hardware que actúe como interfaz entre un computador y las señales físicas. Para esto se requiere de un dispositivo que convierta señales análogas (voltaje) a información digital de manera de ser transmitida a un computador mediante un canal de comunicación a convenir.



Figura 20: SCP Slim con amplificador de carga (slot derecho) y amplificador piezoresistivo (slot izquierdo).

Dada la naturaleza de los sensores, su proceso de acondicionamiento de señal, y el encoder implementado, se debe tener en consideración los niveles de operación del proceso de combustión mostrados en la tabla 5.

Sensor de presión en cámara	Rango de voltaje	[0 , 10]	V	1 BNC
Sensor de admisión	Rango de voltaje	[0 , 10]	V	1 BNC
Sensores de temperatura	Rango de temperatura	[0 , 200]	°C	10 Pines + -
Encoder	Pulsos de voltaje	TTL	V	2 BNC

Tabla 5: Rangos de operaciones de instrumentación a medir.

Para la elección de este sistema, el proyecto FONDECYT se asesora con la empresa National Instruments (NI), la cual se dedica al desarrollo y venta tanto de softwares como hardwares para la adquisición de datos y control de instrumentos. De esta forma se adquiere el chasis CompacDAQ NI-9174 con módulos de incorporación de señales tipo C: NI-9215 y NI-9213.

NI 9215

El NI 9215 es un módulo de entradas análogas para usarlo con sistemas NI CompactDAQ o CompactRIO. Este módulo consta de cuatro entradas análogas de terminales BNC con rango de entre $\pm 10V$ con protección de sobrevoltaje hasta los $\pm 30V$. Posee una tasa de muestreo simultánea e iguales de hasta 100kS/s/ch y resolución de 16 Bit para cada canal [11]. En este módulo se conectan las dos

señales análogas acondicionadas provenientes del SCP Slim correspondientes a las presiones medidas, y las señales TRG y CDM provenientes del encoder.

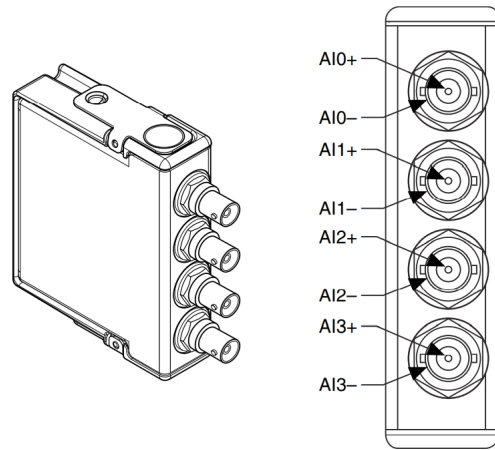


Figura 21: Diagrama módulo NI-9215. Adaptado de National Instruments - Getting Starter Guide NI 9215.

NI 9213

El NI 9213 es un módulo compatible con el chasis cDAQ, utilizado para conectar termocuplas de alta densidad. El diseño de entradas de este módulo permite incorporar una alta cantidad de señales de temperatura sin utilizar una alta cantidad de slots. En particular, el NI 9213 posee 16 canales para termocuplas, con 24 bits de resolución en su ADC, un rango de medición de voltaje de $\pm 78.125\text{mV}$ con protección de sobrevoltaje de hasta $\pm 30\text{V}$. Los terminales de las termocuplas deben ser conectadas según su referencia positiva y negativa de voltaje detallado en el manual adjunto en el Anexo B.

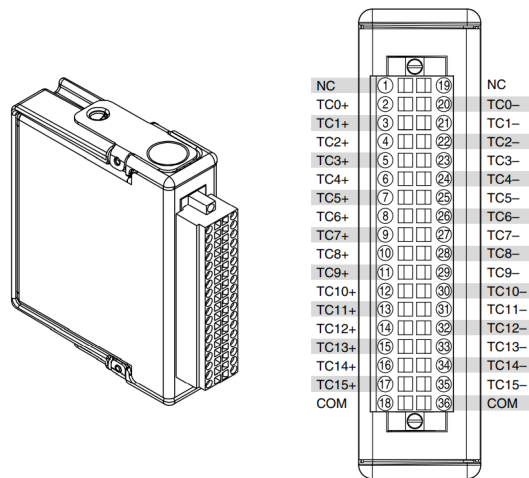


Figura 22: Diagrama módulo NI-9213. Adaptado de National Instruments - Getting Starter Guide NI 9213.

CompactDAQ NI cDAQ-9174

La serie plataforma de adquisición de datos CompactDAQ de National Instruments consta de un chasis con slots a los cuales se le pueden conectar diferentes tipos de módulos de recepción de señales análogas como voltaje y corriente, como los NI 9215 y NI 9213 detallados anteriormente, permitiendo ser conectado a un computador por USB o Ethernet dependiendo del modelo de chasis. Es importante mencionar que la serie CompactDAQ tiene una precisión de tiempo igual a 12.5[ns], osea que pueden ser configurados para leer datos en un intervalo de hasta 12.5[ns] por canal[10].

Para el presente trabajo se utiliza el modelo NI cDAQ-9174, chasis de cuatro slots y conexión USB 2.0 Hi-Speed cuya velocidad de comunicación serial es de 32Mb/s. Este modelo de chasis está diseñado para sistemas de adquisición de datos pequeños y portátiles, permitiendo conectar hasta 4 módulos NI-C para incorporar señales. Los datos técnicos más importantes de este chasis se muestran en la tabla 6.

Tipo de conexión a PC	USB 2.0 Hi-Speed - 32Mb/s
Cantidad de canales soportados	Determinado por los módulos C conectados
Cantidad de slots	4 slots compatibles con módulos C
Resolución de temporización	12.5 ns
Tamaño del buffer	127 datos por slot
Temperatura de operación	[-20°C , 55°C]

Tabla 6: Parámetros operación CompactDAQ. Adaptado de National Instruments, Specifications NI cDAQ-9174.

Una gran ventaja de este chasis con sus módulos C, es que cuentan con la modalidad Plug and Play mediante el puerto USB luego de instalar el controlador correspondiente NI-DAQmx, reconociendo automáticamente el modelo del chasis cDAQ y los modelos de los módulos instalados en este. Desde el lado del usuario, se permite modificar la frecuencia de muestreo a utilizar, distribuir las entradas y salidas a elección, además de poseer librerías dedicadas para la configuración de la comunicación con el computador a utilizar.

2.1.3 Integración de señales DAQ

Al realizar las conexiones de los sensores y encoder en los módulos NI-9213 y NI-9215 se debe respetar un orden específico para que el procesamiento de señales sea realizado correctamente. Esta conexión consta de tres etapas: conexión de sensores de presión al sistema SCP Slim, conexión de terminales del encoder y sensores de presión al módulo NI-9215, y conexión de termocuplas al módulo NI-9213.

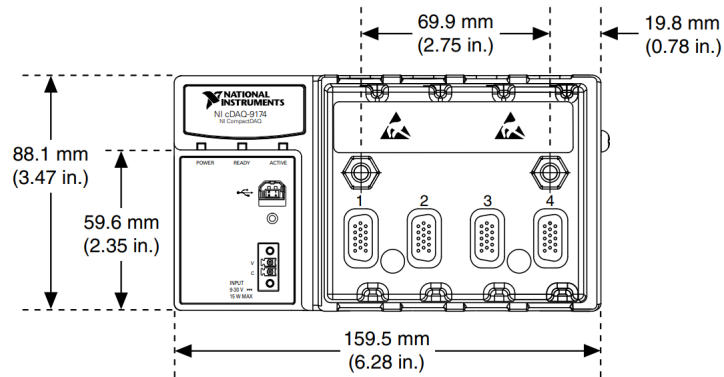


Figura 23: Esquema CompactDAQ. Adaptado de National Instruments, Specifications NI cDAQ-9174.

El detalle de cada etapa de conexión en orden se muestra a continuación:

1. Conexión cables encoder.

El set encoder utilizado consta de un módulo electrónico, el cual recibe la salida del encoder óptico 2614C11 mediante un cable de dos metros de largo. Desde el módulo electrónico se conecta el cable TTL incluido en el set. El cable TTL, cuenta de tres salida BNC y los terminales de alimentación de voltaje. Antes de comenzar a utilizar el dispositivo se debe alimentar el módulo electrónico mediante su respectivo transformador de 220V a XXXX. ***REVISAR***

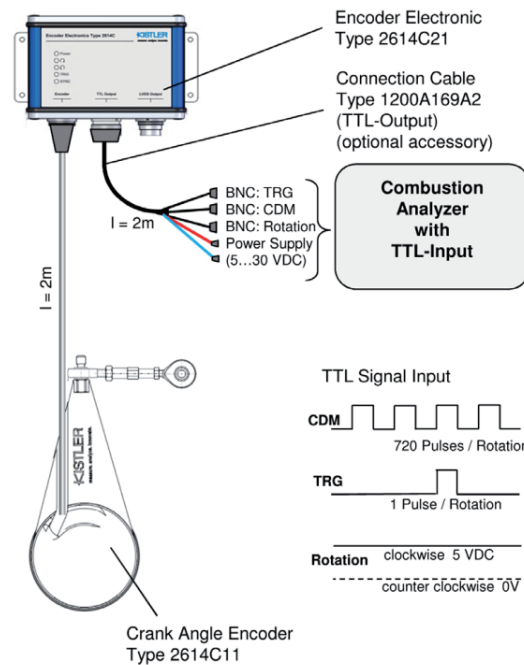


Figura 24: Diagrama conexión encoder. Adaptado de KISTLER - Instrucción Manual Crank Angle Encoder Set Type 2614CK.

2. Conexión sensores de presión al SCP Slim.

En primer lugar se conectan los sensores de presión en sus respectivos amplificadores de señal empotrados en el SCP Slim, de acuerdo a la tabla 7

Sensor	Módulo amplificador	Entrada
6052C	amplificador de carga 5064D11	A o B
4007D	amplificador piezoresistivo 4665B1	A

Tabla 7: Orden de conexión de sensores de presión en módulos de amplificación.

Desde los amplificadores de señal se obtienen dos señales análogas a través de sus respectivos terminales BNC correspondientes a las señales de presión acondicionadas. Desde el amplificador de carga 5064D11 se obtiene la señal acondicionada de la presión en la cámara de combustión, y desde el amplificador piezoresistivo 4665B1 se obtiene la señal acondicionada de la presión de admisión. Es importante recalcar que, como se mencionó en el capítulo anterior, cada amplificador posee dos entradas y dos salidas identificadas por las letras A y B, por lo tanto, de conectar un sensor en la entrada A del amplificador, la señal análoga acondicionada se obtiene por la salida A. De la misma forma ocurre con la entrada y salida B. Mediante cables BNC se entrega la señal

acondicionada por los amplificadores al módulo NI-9215 empotrado en el cDAQ.

La figura 25 muestra el montaje final de los módulos de amplificación de señal con sus respectivos sensores conectados, habiendo montado el amplificador de carga en el slot derecho del SCP Slim, y el amplificador piezoresistivo en el slot izquierdo.

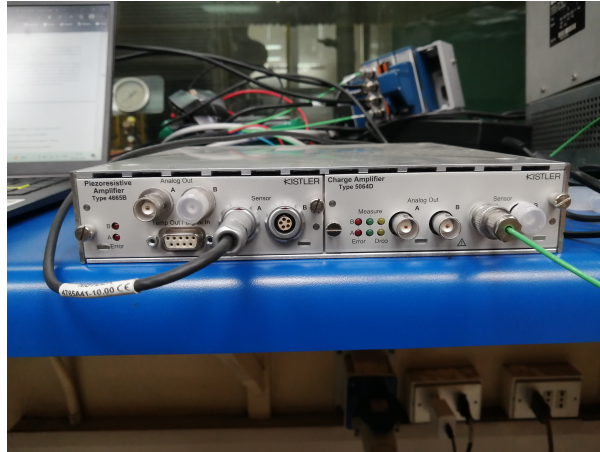


Figura 25: Resultado de la conexión de los sensores en sus módulos de amplificación.

3. Conexión de sensores y encoder al NI-9215.

Para conectar los terminales BNC de los sensores y encoder al modulo NI-9215, se debe tener en cuenta la numeración de las entradas de este. La numeración corresponde a la nominal entregada por la hoja de datos del módulo que pueden verificarse a un costado de cada terminal. Desde arriba hacia abajo, se tienen las entradas AI0, AI1, AI2 y AI3. En este módulo se conectan las señales acondicionadas de presión mediante cables BNC, y las señales de interés del cable TTL entregada por el encoder, que para el presente trabajo corresponde al CDM y TRG. En la tabla 8 se indica el orden de conexión. Es de suma importancia que este orden sea respetado para que el programa de procesamiento de datos considere los datos correctos para el cálculo de parámetros de combustión.

Entrada NI-9215	Conexión BNC
AI0	Encoder CDM
AI1	Presión cámara
AI2	Presión admisión
AI3	Encoder TRG

Tabla 8: Orden de conexiones NI-9215

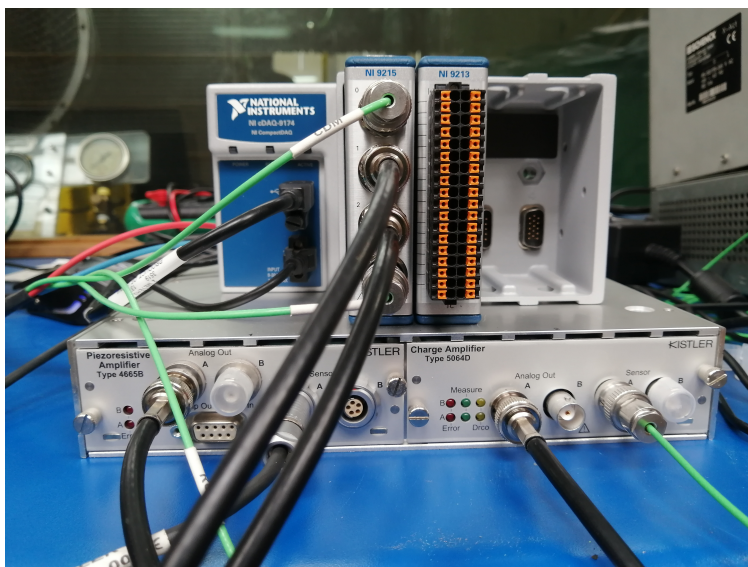


Figura 26: Vista frontal de la conexión desde los módulos de amplificación al módulo NI-9215

Si bien las salidas a medir del encoder (CDM y TRG) son parte de la señal digital TTL y por lo tanto se podrían medir mediante un módulo digital, son conectados al módulo NI-9215 que mide señales análogas. Esta decisión es tomada en función de los módulos disponibles por el proyecto, ya que no se cuenta con un módulo de entradas digitales con terminales BNC que logran capturar la señal TTL del encoder. Esta decisión trae consecuencias a futuro a nivel de programación y medición del ángulo de cigüeñal que no permiten tener mediciones con velocidad variable, por lo que se propone a futuro adquirir un módulo de entradas digitales TTL con terminales BNC.

4. Conexión de termocuplas al NI-9213.

Las señales provenientes de las termocuplas se conectan directamente al módulo NI-9213, sin pasar por algún proceso de acondicionamiento. La conexión de cada termocupla tiene un orden específico que debe ser respetado. Para esto, a un costado de los terminales de cada cable, se añade una etiqueta indicando qué temperatura del motor se está midiendo.

Este módulo cuenta con 16 entradas de termocuplas identificadas como TC, numeradas desde TC0 hasta TC15. Cada entrada cuenta con una entrada de nodo positivo y negativo, indicado como TCX+ ó TCX-. Los terminales habilitados del módulo para conectar las termocuplas corresponden a los pines TC0, TC2, TC4, TC6 y TC8.

Software controlador NI-DAQmx

Antes de comenzar a utilizar LabVIEW con el chasis CompactDAQ y sus respectivos módulos, es necesario instalar el software controlador NI-DAQmx. Para instalar este controlador se puede optar por el instalador incluido con la compra del cDAQ mediante un pendrive USB, o se puede descargar la última versión desde la página oficial de National Instruments.

Contar con el controlador permite reconocer automáticamente el tipo de chasis conectado por USB al computador, además de reconocer los módulos C instalados en el cDAQ. También en la instalación se incluye la librería de VIs que permiten realizar configuraciones en el hardware utilizado. La utilización de los VI se detalla en el capítulo 3 de desarrollo de software.

2.2.2 MATLAB

MATLAB es una plataforma de programación y cálculo numérico utilizada por millones de ingenieros y científicos para analizar datos, desarrollar algoritmos y crear modelos. Cuenta con un sinfín de comandos y toolboxes que permiten la manipulación y procesamiento de datos, además de prestar la posibilidad de ser utilizado como un sub-ambiente de programación en LabVIEW. Debido a esto, es que para el presente proyecto se desarrolla código de MATLAB que luego es implementado en los VIs de procesamiento de datos del sistema de monitoreo de combustión. Los requisitos de instalación para lograr esta compatibilidad se detallan en el capítulo 4, y la forma de programar código MATLAB dentro de LabVIEW se detalla en el capítulo 3.

2.2.3 Kistler SCP software

Para el correcto proceso de acondicionamiento de señales mediante el sistema SCP Slim, se debe instalar el programa KISTLER SCP que puede ser descargado desde la página web de KISTLER. Este programa permite realizar la correcta amplificación de señal dependiendo del amplificador utilizado, cargando la información necesaria al microcontrolador del sistema SCP. También el software KISTLER SCP permite establecer comunicación con el computador mediante protocolo TCP/IP y cable ethernet, configurar estos canales de comunicación, mostrar información sobre el estado de funcionamiento de los amplificadores de señal, y manipular la calibración de acondicionamiento en caso de ser necesaria.

El uso de este programa es indispensable para el correcto funcionamiento del sistema final, ya que de no iniciar el programa antes de comenzar la adquisición de datos, no se realizaría la amplificación de señal correspondiente y por ende los datos adquiridos no serían representativas del proceso.

2.2.4 Integración de señales a nivel de software

Una vez instalados los programas antes descritos y habiendo realizado la integración de señales a nivel de hardware, se procede a configurar los programas que serán utilizados para adquirir y procesar datos. Las etapas de integración de señales digitales en orden se detalla a continuación:

1. Configuración de comunicación SCP Slim

Desde la parte trasera del chasis SCP Slim, se conecta un cable ethernet al computador del usuario. Luego se debe prender el SCP Slim, y abrir el software KISTLER SCP. El programa debe reconocer automáticamente el chasis SCP Slim, con los respectivos amplificadores montados. De no ser así, consultar el manual de configuración de comunicación del fabricante [Anexo C].

La interfaz del programa se muestra en la figura 28. Desde este panel es posible acceder a los datos de calibración y configuración de comunicación de cada amplificador, como se muestra en las figuras 29 y 30.

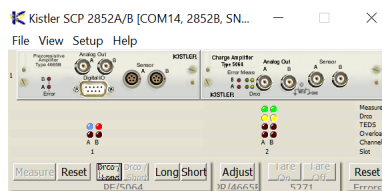


Figura 28: Interfaz de usuario software KISTLER SCP

Para corroborar que se establece comunicación correctamente y que los parámetros de calibración están correctamente cargados en el SCP Slim, se puede acceder a la ventana Event Log, desde la pestaña View-Event Log. En este terminal se indican los procesos llevados a cabo por el software. En la figura 31 se muestra la serie de eventos recibidos al iniciar el programa por primera vez en un día.

Dentro de los eventos se encuentra la inicialización de los factores de calibración. Estos pueden ser corroborados en la configuración de cada amplificador, o bien se puede acceder a View-Calibration Factors, donde se detalla únicamente los factores de calibración de cada amplificador con sus respectivas entradas.

En caso que se desee trabajar con más de un chasis SCP Slim, es posible seleccionar el puerto de comunicación donde se conectan los demás chasis. Para esto sería necesario entrar a Setup-

Item	Value	Units
version	1.29	
type	4665B1	
serial number	5623627	
channels	2	
module	Piezoresistiv...	
sensor type IA	4007D	
sensor SN IA	5636018	
mechanical unit...	bar	
electrical unit IA	mV	
calibration fact...	0.5	bar/V
range IA	5	bar
gain IA	1	-
gain adjustmen...	0	%
low pass filter IA	0	Hz
output offset s...	0	V
offset correctio...	0	bar
drco. time cons...	<input checked="" type="checkbox"/> drco. te...	
show sensor da...	<double clic...	
TEDS IA	activated	
send temperatur...	Off	
temperature CA...	32	
sensor type IB	Enter.Type	
sensor SN IB	Enter.SN	
mechanical unit...	bar	
electrical unit IB	mV	
calibration fact...	1	bar/V
range IB	10	bar
gain IB	1	-
gain adjustmen...	0	%
low pass filter IB	0	Hz
output offset s...	0	V
offset correctio...	0	bar
drco. time cons...	<input type="checkbox"/> drco. te...	
show sensor da...	<double clic...	
TEDS IB	activated	
send temperatur...	Off	
temperature CA...	33	
TEDS work timer	off	

Figura 29: Parámetros de calibración amplificador 4665B para sensor de presión piezorresistivo de admisión 4007D,

Item	Value	Units
version	1.01	
type	5064D11	
serial number	5619437	
channels	2	
module	Charge Am...	
sensor type IA	Enter.Type	
sensor SN IA	Enter.SN	
measure state IA	Measure	
mechanical unit...	bar	
electrical unit IA	pC	
sensor sensitivi...	10	pC/bar
range IA	240	bar
calibration fact...	24	bar/V
low pass filter IA	Off	Hz
output offset s...	0	V
drco. time cons...	Drco / Short	
remote measur...	<input checked="" type="checkbox"/> On	
cycle detect off...	2	%
TEDS IA	Off	
show TEDS dat...	<double clic...	
send pMax IA	Off	
pMax CAN Iden...	32	
pMax LP filter IA	100000	Hz
sensor type IB	Enter.Type	
sensor SN IB	Enter.SN	
measure state IB	Measure	
mechanical unit...	bar	
electrical unit IB	pC	
sensor sensitivi...	10	pC/bar
range IB	100	bar
calibration fact...	10	bar/V
low pass filter IB	Off	Hz
output offset s...	0	V
drco. time cons...	Drco / Short	
remote measur...	<input checked="" type="checkbox"/> On	
cycle detect off...	2	%
TEDS IB	Off	
show TEDS dat...	<double clic...	
send pMax IB	Off	
pMax CAN Iden...	33	
pMax LP filter IB	100000	Hz

Figura 30: Parámetros de calibración amplificador 5064 para sensor piezoeléctrico en cámara de combustión 6052C.

Select COM port-Network Settings, se aceptan los permisos de administrador del computador, y se establece manualmente un nuevo canal de comunicación. Para entrar en detalle sobre esta etapa consultar con manual de comunicación [Anexo D].

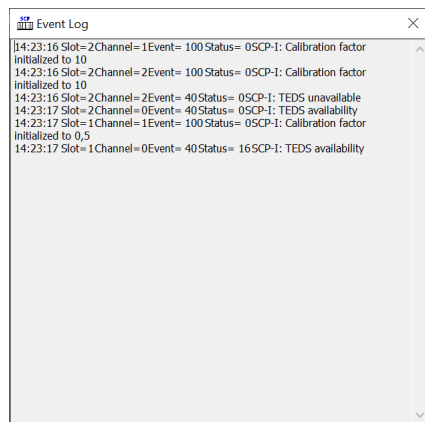


Figura 31: Ventana Event Log software KISTLER SCP al iniciar la comunicación

Sl...	Type	Ch...	ID	Range	Units	Cal. Factor	Units
1	4665B1	A	1	5	bar	0,5	bar/V
		B	2	10	bar	1	bar/V
2	5064D11	A	3	100	bar	10	bar/V
		B	4	100	bar	10	bar/V

Figura 32: Ventana Calibration Factores software KISTLER SCP



Figura 33: Ventana Configure Network Devices para establecer nuevos puertos de comunicación

2. Programación VIs de LabVIEW para adquisición de datos

Con la instalación del software controlador NI-DAQmx, se añade la librería de instrumentos virtuales DAQ Assistant. Estas herramientas permiten configurar las entradas de cada módulo conectado al CompactDAQ. En la figura 34 se muestra el ciclo while recomendado por LabVIEW para configurar la adquisición de datos.

Al abrir el bloque DAQ Assistant, se despliegan todas las variables que el bloque cDAQ puede adquirir, con sus respectivos módulos compatibles. Para esta configuración nos interesa medir

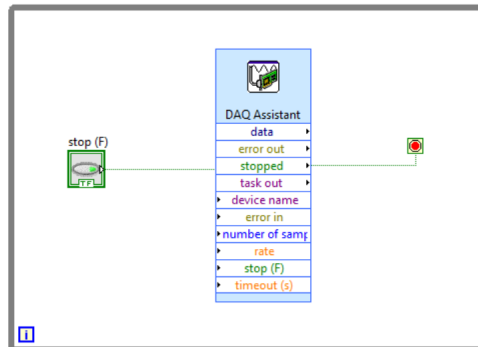


Figura 34: Bloque DAQ Assistant para la configuración de adquisición de datos

valores de voltaje del módulo NI-9215, y temperaturas de termocupa con el módulo NI-9213.

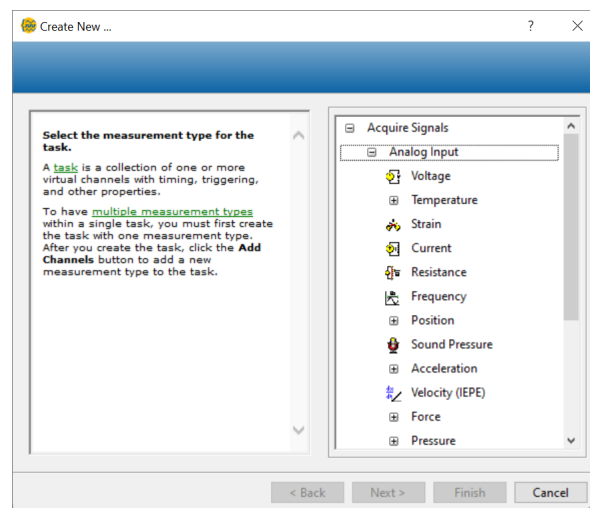


Figura 35: Ventana de opciones de medición CompactDAQ con controlador NI-DAQmx

Una vez seleccionadas las entradas de interés donde se tienen conectados las señales de voltaje a adquirir, entramos a la pestaña de configuración general del hardware, mostrada en la figura 36. En esta se puede seleccionar el tipo de adquisición de datos a trabajar, la frecuencia de muestreo, el tamaño del buffer a implementar, y seleccionar alguna calibración especificada por el usuario.

Cabe destacar que el parámetro de la frecuencia de muestreo configurada en el DAQ Assistant es independiente de la configuración del ciclo While implementado. La frecuencia con que el sistema adquiere datos depende únicamente de los módulos conectados al chasis cDAQ-9174. Si bien el chasis se puede configurar a frecuencia de muestreo bastante altas, esta se ve limitada

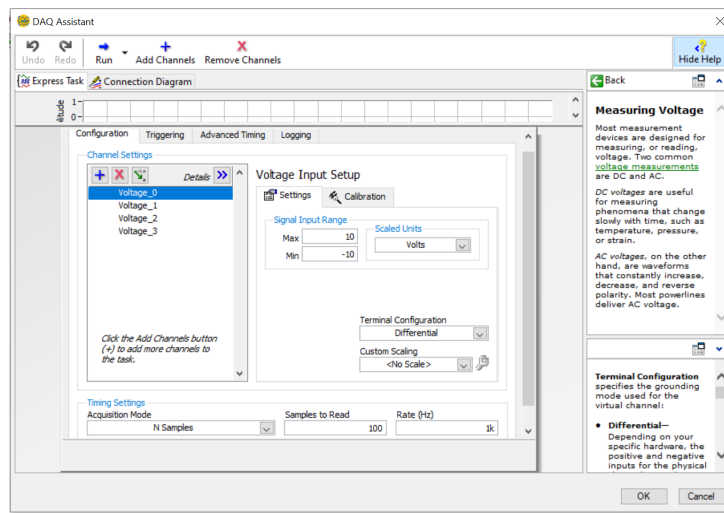


Figura 36: Ventana de configuración general de adquisición de datos

por la frecuencia de muestreo más baja de los módulos conectados al chasis. Para este caso en particular, debido a que el módulo NI-9215 posee una tasa máxima de muestreo de 100[kHz], no se puede configurar el sistema a una frecuencia de muestreo mayor.

Como se aprecia en la parte inferior de la figura 36, se tiene la opción de modificar las opciones de adquisición del cDAQ-9174 (sección Timing Settings). Las opciones disponibles corresponden a:

- 1 Sample (On Demand): Especifica que el sistema adquiere una muestra.
- 1 Sample (HW Timed): Especifica que el sistema adquiere una muestra por cada canto de un reloj externo.
- N Samples: Especifica que el sistema adquiere un número finito de muestras, especificadas en 'Samples to Read' a una tasa de muestreo especificada en 'Rate [Hz]'.
- Continuous: Especifica que el sistema adquiere datos constantemente hasta que se la da orden de detener. Se especifica la frecuencia de muestreo en la entrada 'Rate [Hz]'.

Para la interfaz desarrollada se prefiere el modo Continuous, ya que permite tener un monitoreo constante de los datos adquiridos, se estén guardando los datos o no.

Al terminar esta configuración, se inicializa el bloque adquisición de datos y queda listo para su uso. Teniendo acceso a la programación en bloques del programa general, se pueden configurar los parámetros antes fijados, sin embargo, para comodidad se crean controles para definir la frecuencia de muestreo y el tamaño del buffer desde la interfaz de usuario.

3 Capítulo 3: Desarrollo software de monitoreo.

El programa completo del sistema de monitoreo se desarrolla en LabVIEW, bajo un sistema de dos etapas: adquisición de datos y procesado de estos. La decisión de dividir el sistema en dos etapas es debido a las complicaciones de una implementación del sistema en tiempo real. El monitoreo de combustión en tiempo real supondría relacionar datos de presión con sus respectivos ángulos, además de entregar parámetros de combustión que sea constantemente actualizados para ciclo de operación, requiriendo de una capacidad de procesamiento de datos que, para la implementación desarrollada, no está disponible. LabVIEW cuenta con librerías de programación dedicadas al desarrollo de aplicaciones en tiempo real, sin embargo, estas funciones son soportadas en determinadas instrumentaciones que cuenten con un controlador interno que permita tener un procesamiento de datos a alta velocidad, de lo contrario, son limitadas por la capacidad de procesamiento del computador utilizado y la velocidad de comunicación con la instrumentación según el puerto de comunicación escogido. Ejemplo de instrumentación con soporte para aplicaciones en tiempo real son CompactRIO o PXI de National Instruments, que ofrecen capacidades de procesamiento de alto rendimiento ideal para sistemas y aplicaciones de monitoreo y control. Por otro lado, el chasis CompactDAQ-9174 no tiene soporte para aplicaciones en tiempo real, limitando entonces el desempeño de los programas a las características del computador donde se realicen los procesos.

A continuación se detalla el desarrollo de cada etapa a nivel de programación.

3.1 Adquisición de datos

El proceso de adquisición de datos debe tomar muestras de las señales entregadas al cDAQ y almacenarlas en una memoria interna. Para esto, se propone una interfaz de usuario que conste de las siguientes etapas:

1. Configuración parámetros de adquisición de datos: frecuencia de muestreo, tamaño del buffer, tiempo de adquisición, creación de directorio y archivo de texto donde se almacenarán los datos muestreados.
2. Inicio ciclo de adquisición de datos, con duración igual a la indicada en la etapa anterior.

Para lograr lo anterior, se propone utilizar una máquina de estados de dos estados, cuya transición sea controlada por el usuario. La figura 37 muestra el diagrama de estados implementado para la etapa

de adquisición, y en la tabla 9 se detalla la acción de cada estado con sus respectivas variables de transición.

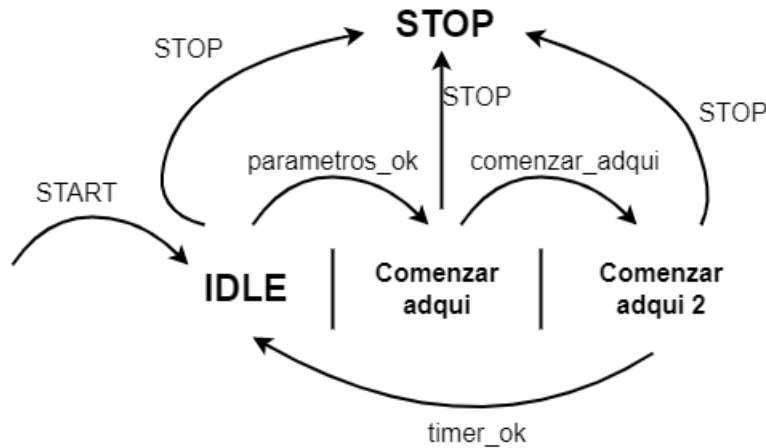


Figura 37: Diagrama máquina de estados implementada para la etapa de adquisición de datos

Estado	Acción	Variable de transición
IDLE	Configuración de parámetros de adquisición	parametros_ok
Comenzar Adqui	Espera a que el usuario de la instrucción de iniciar la adquisición de datos, e inicia el temporizador usado para definir el tiempo de adquisición	comenzar_adqui
Comenzar Adqui 2	Compara el valor del temporizador con el tiempo configurador en el estado IDLE	timer_ok
STOP	Detiene todo el programa	STOP

Tabla 9: Detalle de estados etapa de adquisición de datos

La programación de máquinas de estado en LabVIEW se realiza con un bloque Case Structure dentro de un bloque While y un Shift Register para guardar el último estado activo. El bloque Case Structure permite definir distintas rutinas dependiendo el valor de una variable, la cual cambia según diferentes condiciones. Esta variable corresponde a un *enumconstant*, tipo de dato que permite tener diferentes valores agrupados en un solo bloque, agregando diferentes valores según los estados que se necesitan. Por comodidad, este bloque se define como Type Def, así, si se desea agregar o quitar un estado, se realiza esta modificación en todas las instancias donde se implementa la variable. La transición de estados se implementa con botones que deben ser apretados por el usuario. El valor booleano de estos botones se utiliza para realizar el cambio de estado, mediante el bloque Select Function. El diagrama de bloques que se implementa para la etapa de adquisición se muestra en la figura 38

Del lado izquierdo del diagrama de bloques, se identifica el bloque Case Structure dentro de un gran

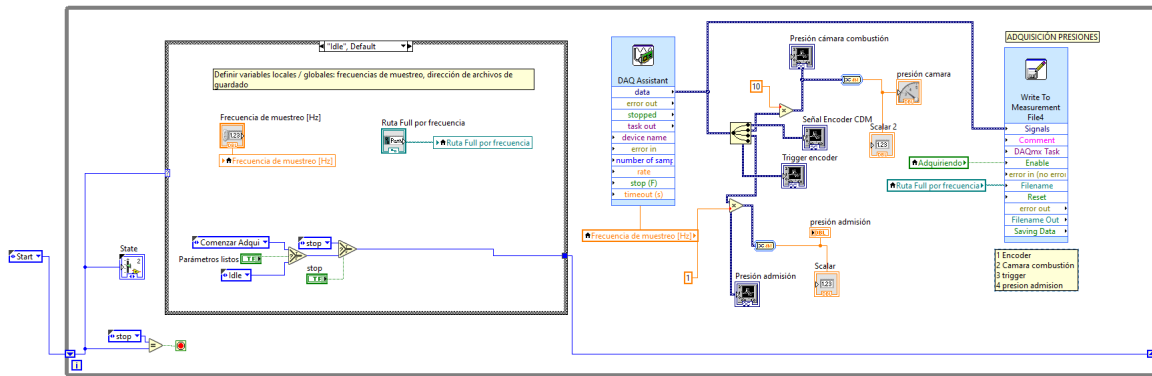


Figura 38: Diagrama de bloques etapa de adquisición de datos

ciclo While que se encuentra activo mientras se desea adquirir datos. Cada estado corresponde a un caso del Case Structure, detallados a continuación:

■ **Start**

El estado de inicio Start cumple la única función de asegurar que al iniciar el programa se pase al estado Idle. La figura 39 muestra la acción del estado.

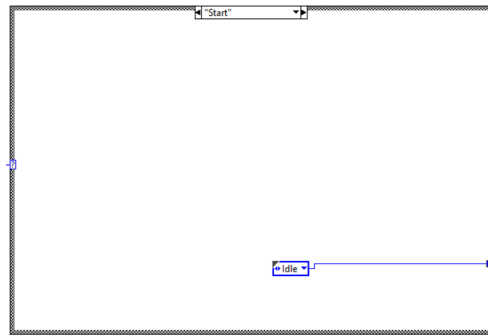


Figura 39: Diagrama bloques estado Start, proceso adquisición

■ **Idle**

Se configuran los parámetros para la adquisición de datos correspondiente a la frecuencia de muestreo, tiempo de almacenamiento de datos, tamaño del buffer y ruta donde se selecciona el archivo *.txt* donde se guardarán los datos adquiridos. Para esto se crean variables locales que serán usadas en otras instancias del programa. Para controlar la transición al estado siguiente se implementa el botón “Parámetros Listos”. Mientras el botón no se apriete el estado Idle se

mantiene, una vez apretado el estado cambia a “Comenzar Adqui”. La figura 40 muestra el diagrama de bloques de este estado.

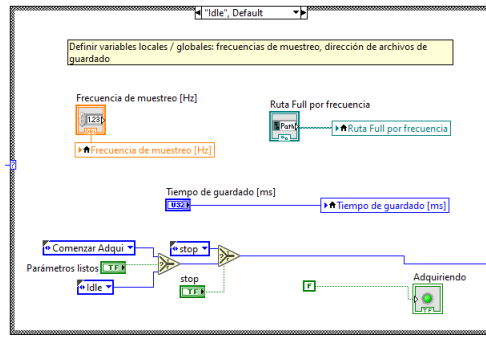


Figura 40: Diagrama bloques estado IDLE, proceso adquisición

■ Comenzar Adqui

Se define la variable local “millisecond timer value” correspondiente al tiempo transcurrido desde el inicio de la adquisición de datos en milisegundos, para esto se utiliza el bloque Tick Count (ms) Function. Para pasar al siguiente estado “Comenzar Adqui 2” se presiona el botón “Comenzar Adqui”, iniciando el temporizador. La figura 41 muestra el diagrama de bloques de este estado.

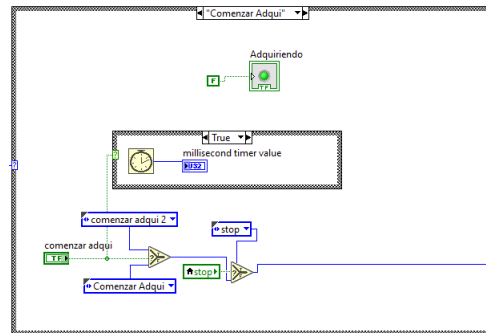


Figura 41: Diagrama bloques estado Comenzar Adqui, proceso adquisición

■ Comenzar Adqui 2

Durante este estado se implementa una comparación lógica entre el valor de tiempo de adquisición configurado en el estado “Idle” y el valor actual del tiempo transcurrido. Cuando el valor del tiempo transcurrido sea mayor que el configurado, el estado actual vuelve a “Idle”, donde se podrán setear nuevos parámetros para un nuevo ciclo de adquisición. También dentro de este estado se define la variable local “Adquiriendo” de tipo booleana. Esta variable se activa

únicamente mientras este estado está activo, lo que habilita el guardado de los datos a través del bloque “Write to measurement File”. La figura 42 muestra el diagrama de bloques de este estado.

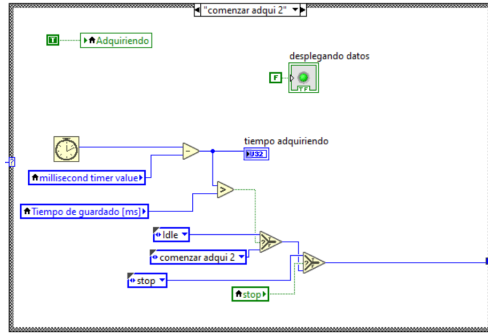


Figura 42: Diagrama bloques estado Comenzar Adqui 2, proceso adquisición

■ Stop

En todos los estados implementados se tiene la opción de terminar el programa apretando el botón “Stop”, cuyo valor booleano cambia el estado actual a “Stop”. Fuera del Case Structure se implementa la condición de que si el estado actual corresponde a “Stop”, el ciclo While termina. La figura 43 muestra el diagrama de bloques de este estado.

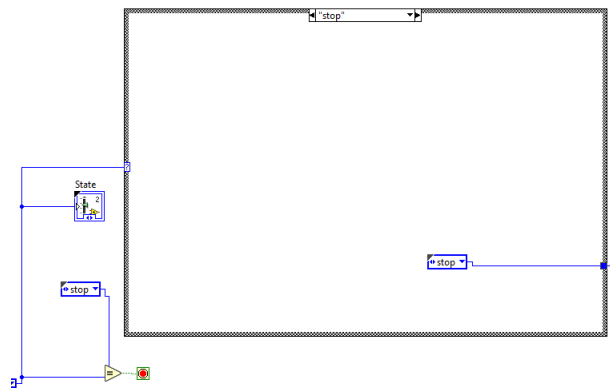


Figura 43: Diagrama bloques estado Stop, proceso adquisición

El cableado de los bloques DAQ Assitant y Write to measurement File se muestra en la figura 44. La variable local “Frecuencia de muestreo”, cuyo valor se define en el estado Idle, se le entrega al bloque DAQ Assitant. La salida de este bloque, correspondiente a una señal con los datos adquiridos, se cablea a la entrada “Signals” del bloque “Write to measurement file”. A este último bloque, en las entradas

“Enable” y “Filename”, se conectan las variables locales “Adquiriendo” y “Ruta full por frecuencia”.

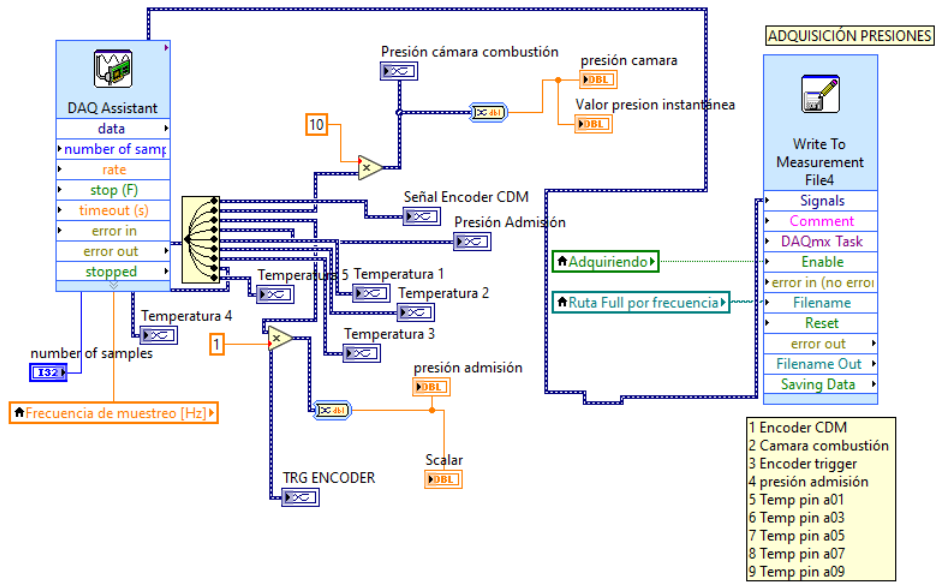


Figura 44: Diagrama de bloques etapa de procesamiento

Una vez terminado la etapa de adquisición de datos, las muestras guardadas quedan alojadas en el archivo de texto determinado en el estado Idle. Esta información puede ser revisada a través de un lector de texto o creando un archivo Excel. Las columnas con los datos, de izquierda a derecha, corresponden a: tiempo adquisición, señal CDM encoder, presión en cámara, señal TRIGGER encoder y presión de admisión. La figura 45 muestra las primeras 10 muestras adquiridas en un experimento a 100 [kHz] de frecuencia de muestreo.

	A	B	C	D	E
1	TIEMPO [ms]	CDM [V]	CÁMARA [bar]	TRIGGER [V]	ADMISIÓN [bar]
2	0	5,121248	0,688241	0,000568	0,000988
3	1,00E-05	5,120929	0,681923	0,000252	0,003219
4	2,00E-05	3,059189	0,688557	0,00215	0,003219
5	3,00E-05	0,000368	0,681291	0,000252	0,003219
6	4,00E-05	4,95E-05	0,680028	0,000252	0,002263
7	5,00E-05	5,12316	0,677185	-0,000381	0,001625
8	6,00E-05	5,120291	0,67371	-6,43E-05	0,003219
9	7,00E-05	5,119654	0,676237	-0,000381	0,002581
10	8,00E-05	4,95E-05	0,670551	0,000252	0,002581
11	9,00E-05	-0,000269	0,670551	-6,43E-05	0,004175
12	1,00E-04	4,95E-05	0,664548	-6,43E-05	0,002263

Figura 45: Tabla de datos adquiridos. 10 primeras muestras adquiridas a 100 [kHz]

3.2 Procesamiento de los datos

En la etapa de procesamiento, se realizan los cálculos pertinentes para obtener los parámetros de combustión de interés y desplegarlos en una interfaz de usuario. Para esto se desarrolla un programa en LabVIEW con código de MATLAB embebido, el cual consta de la siguientes etapas:

1. Configuración de parámetros geométricos del motor: Volumen muerto (V_c), Volumen de desplazamiento (V_d) y relación de biela-manivela (R).
2. Establecer ruta del archivo donde fueron guardados los datos en la etapa de adquisición de datos.
3. Despliegue de gráficos de interés y cálculo de parámetros de combustión.
4. Generar reporte del experimento.

De la misma forma que en la etapa de adquisición, se propone una máquina de estados con las etapas recién detalladas. En la figura 46 se muestra el diagrama de estados implementado para esta etapa, y en la tabla 10 se detalla la acción de cada estado con sus respectivas variables de transición. El diagrama de bloques implementado en LabVIEW para esta etapa se muestra en la figura 47.

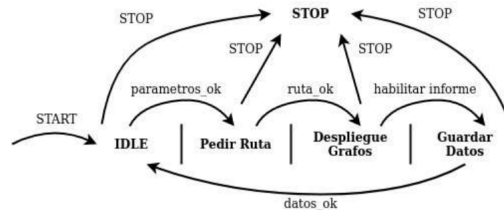


Figura 46: Diagrama de estados implementada para la etapa de procesamiento de datos.

Estado	Acción	Variable de transición
IDLE	Ingresar parámetros geométricos del motor	Param_ok
Pedir Ruta	Establecer ruta de datos adquiridos en etapa de adquisición	Ruta_ok
Despliegue grafos	Calcula índices numéricos de combustión y curvas de presión	Habilitar informe
Guardar Datos	Genera reporte del experimento	Datos_ok
STOP	Detiene el programa en cualquier instante	STOP

Tabla 10: Detalle de estados etapa de procesamiento.

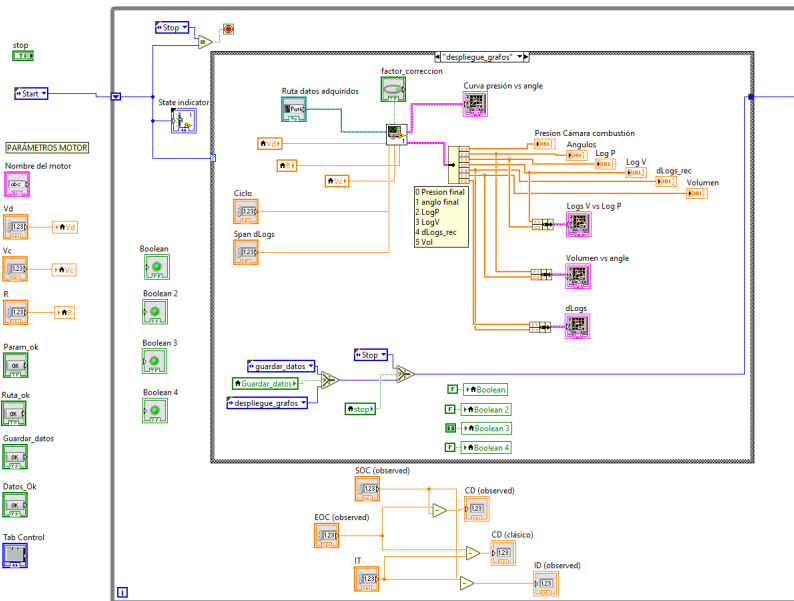


Figura 47: Diagrama de bloques etapa de procesamiento

Al igual que en la etapa de adquisición, se implementan los estados Start y Stop con exactamente la misma funcionalidad. El detalle de los estados restantes se presenta a continuación:

- **Idle**

Se configuran los valores geométricos del motor para el cálculo de los parámetros de combustión requeridos, y el nombre del motor en cual se desarrolla el experimento. Se crean variables locales para utilizar estos parámetros en el cálculo de los parámetros de combustión. La condición de paso al siguiente estado, corresponde al botón “Param_ok”. Una vez presionado, el estado cambia a “pedir ruta”. La figura 48 muestra el diagrama de bloques de este estado.

- **Pedir ruta**

Se establece la ruta y el archivo de datos guardados en la tapa de adquisición. Una vez definida, con el botón “Param_ok” se avanza al estado “Despliegue de grafos”. En la figura 49 se muestra el diagrama de bloques de este estado.

- **Despliegue grafos**

En este estado se realiza el procesado de datos y despliegue de resultados. Utilizando los valores

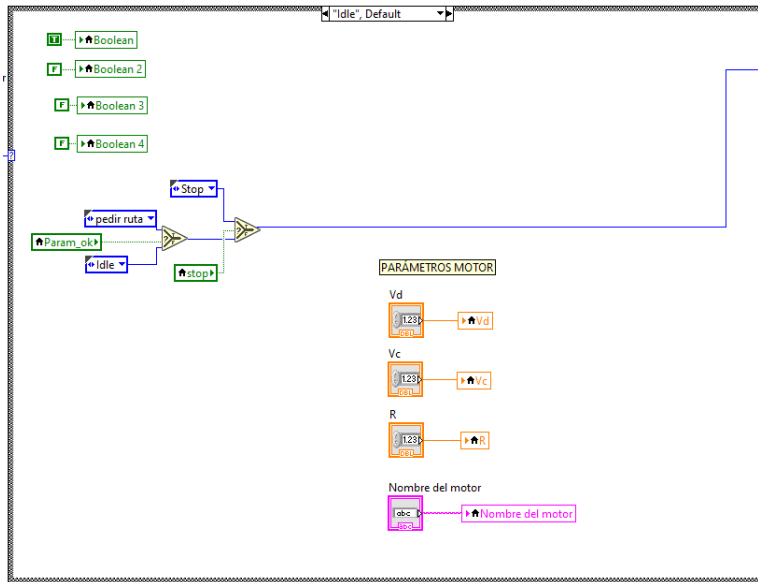


Figura 48: Diagrama de bloques estado "Idle", etapa de procesamiento

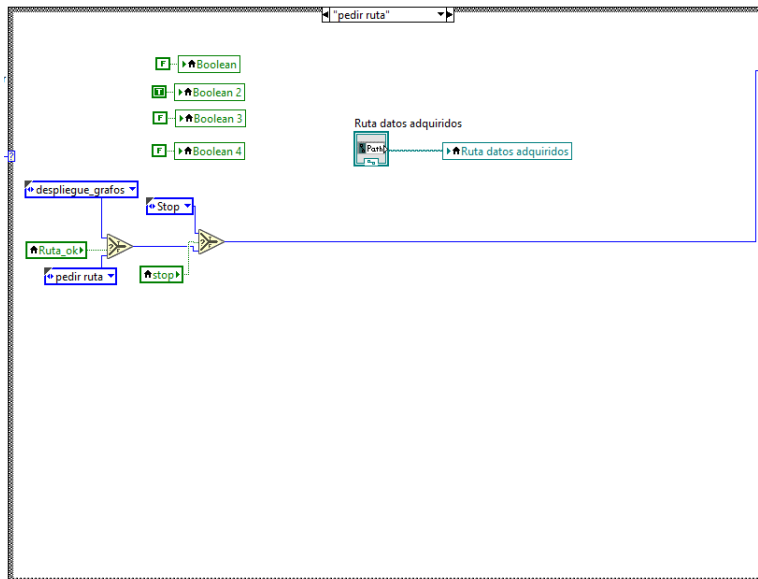


Figura 49: Diagrama de bloques estado "Pedir ruta", etapa de procesamiento

características del motor y la ruta donde están los datos adquiridos se calcula la curva de presión promedio, gráfico de volumen, diagrama indicador, gráfico dLogs e indicadores numéricos de la combustión. La programación para el cálculo de cada parámetro entregado se detalla en la sección 3.3 del presente capítulo. Para pasar al siguiente estado "Guardar datos" se presiona el botón

“habilitar informe”. En la figura 50 se muestra el diagrama de bloques de este estado.

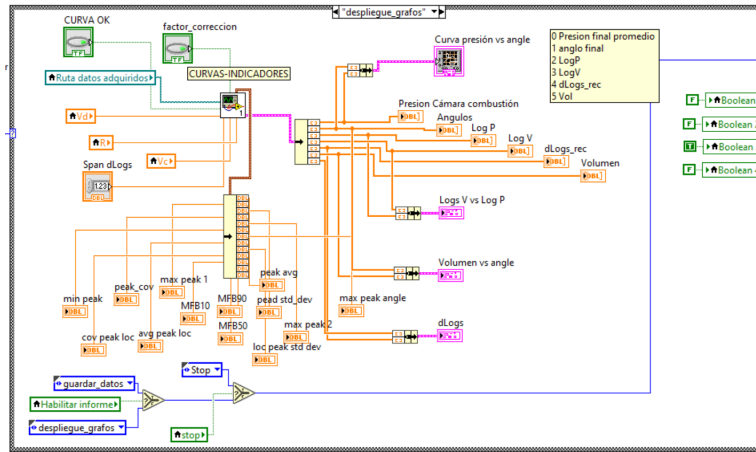


Figura 50: Diagrama de bloques estado “Despliegue grafos”, etapa de procesamiento

■ Guardar Datos

Se habilitan recuadros de texto donde el usuario puede ingresar información pertinente para luego generar un reporte del experimento: Título y Comentarios. Se implementa un SubVI para programar la generación de este reporte. Una vez rellenado los recuadros pertinentes se presiona el botón “Generar Informe” para desplegar el reporte en formato Word. Para finalizar este estado se presiona el botón “Informe Listo” y se vuelve al estado Idle, donde se puede volver a setear parámetros para realizar un nuevo procesamiento de datos. En la figura 51 se muestra el diagrama de bloques de este estado.

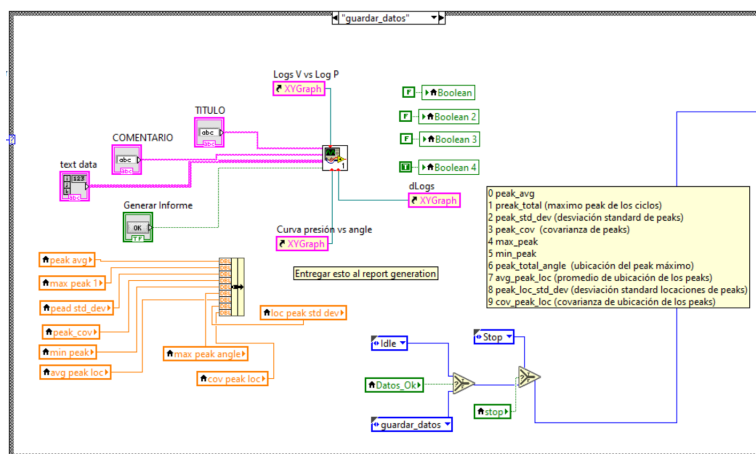


Figura 51: Diagrama de bloques estado “Guardar Datos”, etapa de procesamiento

sino que como se detalla en el punto siguiente, se utiliza la señal TRG para seleccionar los distintos datos de presión medidos y relacionarlos con el arreglo de ángulos creado. Esto limita a que el motor opere a velocidad [r.p.m] constante, ya que de variar la velocidad durante un ciclo, la cantidad de datos entre ángulos no sería constante (cosa que se está asumiendo para la creación del arreglo de ángulos).

La decisión de no considerar la señal CDM es debido a las limitaciones del sistema respecto a la frecuencia de muestro máxima permitida (100Khz). Utilizando esta frecuencia de muestro se obtienen datos de la señal CDM que, si bien son detallados respecto a la variación de ángulos, no permiten generar un contador de pulsos fiable que entregue finalmente un arreglo de ángulos.

La señal ROT tampoco se utiliza para el proceso, ya que no es importante para las mediciones el sentido de giro del motor. Podría ser considerada para implementaciones futuras donde se tenga un sistema de control en un motor con operación en reversa.

■ Curva de presión promedio

Usando la señal del encoder TRG, que entrega un pulso cada 360 grados, se establece que un ciclo de combustión estará enmarcado entre 3 pulsos, donde el pulso del medio corresponde al 0° ángulo de cigüeñal. Se usa esta señal para ir seleccionando los datos de presión por ciclo y luego relacionarlos con el ángulo.

A los datos adquiridos de presión en cámara, se debe realizar un promedio entre las presiones adquiridas por ciclo de operación y relacionarlas con su respectivo ángulo de cigüeñal. Las etapas para lograr esto, en base a código MATLAB, es el siguiente:

1. Leer archivo de datos adquiridos, y guardar los datos de presión en cámara y TRIGGER en vectores diferentes. Para esto se utiliza el SubVI “get column” desarrollado para leer archivos de datos y seleccionar columnas, cuyo diagrama de bloques se muestra en la figura 53. Los vectores seleccionados son entregados al bloque MATLAB Script definiendo el nombre de la variable.
2. Crear arreglo de índices donde hay pulso en señal TRIGGER. Con estos valores se recorta el vector de presión y TRIGGER para que el primer dato del primer ciclo de presión adquirido coincida con el primer dato del arreglo de presiones.

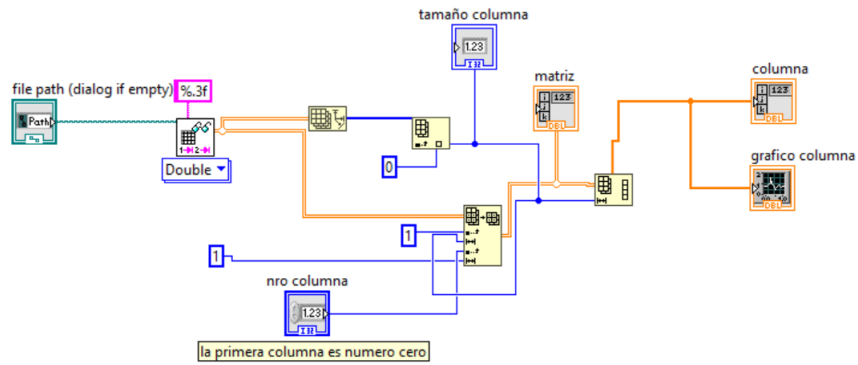


Figura 53: Diagrama de bloques SubVI Get Column.

Listing 2: Código creación arreglo índices TRIGGER

```

1  %Indices donde hay trigger
2  indices_trigger=[];
3  for i=1:length(trigger)
4      if trigger(i)~=0
5          indices_trigger(i)=i;
6      else
7          indices_trigger(i)=0;
8      end
9  end
10 indices_trigger(indices_trigger==0) = []; %eliminar ceros del
    arreglo
11
12 trigger_rec=trigger(indices_trigger(1):indices_trigger(length(
    indices_trigger)),1); %recortar arreglo trigger
13 presion_rec=presioncamara(indices_trigger(1):indices_trigger(
    length(indices_trigger)),1); %recortar arreglo presiones
14
15 %eliminar sobre muestreos
16 indices_trigger_rec=[];

```

```

17 for i=1:length(trigger_rec)
18     if trigger_rec(i)==5
19         if i>1 && (trigger_rec(i)==trigger_rec(i-1)||
                trigger_rec(i)~=0 && trigger_rec(i)<trigger_rec(i
                -1)))
20             indices_trigger_rec(i)=0;
21         else
22             indices_trigger_rec(i)=i;
23         end
24     else
25         indices_trigger_rec(i)=0;
26     end
27 end
28
29 indices_trigger_rec(indices_trigger_rec==0) = []; %eliminar
        ceros del arreglo

```

- Debido a que un ciclo de combustión corresponde a 2 vueltas del cigüeñal, se seleccionan ventanas de los datos de presión cuyo largo corresponda a la cantidad de datos entre un pulso por medio del TRIGGER. Debido a que la presión promedio se debe presentar en función del ángulo de cigüeñal, cuyo largo es de 7200 datos, se realiza una etapa de UPSAMPLING en caso de que se tengan menos de 7200 datos en un ciclo, o DOWNSAMPLIN en caso que hayan más de 7200 datos en un ciclo, y se guardan los valores de presión por ciclo en una matriz. Finalmente se calcula el promedio de las columnas de esta, obteniendo el arreglo final de presión promedio de largo 7200 datos, que puede ser relacionado con el ángulo de cigüeñal.

Listing 3: Cálculo presión promedio

```

1 %% calculo presi n promedio
2 presiones_totales=[];
3 peak_presion_total=0;

```

```

4 for n=0:length(indices_trigger_rec)/2-2
5     if factor_correccion==false
6         presion_final=presion_rec(indices_trigger_rec(2*n+1):
7             indices_trigger_rec(2*n+1+2)-1,1);
8     else
9         presion_final=presion_rec(indices_trigger_rec(2*n+2):
10            indices_trigger_rec(2*n+2+2)-1,1);
11     end
12     presion_final=resample(presion_final,7200,length(
13         presion_final)); % AC SE RESAMPLEA
14     presiones_totales(:,n+1)=presion_final; %se a ade al
        arreglo
15 end
16 presion_promedio=mean(presiones_totales,2);

```

Una vez realizado este proceso, se cuenta con el arreglo de presiones promedio, usado para el cálculo de gráficos posteriores.

■ Curva de volumen

El cálculo de volumen dentro de la cámara de combustión según el ángulo de cigüeñal se realiza con la ecuación 3.3.1

$$V(\theta) = V_c[1 + 0.5(r_c - 1)] \cdot [R + 1 - \cos(\theta) - (R^2 - \sin(\theta))^2] \quad (3.3.1)$$

Las constantes V_c , r_c y R caracterizan la geometría interna del motor, por lo que para cada motor estos valores serán diferentes. Para que el cálculo sea válido independiente del MCI donde se realiza el experimento, se permite que los valores de estas constantes sean configuradas por el usuario en el estado Idle.

Listing 4: Cálculo curva volumen

```

1 %Gráfico de volumen
2 for i=1:length(angulo_final)
3     teta=angulo_final(i);
4     Vol(i)=Vc*(1+0.5*(rc-1)*[R+1-cos(2*pi*teta/360)-(R^2-sin(2*pi*
5         teta/360)^2)^(1/2)]);
6 end

```

■ Diagrama indicador

El diagrama indicador relaciona el logaritmo de la presión con el logaritmo del volumen. Se utiliza un filtro pasa-bajos para obtener una curva suave que entregue información más certera del proceso.

Listing 5: Cálculo diagrama indicador

```

1 LogP=log10(presion_promedio);
2 %LogP=lowpass(LogP,1000,35000);
3 LogV=log10(Vol/Vmax);
4 LogV=LogV';
5
6 dLogs=[];
7 for i=1:length(LogP)
8     if i == 1
9         dLogs(i)=0;
10    else
11        dLogs(i)=(LogP(i)-LogP(i-1))/(LogV(i)-LogV(i-1));
12    end
13 end

```

■ Curva $d\text{Log}(P)/d\text{Log}(V)$

Esta curva corresponde relaciona la derivada del logaritmo de la presión dividida con la derivada del logaritmo del volumen, con el ángulo de cigüeñal. El cálculo de la derivada se obtiene calculando

la pendiente entre dos puntos contiguos del diagrama indicador.

3.3.2 Índices numéricos de combustión

■ Average Peak Pressure

Corresponde al promedio de los máximos de presión de cada ciclo adquirido. Se crea el arreglo *peaks_presiones* que agrupa el máximo de presión de cada ciclo, calculado con el comando *max(presiones_totales)*. Se calcula el promedio de este arreglo con el comando *mean(peaks_presiones)* obteniendo el promedio de los peaks de presión.

■ Peak Standar Deviation

Corresponde a la desviación estándar de los máximos de presión por ciclo adquirido. Con el comando *std()* aplicado al arreglo de máximo de presiones por ciclo *peaks_presiones*, se obtiene la desviación estándar de los peaks de presión.

■ Peak Covariance

Corresponde a la covarianza de los máximos de presión por ciclo adquirido. Según la metodología entregada por el equipo del proyecto, el cálculo de la covarianza se calcula de acuerdo a la formula 3.3.2.

$$COV_{peaks} = \frac{Desviación\ Estandar_{peaks}}{Peak\ promedio} \cdot 100 \quad (3.3.2)$$

■ Max Peak

Corresponde al valor más alto de presión entre todos los ciclos adquiridos. Esto se logra con el comando *max()* aplicado al arreglo *peaks_presiones*.

■ Min Peak

Corresponde al valor más pequeño de los peaks de presión entre todos los ciclos adquiridos. Se utiliza el comando *min()* aplicado al arreglo *peaks_presiones*.

■ Average Peak Location

Corresponde al ángulo en el cual se encuentra el peak de presión.

■ Peak Location Standard Deviation

Corresponde a la desviación estándar de los ángulos correspondientes a los máximos de presión por ciclo.

■ Peak Location Covariance

Análogo a la covarianza calculada para las presiones máximas, la covarianza de los ángulos de peaks de presión se calcula según la formula 3.3.3.

$$COV_{\text{angulos}} = \frac{\text{Desviación Estandar}_{\text{angulos}}}{\text{Angulo peak promedio}} \cdot 100 \quad (3.3.3)$$

Listing 6: Cálculos parámetros asociados a la presión máxima

```
1 %% Peaks
2 peaks_presiones=max(presiones_totales);
3
4 peak_avg=mean(peaks_presiones);
5 peak_total=max(peaks_presiones);
6 peak_std_dev=std(peaks_presiones);
7 peak_cov=peak_std_dev/peak_avg*100;
8 max_peak=max(peaks_presiones);
9 min_peak=min(peaks_presiones);
10
11 [row_maxpeak , col_maxpeak]=find(presiones_totales==max(max(
    presiones_totales)));
12 peak_max_angle=angulo_final(row_maxpeak);
13
14 %calculo de angulos de los peaks y sus par metros
```

```

15 angles_peaks=[];
16 for i=1:length(peaks_presiones)
17     indice_peakangle=find(presiones_totales(1:length(
18         presiones_totales),i)==peaks_presiones(i));
19     angles_peaks(i)=angulo_final(indice_peakangle);
20 end
21 avg_peak_loc=mean(angles_peaks);
22 peak_loc_std_dev=std(angles_peaks);

```

■ Heat Relase Rate y fracción de quemados

El parámetro Heat Relase Rate se calcula según la ecuación 3.3.4.

$$\frac{dQ_{HRR}}{d\theta} = \frac{\gamma}{\gamma-1} P \frac{dV}{d\theta} + \frac{1}{\gamma-1} V \frac{dP}{d\theta} \quad (3.3.4)$$

Donde γ es una constante característica del MCI donde se realiza el experimento, asociada a la eficiencia del motor. Los valores $dV/d\theta$ y $dP/d\theta$ corresponden a las derivadas del volumen y la presión respectivamente. Las derivadas de volumen y presión se obtienen calculando la pendiente entre cada par de datos de volumen y presión. Finalmente se utiliza la ecuación 3.3.4 para calcular $dQ_{HRR}/d\theta$.

Listing 7: Cálculo Heat Relase Rate

```

1
2 for i=index_angulo_inicio:index_angulo_final
3     a=i-index_angulo_inicio+1;
4     if a == 1
5         dV(a)=0;
6         dP(a)=0;
7     else

```

```

8         dV(a)=(Vol(i)-Vol(i-1))/(angulo_final(i)-angulo_final(i-1)
9             );
10        dP(a)=(presion_pa(i)-presion_pa(i-1))/(angulo_final(i)-
11            angulo_final(i-1));
12
13        end
14    end
15
16    dQhrr=[];
17    dP=lowpass(dP,1000,35000);
18    for i=index_angulo_inicio:index_angulo_final
19        a=i-index_angulo_inicio+1;
20        dQhrr(a)=(gamma/(gamma-1))*presion_pa(i)*dV(a)+(1/(gamma-1))*
21            Vol(i)*dP(a);
22    end

```

El cálculo de la fracción de quemado X_b según el ángulo de cigüeñal, se realiza mediante la ecuación 3.3.5.

$$X_b = \frac{\int_{\theta_{soc}}^{\theta} \frac{dQ_{HRR}}{d\theta} d\theta}{\int_{\theta_{soc}}^{\theta_{eoc}} \frac{dQ_{HRR}}{d\theta} d\theta} \quad (3.3.5)$$

Los ángulos θ_{soc} y θ_{eoc} corresponden a los ángulos donde inicia y termina la combustión respectivamente. Estos ángulos podrían ser determinados mediante observación en el gráfico $dLog(P)/dLog(V)$, o entregados en el catalogo de cada motor.

Para calcular el valor de esta integral por ángulo se utiliza el método del trapecio. Este método se basa en la suma de áreas de trapecios diferenciales bajo una curva. La fórmula de este método se detalla en la ecuación 3.3.6.

$$\int_a^b f(x)dx \simeq \frac{h}{2}(f(a) + 2f(a+h) + 2f(a+2h) + \dots + f(b)) \quad (3.3.6)$$

Donde

$$h = \frac{b - a}{n}$$

El valor de n corresponde a la cantidad de trapecios en que se divide el área bajo la curva entre los límites a y b del eje de las abscisas. Por lo tanto el valor de h corresponde al espaciado entre ángulos, que para este trabajo corresponde a 0,1 . El código para implementar este método se detalla a continuación.

Listing 8: Cálculo fracción de quemados

```
1 integral_dQhrr=[];
2 Xb=[];
3 for i=1:length(angle_dQh)
4     if i==1
5         integral_dQhrr(i)=0;
6     else
7         integral_dQhrr(i)=(angle_dQh(i)-soc)/(2*(i-1))*(dQhrr(1)+
8             dQhrr(i)+2*sum(dQhrr(:,2:i)));
9     end
10 end
11 for i=1:length(integral_dQhrr)
12     if i==1
13         Xb(i)=0;
14     else
15         Xb(i)=integral_dQhrr(i)/max(integral_dQhrr);
16     end
17 end
```

3.4 SubVI cálculo MAPO-IMPO

Los indicadores MAPO-IMPO corresponden a indicadores de combustión anormal en los MCI. El algoritmo de cálculo de estos indicadores y el código de procesamiento en MATLAB es desarrollado por el equipo de investigación del proyecto. Por lo que el desafío es integrar este algoritmo en LabVIEW.

Se crea un nuevo programa dedicado al cómputo de MAPO-IMPO. Utilizando un bloque MATLAB Script se migra el código a LabVIEW, donde se encuentra una limitante importante: no es posible definir funciones dentro del bloque MATLAB Script de LabVIEW. Para solucionar lo anterior, se debe añadir como parámetro al bloque MATLAB Script la ruta de la carpeta donde estén guardados los códigos de las funciones utilizadas.

Este programa cuenta de dos entradas. La primera corresponde al arreglo presiones por ciclo obtenidas del cálculo de la curva de presión promedio en la etapa de post procesamiento, donde cada columna indica los valores de presión de un ciclo de operación. La segunda entrada corresponde a la ruta de la carpeta donde se encuentran definidas las funciones necesarias para el cálculo de MAPO-IMPO.

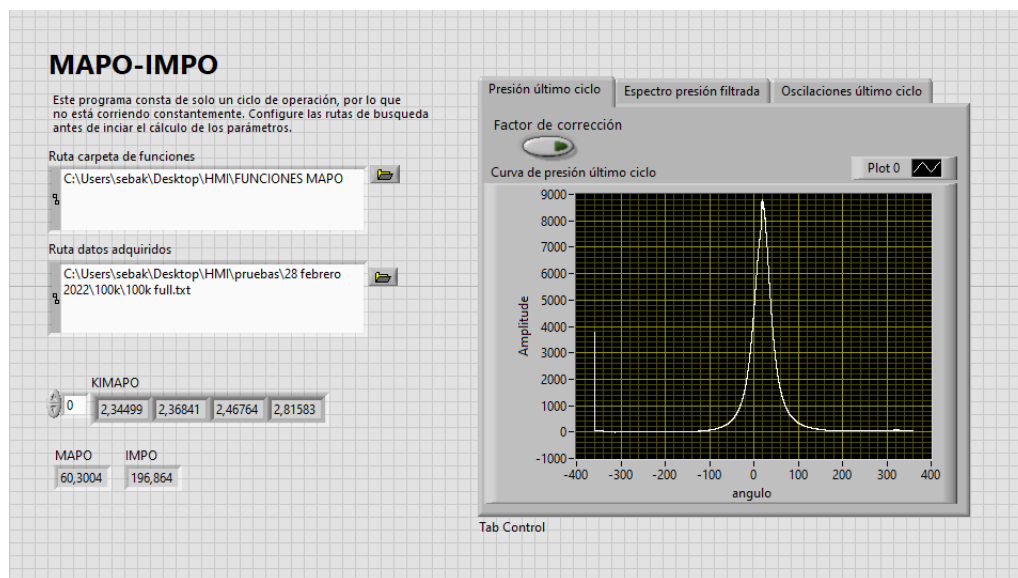


Figura 54: Interfaz de usuario MAPO-IMPO.

El código entregado obtiene cinco gráficos indicadores, de los cuales dos corresponden a histogramas de los indicadores MAPO-IMPO. Debido a la estructuración de datos que implementa MATLAB para la creación de histogramas, no se puede entregar esta información a LabVIEW a través del bloque MATLAB Script. Esto limita a que en la interfaz de usuario creada solo se desplieguen tres gráficos

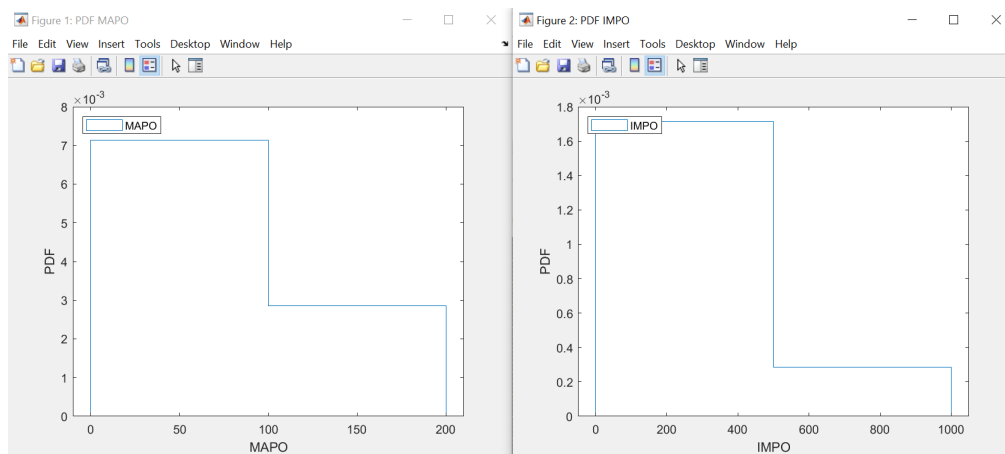


Figura 55: Ventanas emergentes en el cálculo de MAPO-IMPO correspondiente a histogramas.

indicadores: curva de presión del último ciclo, oscilaciones de presión del último ciclo y el espectro de frecuencia para la presión filtrada. Los gráficos de histogramas restantes, son desplegados en ventanas emergentes de MATLAB.

4 Capítulo 4: Manual de usuario sistema de monitoreo

El presente capítulo muestra el manual de usuario desarrollado para utilizar el sistema de monitoreo de combustión desarrollado. Consta de un instructivo de instalación de programas, descripción de las interfaces de usuario, además del instructivo de utilización de software con sus principales precauciones. Cabe destacar que debido a que es la primera versión del programa desarrollado, es posible que existan problemáticas no resueltas por el manual. En estos casos se deja a disposición del laboratorio y universidad el código fuente y programación desarrollada para una futura depuración de procesos.

4.1 Introducción y consideraciones iniciales

El sistema de monitoreo de combustión para motores de combustión interna se utiliza para adquirir datos de presiones, temperaturas y ángulo de cigüeñal, que luego son procesados, permitiendo mostrar curvas características de operación e indicadores de combustión.

Es posible utilizar este sistema en motores que sean instrumentados con los elementos específicos detallados en el punto 4.2. Es decir, que de cambiar un elemento de la instrumentación, las mediciones y procesamientos ya no serán válidas.

Para iniciar el sistema de monitoreo se deben instalar tres programas fundamentales: LabVIEW con controlador NI-DAQmx, MATLAB y KISTLER SCP. Según el soporte de National Instruments, el computador donde se implemente este sistema debe cumplir con los requisitos detallados en la tabla 11.

Si bien los requisitos detallados anteriormente no son difíciles de suplir, mientras mejor procesador, mayor memoria ram y mayor espacio en el disco se tenga, será mejor la experiencia de adquisición y procesamiento de datos.

En los próximos puntos se detallan los elementos del sistema de monitoreo, instrucciones de instalación de softwares, descripción de la interfaz de usuario e instrucciones para realizar una prueba standard de monitoreo.

Windows	Run-Time Engine	Modelo / Versión
Procesador	Pentium 4M/Celeron 866 MHz (o equivalente) o superior (32-bit). Pentium 4 G1 (o equivalente) o superior (64-bit)	Pentium 4M (o equivalente) o superior (32-bit). Pentium 4 G1 (o equivalente) o superior (64-bit).
RAM	256 MB	1 GB
Resolución de pantalla	1024 x 768 pixeles	1024 x 768 pixeles
Sistema operativo	Windows 10 Windows Server 2019 Windows Server 2016	Windows 10 Windows Server 2019 Windows Server 2016
Espacio de disco	620 MB	5 GB
Nota: Consulte con el soporte de sistema de Windows para mayor información sobre sistemas operativos. Nota: No se puede acceder a LabVIEW desde una cuenta invitada en Windos.		

Tabla 11: Requisitos computador para LabVIEW SP2021.

4.2 Elementos sistema monitoreo

Para implementar el programa desarrollado, se debe contar con sensores específicos y un sistema de adquisición de datos en particular. En la tabla 12 se detallan los sensores a utilizar y en la tabla 13 se detallan los elementos para adquirir los datos sensados.

Medida física a sensar	Instrumento	Modelo
Presión en cámara de combustión	Sensor de presión piezoeléctrico	KISTLER 6052C
Presión admisión	Sensor piezoresistivo	KISTLER 4007D
Ángulo de cigüeñal	Encoder optico	KISTLER Set Encoder Tipo 2614CK0
Temperatura	Termocupla tipo K	-
-	Sistema acondicionador de señal	KISTLER SCP Slim
-	Amplificador carga	KISTLER 5064D11
-	Amplificador piezoresistivo	KISTLER 4665B1

Tabla 12: Modelos sensores y sistema de acondicionamiento de señal

Instrumento	Modelo
Adquisidor de datos	CompactDAQ - 9174
Módulo entradas BNC	NI-9215
Módulo entradas termocuplas	NI-9213

Tabla 13: Modelos instrumentación DAQ

4.3 Instalación de softwares

LabVIEW

Descargue el instalador de LabVIEW desde ni.com/downloads. El software de NI incluye NI Package Manager para manejar la instalación. Consulte el Manual del Administrador de paquetes (NI Package

Manager) de NI para obtener más información sobre la instalación, eliminación y actualización del software de NI mediante ni Package Manager.

Observaciones importantes:

- Si Windows Update está habilitado, el proceso de instalación podría bloquearse si Windows Update interfiere con la instalación de Microsoft Visual C++ 2015 Run-Time. Visite ni.com/r/exjq43 para obtener más información y pasos para resolver este problema.
- Utilice el número de serie que se incluye con su software para activar LabVIEW. En caso de utilizar licencia de instalación provista por la UTFSM, consultar sobre licencia a la mesa de servicios de la universidad.

Controlador NI-DAQmx

Utilice el software NI Package Manager incluido en la instalación de LabVIEW para instalar el controlador NI-DAQmx.

1. En la pestaña “Examinar Productos” buscar el controlador NI-DAQmx.
2. Seleccionar el resultado de la búsqueda con el nombre buscado, y haga clic en INSTALAR.
3. Complete los pasos de instalación según se le solicite.

Alternativamente, se puede descargar el instalador del controlador directamente de la página web de National Instruments.

KISTLER SCP Slim

Desde la página web oficial de KISTLER se puede descargar el instalador del programa KISTLER SCP (regístrese e inicie sesión para acceder a los softwares). Ejecute el instalador y siga los siguientes pasos:

1. Ejecutar el instalador y pinchar en la opción *Install*
2. Aceptar términos y condiciones de acuerdo a la licencia. Ingresar información del usuario del programa y seleccionar instalación completa.

3. Seleccionar directorio de instalación. Se recomienda mantener el directorio por defecto recomendado por el instalador.
4. Seguido al paso anterior se da la opción de Instalar “Latronix Puertos (COM Y LPT)”. Seleccionar “Instalar”.
5. Esperar a la instalación completa del programa y pinchar en la opción “Finalizar”. En este punto se habrá creado un acceso directo en el escritorio.

Sobre consultas respecto a la instalación consultar manual SCP Slim [6].

MATLAB

La Universidad Técnica Federico Santa María dispone de licencias para MATLAB a través de la dirección de tecnologías e información. Para tener acceso a este servicio seguir las siguientes instrucciones:

1. Ingresar a <https://la.mathworks.com/academia/tah-portal/universidad-tecnica-federico-santa-maria-40756210.html/>
2. Ingresar a “Inicio de sesión” y luego la opción “Crear Cuenta”.
3. Regístrese con su cuenta de correo institucional y continúe los pasos que se indicarán

Para descargar el software:

1. Ingresar a <https://la.mathworks.com/academia/tah-portal/universidad-tecnica-federico-santa-maria-40756210.html>
2. Inicie sesión con su cuenta de correo y clave definida en el paso de registro
3. Seleccione “Download Installer” para descargar el software y obtener los datos de activación de licencia.
4. Al comenzar la instalación del software, seguir los pasos por defecto del asistente de instalación, e instalar las toolboxes de preferencia. Se recomienda instalar la toolbox de DSP.

Nota: Este proceso de instalación es válido para alumnos, profesores y apoyos académicos vigentes.

4.4 Descripción interfaz de usuario

Los tres programas a utilizar son: Adquisición de datos.vi, Post Procesamiento.vi y MAPO-IMPO.vi. Los elementos principales de las respectivas interfaces de usuario se muestran a continuación.

4.4.1 Adquirir datos

Para los siguientes puntos, revisar figura 56.

1. Botón Stop: en caso de querer detener el programa presionar este botón.
2. Indicador de estado
3. Indicar frecuencia de muestreo del experimento en [Hz]
4. Indicar cuanto tiempo de adquisición serán guardados, indicado en milisegundos
5. Ruta del archivo donde guardar los datos adquiridos
6. Indicadores de supervisión de tiempo de adquisición
7. Botón para habilitar el inicio de la adquisición, y botón de inicio de adquisición junto a indicador LED de adquisición activa
8. Tabuladores de gráficos de monitoreo de presiones, encoder y temperaturas

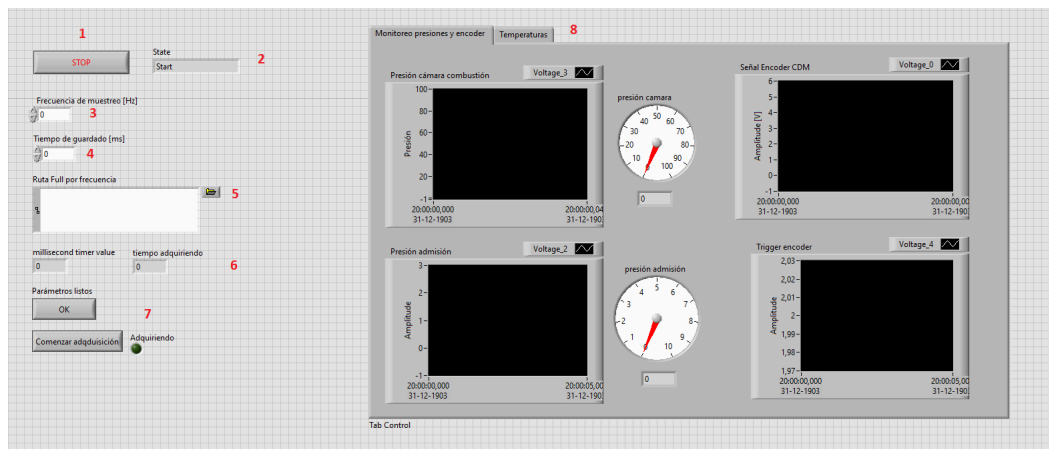


Figura 56: Interfaz de usuario programa Adquirir Datos

4.4.2 Post Procesamiento

Para los siguientes puntos, revisar figuras 57 y 58.

1. Botón STOP e indicador de estado de la máquina de estados
2. Configuración de parámetros geométricos del motor donde se realiza el experimento
3. Ruta del archivo donde están los datos adquiridos
4. Gráficos de curvas de presión
5. Indicadores numéricos de combustión
6. Ingresar título del informe generado
7. Botón generador del informe
8. Recuadro de comentarios del usuario

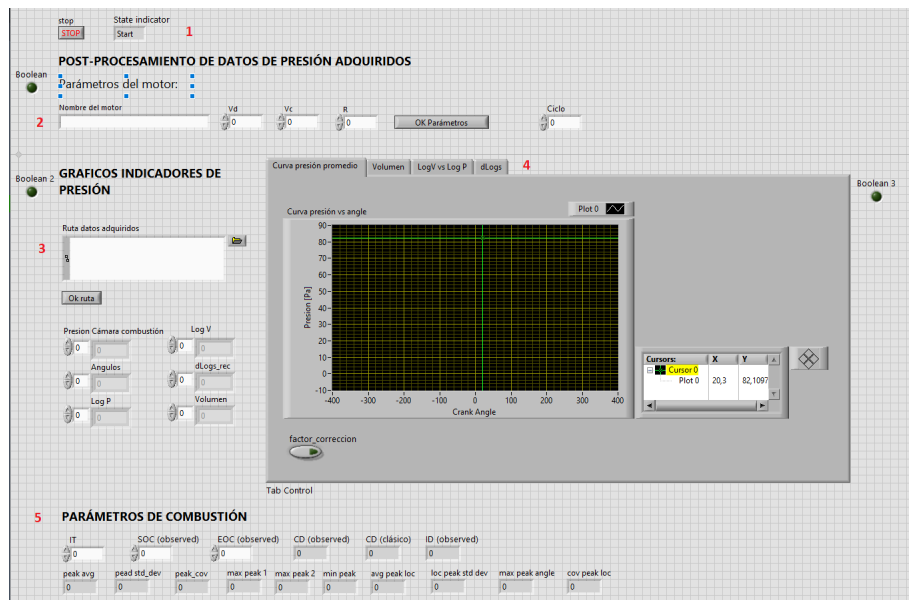


Figura 57: Primera mitad interfaz post procesamiento

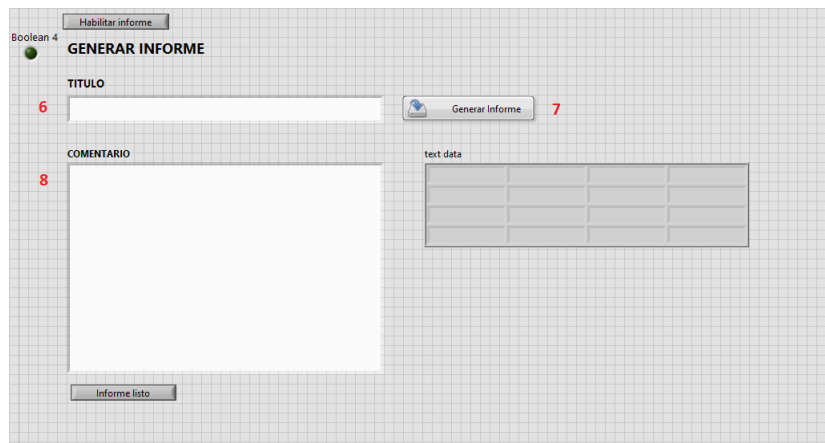


Figura 58: Segunda mitad interfaz post procesamiento

4.4.3 MAPO-IMPO

Para los siguientes puntos, revisar figura 59.

1. Ruta archivo de funciones específicas MAPO-IMPO.
2. Ruta archivo de datos adquiridos en etapa de adquisición.
3. Arreglo indicador KIMAPO.
4. Indicadores MAPO-IMPO.
5. Tabuladores de gráficos obtenidos.

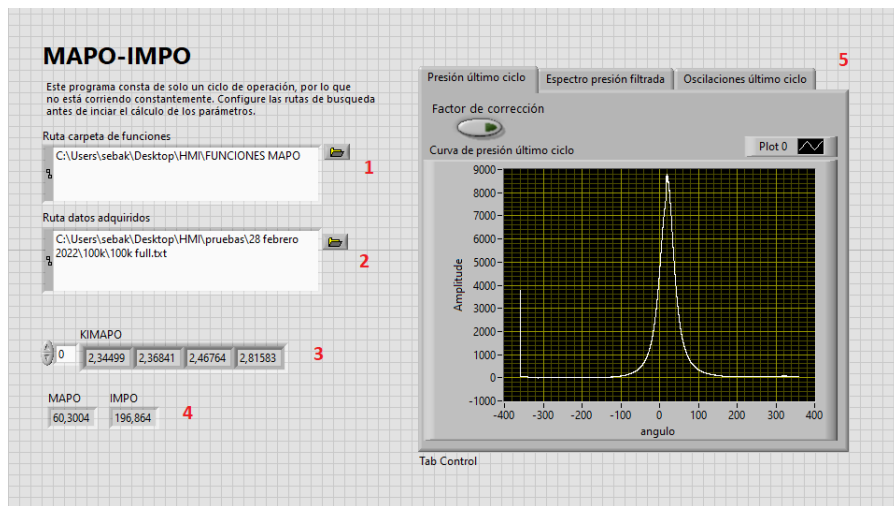


Figura 59: Interfaz MAPO-IMPO.

4.5 Montaje de equipos

1. Montar los amplificadores de señal en el chasis SCP Slim, enchufar el chasis con su transformador de corriente y conectar cable ethernet al computador. Prender SCP Slim.
2. Iniciar programa KISTLER SCP y establecer comunicación. Este paso se realiza solo la primera vez que se instala el sistema.
3. Conectar sensores de presión a los amplificadores en el SCP Slim.
4. Montar módulos NI-9215 y NI-9213 al chasis cDAQ.
5. Conectar las salidas de los amplificadores y los terminales del encoder al módulo NI-9215 en el orden que indica la tabla 7.
6. Conectar termocuplas en el modulo NI-9213 de acuerdo al orden indicado en la tabla 7
7. Enchufar cDAQ a la corriente y conectar cable USB al computador.

4.5.1 Configuración inicial software

Una vez realizado el último paso del montaje de equipos, correspondiente a conectar el CompactDAQ por USB al computador, proceda a corroborar la correcta detección del equipo de adquisición de datos

de la siguiente forma:

1. Se despliega automáticamente la ventana de detección de CompactDAQ. Ver figura 60. Hacer clic en botón “Go” a un costado de la opción “Configure and test this device”.

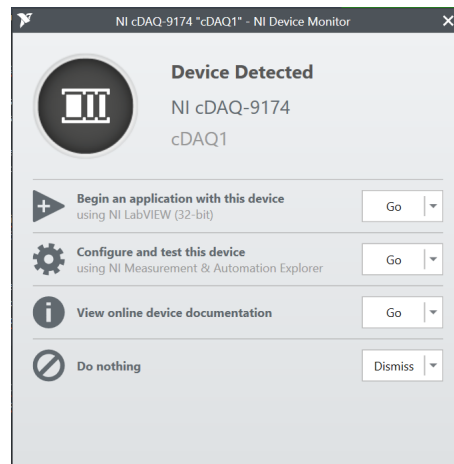


Figura 60: Ventana de detección de chasis CompactDAQ

2. Se desplegará la ventana de la figura 61. Corrobore que se detectan los módulos instalados en el CompactDAQ. Para asegurar que está todo en orden, presione el botón Self-Test ubicado en la parte superior de la ventana.

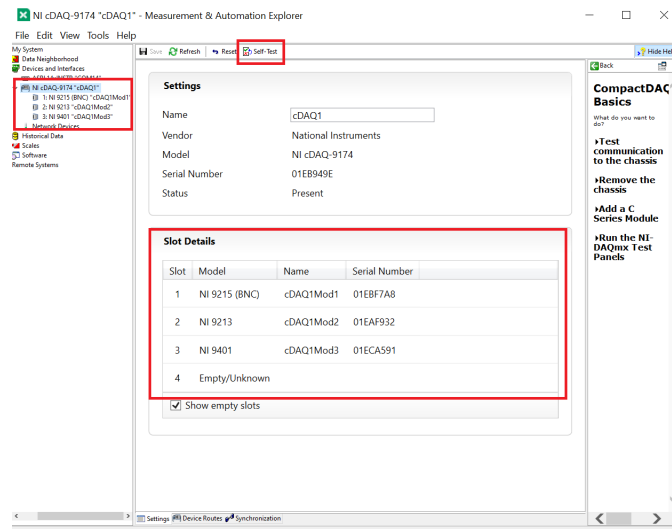


Figura 61: Ventana de detección de módulos conectados al CompactDAQ.

3. Una vez corroborado que todos los módulos conectados son reconocibles por el software, cierre la ventana. En caso de no reconocer algún módulo se recomienda actualizar el software controlador NI-DAQmx a su última versión. De persistir el problema contacte a personal especializado de National Instruments.

4.6 Instrucciones de uso de las interfaces

4.6.1 Programa Adquisición de datos

Antes de seguir los siguientes pasos, es necesario que haya sido iniciado el software KISTLER SCP para cargar la hoja de datos electrónica de calibración a los respectivos amplificadores montados en el SCP Slim.

Abra el acceso directo de LabVIEW y seleccione “Open Existing Project”. Seleccionar el proyecto “Sistema de monitoreo MCI”. Se abrirá un explorador de proyecto donde se muestran los diferentes programas asociados al sistema de monitoreo como se muestra en la figura 62.

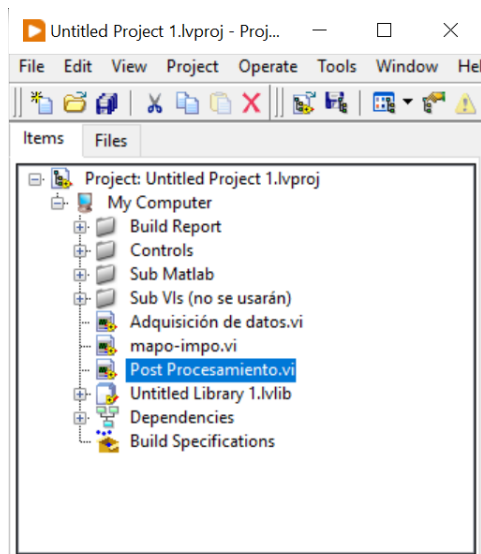


Figura 62: Panel “Project Explorer” de LabVIEW

A continuación siga los siguientes pasos:

1. Abrir programa de adquisición de datos.
2. Establecer frecuencia de muestreo y tamaño del buffer de la adquisición.

3. Iniciar el programa con el botón de flecha en la esquina superior izquierda.
4. Establecer el periodo de adquisición de datos en milisegundos.
5. Apretar icono de carpeta a un costado del recuadro de la ruta de archivo. Se desplegará un explorador de directorio. Crear una carpeta y un archivo de texto (.txt) con nombres a elección representativos del experimento, por ejemplo 'MCI-3000rpm-1seg.txt'. Seleccionar el archivo de texto creado.
6. Apretar botón "Parámetros listos".
7. Apretar botón "Comenzar Adquisición", y comenzará a transcurrir el periodo de adquisición configurado en los pasos anteriores. Una vez haya terminado el periodo de adquisición apretar botón STOP para finalizar el programa. En caso de querer realizar otra medición con la misma frecuencia de muestreo, repetir desde el paso 4. En caso de querer realizar una nueva adquisición con diferente frecuencia de muestreo, se debe finalizar el programa con el botón STOP y repetir desde el paso 2.

PRECAUCIONES:

- Se recomienda no establecer el tamaño del buffer menor a 5000. En caso de trabajar a 100[kHZ] de frecuencia de muestreo se recomienda tener un tamaño de buffer de al menos 10000.
- En esta primera versión del programa, el orden de los archivos y carpetas donde se encuentren los datos adquiridos es mera responsabilidad del usuario. Se recomienda revisar cada carpeta con su respectivo archivo en detalle antes de comenzar el ciclo de adquisición de datos.
- Mientras se están adquiriendo datos, se recomienda no cambiar de ventana ni abrir algún otro programa. Esto con el fin de utilizar la mayor cantidad de recursos del computador en el proceso de adquisición. No seguir esta recomendación podría desencadenar en un atollo del buffer y provocar pérdidas de datos y errores en el programa.

4.6.2 Programa de procesamiento de datos

A partir de la ventana de explorador de proyecto (figura 62), abrir el programa "Post Procesamiento.vi". Se desplegará un terminal de MATLAB el cual debe ser minimizado, y proceder con los siguientes pasos:

1. Setear parámetros del motor y apretar botón OK
2. Seleccionar archivo de datos que se desea procesar y apretar “Ruta OK”. Se desplegarán los gráficos de presión y los indicadores numéricos de presión.
3. Revisar la curva de presión promedio desplegada. Esta podría estar desplazada medio ciclo de operación. Para solucionar esto apretar botón “FC” (factor de corrección). De no presentar este desplazamiento no apretar el botón.
4. Apretar el botón “Curva OK” para desplegar los datos de fracción de quemado.
5. Apretar botón “Habilitar Informe”
6. Rellenar recuadros del informe que se estimen pertinentes para el experimento.
7. Apretar botón “generar informe”. En caso de que aparezca una ventana emergente de error, ignorar el error y continuar.
8. Revisar informe generado en Word, modificar a gusto y guardar en carpeta de preferencia.
9. De querer realizar otro procesamiento de datos, repetir desde el paso 1. Si no se desea realizar otro procesamiento apretar botón STOP y finalizar el programa.

PRECAUCIONES:

- El botón “Curva OK” debe ser apretado **únicamente** cuando la curva de presión sea correcta (con o sin el factor de corrección). En caso contrario el programa se detendrá y se desplegará una ventana de error.
- Dependiendo de la cantidad de datos a procesar, el tiempo de espera en desplegar los gráficos e indicadores de presión puede ser alto. En estos casos también será lenta la transición entre etapas del programa, por lo que se recomienda mantener apretado el botón “Habilitar Informe” hasta que se habilite la etapa de informe.
- Al generar el reporte del experimento se desplegará una ventana emergente de error la cual debe ser ignorada. Este error no afecta en nada el proceso de cálculo de parámetros ni curvas de presión.

4.6.3 Programa MAPO-IMPO

Desde la ventana de explorador de proyecto (figura 62) seleccionar el programa “mapo-impo.vi”. Se desplegará una ventana terminal de MATLAB la cual debe ser minimizada. A continuación seguir las siguientes instrucciones (guiarse según figura 59):

1. Establecer ruta de las funciones dedicadas al cálculo de MAPO-IMPO. Este archivo viene incluido dentro de los anexos del programa.
2. Establecer ruta de los datos adquiridos en la etapa de adquisición de datos.
3. Iniciar programa.
4. En caso de que la “Curva de presión de último ciclo” se visualice desplazada, apretar botón “Factor de corrección” e iniciar nuevamente el cálculo de parámetros.

PRECAUCIONES:

- El tiempo de procesamiento en esta etapa depende de la cantidad de datos tomados en etapas anteriores, y de la complejidad de las
- Si la curva de presión desplegada está desplazada, los parámetros MAPO-IMPO no serán representativos del experimento. Utilizar el botón “Factor de corrección” cuando corresponda es indispensable para tener los indicadores correctos.
- Establecer la ruta de las funciones de forma incorrecta producirá un error del programa que no permitirá calcular ningún valor. Se recomienda ser cuidadoso en establecer este parámetro de búsqueda.

4.7 Seguridad y consideraciones importantes

- La manipulación de todos los instrumentos a disposición debe ser realizada con las manos limpias y secas. En caso de limpiar los aparatos, realizar este proceso con un paño seco y con los equipos desconectados entre ellos y de la corriente.
- A la fecha, el largo de los cables que conecta el encoder con su módulo electrónico y el cable TTL son de dos metros de largo cada uno, por lo que el sistema de adquisición de datos debe situarse

a menos de cuatro metros de distancia de donde está instalado el encoder.

- Los cables provenientes de los sensores, al ser sumamente largos en comparación a los cables del encoder, se sugiere enrollar el exceso de estos para mantener la sala de operaciones más despejada. En esta práctica se debe cuidar que el radio de las circunferencias formadas por el enrollamiento sea mayor a 10[cm], con el objetivo de prevenir interferencias por efectos de campo electromagnético que pueda afectar en la medición (información entregada por el fabricante).
- La ubicación del acondicionador de señales SCP Slim debe ser en una superficie plana, con la menor cantidad de vibración posible proveniente del funcionamiento del motor.

5 Capítulo 5: Desempeño y limitaciones del sistema

Para la validación del funcionamiento del sistema desarrollado, se trabaja en conjunto con estudiantes memoristas del DIMEC asociados al proyecto. Se realizan pruebas de adquisición de datos en el motor Mercedes OM 663 LA a diferentes frecuencias de muestreo comparando las curvas de presión promedio obtenidas. Ya a que a partir de la curva de presión promedio se realiza el cálculo de todos los demás parámetros de combustión, se presenta esta curva para diferentes frecuencias de muestreo en las figuras 63, 64, 65 y 66.

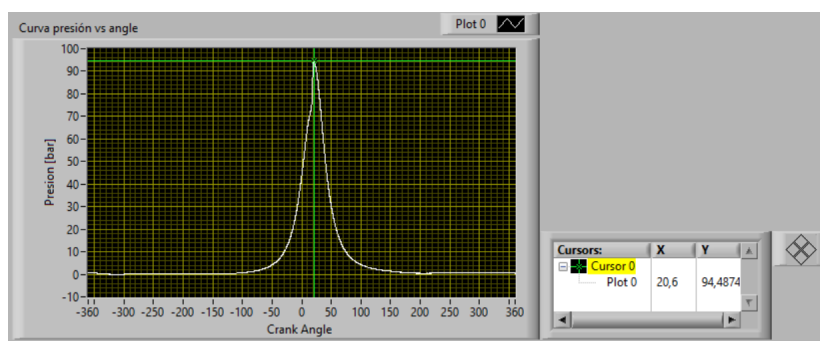


Figura 63: Curva de presión promedio a 35 [kHz] de frecuencia de muestreo.

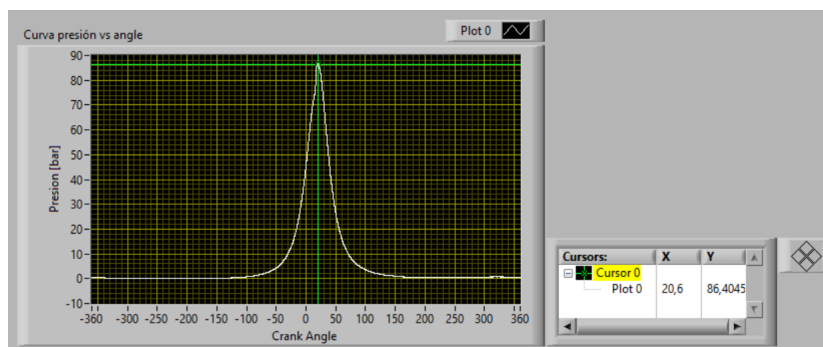


Figura 64: Curva de presión promedio a 50 [kHz] de frecuencia de muestreo.

Las curvas de presión promedio obtenidas para cada experimento son similares en valores de amplitud y ángulos de presión máxima. Esto es corroborado por el equipo del proyecto confirmando el correcto desempeño del sistema desarrollado. En la tabla 14 se muestran los valores de presión obtenidos según frecuencia de muestreo utilizada para una velocidad angular constante. Se observa que para estas mediciones la variación entre los peaks máximos y promedios no varían significativamente, al igual que los ángulos donde se producen, sin embargo para frecuencias de muestreo altas, los valores calculados son más precisos debido a la resolución en la toma de datos.

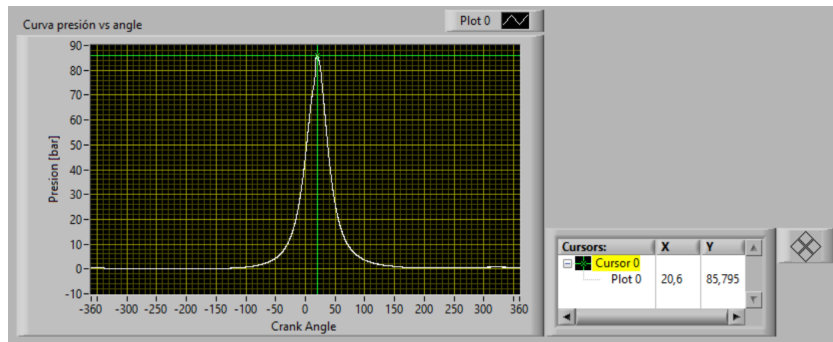


Figura 65: Curva de presión promedio a 75 [kHz] de frecuencia de muestreo.

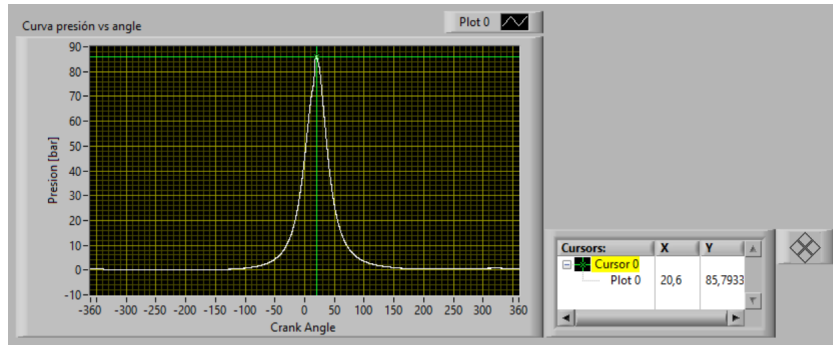


Figura 66: Curva de presión promedio a 100 [kHz] de frecuencia de muestreo.

Cabe destacar que con el desarrollo de este sistema es primera vez que se adquieren datos de presión en cámara en un MCI de laboratorio de termofluidos, por lo que no hay datos de referencia del motor instrumentado. Se proyecta a futuro seguir desarrollando este sistema para ser utilizado en docencia e investigación.

Fs[Hz]	Peak máx. [bar]	C.A.°	Peak prom. [bar]	C.A.°	Vel. Angular [r.p.m]
35k	94,06	20,2	89,65	20,7	1340
50k	95,97	20,6	89,9	20,8	1341
65k	94,5	20,1	89,9	20,8	1340
80k	94,2	21,5	90,2	20,8	1342
100k	93,0	21,6	88,9	21,2	1344

Tabla 14: Valores de presión promedio y presión máxima con sus respectivos ángulos de cigüeñal, para diferentes frecuencias de muestreo con velocidad angular constante.

5.1 Limitantes del sistema

Debido al método de procesamiento de datos, el sistema es fiable solo para experimentos donde el MCI opere a revoluciones [r.p.m.] constantes. Esta es una limitante en el caso que se desee analizar fenómenos de combustión con velocidad variable, como puede ser en experiencias de un motor sometido a diferentes cargas o frenos. En estos casos, la cantidad de muestras que se tendría por ángulo medido cambiaría dependiendo de la variación de carga sobre el motor. Para esto se debería utilizar la señal CDM del encoder en vez de la señal TRG para conocer la posición angular del cigüeñal, de esta forma se podría relacionar el comportamiento de la combustión en el transiente de aplicación de carga (freno). Esto supone también contar con un módulo con entrada digital TTL que permita medir la señal CDM del encoder y entregar los valores del ángulo de cigüeñal de manera inmediata. En el capítulo 6 se proponen trabajos a futuro para desarrollar esta problemática.

A nivel de usuario, es necesario seguir metódicamente los pasos de operación descritos en el manual de usuario detallado en el capítulo 4. Hay situaciones en las cuales la interfaz de usuario podría no funcionar, cómo en el caso de que se realicen manipulaciones distintas a las especificadas en los botones por parte del usuario. Para solucionar este problema es necesario poner a prueba la interfaz de usuario por un periodo determinado de tiempo para encontrar las fallas y solucionarlas.

El software controlador NI-DAQmx en conjunto con el chasis CompactDAQ, permiten setear una frecuencia de muestreo única para el sistema completo, Es decir, no se pueden adquirir señales de presión a una tasa de muestreo distinta que las señales de temperatura. Esto no afecta en el desempeño general del sistema, pero se debe tener en cuenta al momento de planificar un experimento. Sumado a lo anterior, en la etapa de adquisición de datos, no se puede realizar otro proceso en el computador personal mientras se adquieren datos, solo puede ser utilizada la interfaz de usuario de labVIEW. Esto se puede deber a que la forma en que el computador adquiere los datos desde el CompactDAQ es un proceso FIFO de un buffer de información adquirida, y de cambiar el proceso funcionando en el PC

podría afectar la velocidad con que se sacan datos de la cola del buffer, y podría provocar errores en la adquisición, como perder datos. Esto se puede prever definiendo un buffer size del mismo tamaño que la velocidad de adquisición, sin embargo esto provoca que el gráfico de monitoreo en la etapa de adquisición no sea suficientemente representativo de los datos de adquisición.

Limitante de frecuencia de muestreo y velocidad del motor.

Como se ha mencionado en el presente trabajo, la frecuencia de muestro máxima permitida por el sistema es de 100[kHz]. También se debe considerar que dependiendo de la velocidad angular del motor se tiene una frecuencia de muestreo mínima para poder realizar mediciones y procesamientos correctos. Para obtener esta relación entre velocidad angular y frecuencia de muestro mínima se considera la señal de mayor frecuencia medible del sistema, correspondiente a la señal CDM del encoder, que entrega un tren de pulsos con una resolución de 720 pulsos por revolución (ver figura 67).



Figura 67: Diagrama de pulsos de la señal CDM proveniente del encoder.

A partir de esta señal se considera que para cada pulso se deben tomar por lo menos dos datos (ON y OFF, marcados en rojo en figura 67), por lo que para 1 revolución de cigüeñal se deben adquirir 1440 datos. Además, suponiendo una velocidad angular del motor de V [r.p.m.], 1 revolución demora $60/V$ [s], por lo tanto se tendrá que la frecuencia de muestreo mínima dada la velocidad del motor se obtiene de la forma:

$$F_s = \frac{1440}{60} \cdot V \left[\frac{samples}{s} \right] \rightarrow V = \frac{60}{1440} \cdot F_s [r.p.m.]$$

Sabiendo que la frecuencia de muestreo máxima permitida es de 100kHz, se obtiene que la velocidad máxima teórica de operación para que el sistema sea fiable es de aproximadamente 4167[r.p.m.]. Dada la información entregada por el encargado del laboratorio de termofluidos, el motor Mercedes no debería operar sobre las 3000 [r.p.m.], por lo que tener 100kHz de frecuencia de muestreo es suficiente para desarrollar experiencias en este motor.

Limitantes de tiempo de almacenamiento de datos.

Debido al manejo de memoria RAM del PC y recursos por parte de LabVIEW, hay limitaciones importantes respecto al periodo de tiempo que pueden ser almacenados datos en un archivo. Al realizar un guardado de las señales provenientes del encoder, presiones y temperaturas, se tienen 10 señales a guardar, y considerando una frecuencia de muestreo de 100kHz como caso crítico, esto corresponde a almacenar en un archivo un millón de datos por segundo. Este proceso implica un conflicto con los buffers internos que utiliza LabVIEW y el software DAQmx provocando una sobrescritura de datos, deteniendo el programa.

Indagando sobre el manejo de memoria para cada proceso (adquisición y almacenamiento de datos), no se pudo llegar a un parámetro claro de cuanto tiempo de almacenamiento es posible dada la cantidad de señales y frecuencia de muestro utilizada, sin embargo se realiza un estudio empírico para diferentes valores de frecuencia de muestreo, tamaño de buffer y tiempo de guardado.

En la tabla 15 se presenta el tiempo máximo de almacenamiento de datos para diferentes frecuencias de muestreo y tamaños de buffer adquiriendo 10 señales (2 presión, 2 encoder y 6 temperatura). Para esto se realiza un experimento donde se pide guardar 20 minutos de datos de los sensores de presión, encoder y termocuplas de medición de temperatura.

Fs [Hz]	Buffer Size [samples]	Tiempo hasta error [s]	Vel. Máxima [r.p.m]
30k	30k	No hay error	1250
50k	1k	588	2083
50k	20k	No hay error	2083
50k	30k	No hay error	2083
100k	1k	4	4166
100k	20k	153	4166
100k	30k	437	4166
100k	50k	409	4166
100k	75k	13(*)	4166
100k	100k	16	4166

Tabla 15: Máximos periodos de adquisición de presión, encoder y temperatura. (*) Para esta adquisición en particular, el error no correspondió a una sobrescritura de LabVIEW, sino a un error entregado por Windows respecto a la falta de memoria interna para poder adquirir datos.

Se detalla que la configuración que entrega mejor desempeño corresponde a 100k[Hz] de frecuencia de muestreo y 30k [samples] de tamaño del buffer.

Es importante mencionar que estos datos obtenidos podrían variar dependiendo del uso que haya tenido el computador previo a la toma de datos. Si ya se ha usado el computador previamente en otros procesos (uso de internet, hojas de datos, etc), el tiempo de falla podría ser menor, limitando aún más

el experimento.

La solución a esta limitante podría ser mejorar las capacidades de memoria de LabVIEW y la forma en que el PC asigna recursos en el proceso de adquisición, sin embargo, se deben realizar mayores estudios para poder llegar a una solución concreta a esta limitante. De manera provisora, para poder realizar almacenamientos de datos de mayor cantidad de tiempo, se propone a futuro separar el proceso de adquisición de datos en dos programas distintos, uno dedicado a la adquisición y almacenamiento de temperaturas, y otro dedicado a la adquisición y almacenamiento de presiones. De esta forma la cantidad de datos que han de ser almacenados simultáneamente disminuye considerablemente y la sobrescritura podría no ocurrir.

Para obtener un desempeño óptimo del sistema desarrollado se recomienda:

- Previo a iniciar la adquisición de datos y abrir LabVIEW, se recomienda reiniciar el PC para tener la memoria RAM libre de archivos temporales o residuales.
- En la etapa de adquisición de datos no cargar con otro proceso al computador.
- De desear adquirir datos por más de 1 minuto, se recomienda tener paciencia en la etapa de procesado. En un experimento crítico, por un minuto de adquisición a 100[kHz] de frecuencia de muestreo, se tendrían seis millones de datos que procesar.
- Seguir detalladamente las instrucciones en el manual de usuario, en particular en la etapa de procesamiento, ya que, de ser la primera versión del sistema de monitoreo, existen rutinas de interfaz optimizables para tener una mejor experiencia a nivel de usuario.
- En caso de presentar problemas en la adquisición de datos revisar en primer lugar cables y fuentes de alimentación. La calidad de fabricación del hardware cDAQ y SCP Slim con sus amplificadores es bastante alta, por lo que deberían ser lo último en fallar.

Respecto al tiempo de adquisición recomendado de un minuto, este valor podría llegar a ser excesivo para un experimento con velocidad [r.p.m] constante. Se podría realizar un periodo de adquisición menor y el resultado debería ser representativo del experimento. El tiempo de adquisición de datos podría ser mayor si es que se incluyen momentos de transiente de velocidad o carga sobre el motor, y se desee analizar cómo varían los parámetros de combustión en estas situaciones, caso que no puede ser abordado por el sistema de monitoreo desarrollado.

Se observa también que a lo largo de todo el proceso de desarrollo del programa, las señales de temperatura solo fueron incluidas en la etapa de adquisición de datos, no así en la de procesamiento. Esto es debido a que los parámetros de combustión no contemplan en sus cálculos las variaciones de temperaturas según el ángulo de ciclo, pero si podrían dar información respecto al inicio y fin de la combustión. Estos datos en particular fueron requeridos por estudiantes memoristas del proyecto para sus respectivos trabajos de título.

Respecto a la imposibilidad de realizar experimentos con monitoreo de los parámetros de combustión en tiempo real, esto afectaría en proyecciones futuras donde se deseen implementar sistemas de control cuyas actuaciones se basen en los valores calculados de los parámetros. Por ejemplo la inyección de combustible o la aceleración del motor en experimentos de aplicación de carga variable, pueden ser controladas bajo un sistema de control que controle las actuaciones en base a uno o más parámetros de combustión medidos en tiempo real.

6 Capítulo 6: Conclusiones y propuestas de trabajos futuros

En este proyecto de título se logró configurar un sistema modular de adquisición de datos basado en instrumentación de National Instruments y KISTLER, integrando sensores de presión, temperatura y ángulo de cigüeñal, y dispositivos de acondicionamiento de señal disponibles en el Laboratorio de termofluidos del Departamento de Ingeniería Mecánica. Además, se logra implementar el sistema desarrollado a través de conexión USB a un computador personal o de escritorio, permitiendo visualizar parámetros importantes del desempeño de la combustión.

El sistema desarrollado es válido únicamente para experimentos de operación con velocidad [r.p.m.] constante. Se concluye que para poder realizar experimentos con velocidad variable se debe cambiar el módulo de adquisición de datos para la señal del encoder, que permita medir la señal digital TTL de este y entregar información certera respecto al ángulo instantáneo del motor, utilizando la señal CDM del encoder.

Se ha desarrollado un manual de usuario que detalla la conexión de hardware: sensores, sistema de acondicionamiento de señales, y sistema DAQ. También entrega información del proceso de instalación de los softwares requeridos por el sistema, además de explicitar los requerimientos básicos del computador donde se instalará el sistema desarrollado.

Si bien el objetivo inicial en este trabajo correspondía al procesamiento de datos en tiempo real, y por lo tanto un despliegue de los indicadores detallados en el capítulo 3 para cada ciclo de operación de un MCI, esto no se pudo realizar debido a la instrumentación adquirida por el proyecto previamente a este trabajo de memoria. Para realizar un nuevo sistema de monitoreo de la combustión que entregue información de la combustión en tiempo real se debe adquirir nueva instrumentación que tenga alta capacidad de procesamiento (por ejemplo cambiar CompactDAQ por CompactRIO), cambiar el módulo por el cual se adquieren los datos de presiones (que limita el sistema a una frecuencia de muestreo máxima de 100[kHz]), y cambiar el método de medición de ángulo de cigüeñal a través de la adquisición de un módulo digital con entrada TTL y terminales BNC. Junto a lo anterior, se debe realizar un estudio de los métodos de adquisición de datos que sean compatibles con los procesamientos a realizar en tiempo real.

Finalmente, se concluye que se ha logrado instrumentar y desarrollar un sistema de monitoreo para el diagnóstico de la combustión en motores de combustión interna. Esto permite la implementación

de nuevas experiencias de laboratorio en el laboratorio de termofluidos del DIMEC, a su vez genera un precedente para futuros proyectos de sistemas de adquisición de datos y cálculo de parámetros de combustión en motores de combustión interna.

6.1 Propuestas de trabajos futuros.

Dado que el desarrollo de este trabajo comprende el primer acercamiento a la realización de un software de adquisición y procesamiento de datos en el laboratorio de Termofluidos, se mencionan a continuación algunas propuestas de trabajos futuros para continuar el desarrollo y depuración del sistema de monitoreo de combustión:

- Un indicador de combustión sumamente importante que no fue abordado por los objetivos de este trabajo de memoria corresponde a la presión media indicada y presión media efectiva. Se propone que el primer desarrollo futuro en cuanto a cálculo de parámetros sea incluir estos cálculos en la interfaz de usuario.
- LabVIEW cuenta con la opción de crear un archivo ejecutable y/o instalador del programa desarrollado, de esta forma es posible implementar el software desarrollado en diferentes computadores de estudiantes, profesores o apoyos académicos. Para realizar esto, se debe estudiar el apartado “Build Specifications” presente en la ventana “explorador de proyecto” del programa.
- Se recomienda cambiar la forma de adquirir los datos entregados por el encoder, de señales análogas de voltajes a señales digitales. De esta forma, LabVIEW podría detectar automáticamente la velocidad instantánea del motor y el ángulo de cigüeñal sin tener que recurrir a la etapa de procesamiento. Para esto se debe buscar alguna alternativa al módulo NI-9215 usado actualmente para conectar las señales del encoder.
- El algoritmo para el cálculo de los parámetros de combustión anormal MAPO-IMPO puede ser mejor implementado en LabVIEW realizando un mayor estudio en los alcances del bloque MATLAB Script, y conociendo más en profundidad el código de procesado de datos entregado a este trabajo de memoria. Se propone realizar alguna instancia entre quien continúe desarrollando este sistema y el equipo de investigación dedicado al cálculo de parámetros MAPO IMPO.
- Ordenar y esquematizar el cableado de sensores en la sala de los motores del laboratorio de termofluidos es sumamente importante para lograr una continuidad en el desarrollo de este

sistema de monitoreo. Se recomienda crear un manual de conexiones aplicable a todos los motores a instrumentar.

- Realizar el cálculo de parámetros de combustión en tiempo real es un desafío bastante exigente que podría tomar más de un semestre. Esto incluye la adquisición de un nuevo chasis de adquisición de datos, y la migración del programa ya desarrollado a algoritmos de tiempo real. Se recomienda que la próxima persona que realice esta tarea sea asesorada por personal capacitado en LabVIEW provista por National Instruments.

Referencias

- [1] Heywood. (1988). Internal Combustion Engine Fundamentals. United States of America: McGraw-Hill.
- [2] Tabilo, M. A. (2020, septiembre). Desarrollo de un método para el montaje y prueba de sensores de presión en un motor de ciclo diésel para la implementación de nuevas experiencias de laboratorio en el laboratorio de termofluidos del DIMEC. Universidad Técnica Federico Santa María.
- [3] International Electrotechnical Commission. (2010). IEC 584-3 Color Coding.
- [4] Kistler Group. (2018). Instruction Manual Uncooled piezoelectric pressure sensors Types 6052, 6054, 6056, 6058, 6124, 6125, 6044, 6045. Switzerland: Kistler Group.
- [5] Kistler Group. (2018). Instruction Manual Piezoresistive pressure sensors Types 4007, 4011, 4043, 4045, 4073, 4075, 4049, 4065, 4067. Switzerland: Kistler Group
- [6] Kistler Group. (2018). SCP Slim for engine indication, Signal conditioning system, with optional PiezoSmart.Switzerland: Kistler Group.
- [7] Kistler Group. (2018). Instruction Manual Charge Amplifier Type 5064D....Switzerland: Kistler Group.
- [8] Kistler Group. (2018). Instruction Manual Piezoresistive Amplifier Type 4665B1, Type 4665B2.Switzerland: Kistler Group.
- [9] Kistler Group. (2018). Instruction Manual Crank Angle Encoder Set Type 2614CK....Switzerland: Kistler Group.
- [10] National Instruments. (2013). NI cDAQ-9174 Specifications. Austin, TX 78759-3504, USA: NATIONAL INSTRUMENTS CORP
- [11] National Instruments. (2016). NI 9215 Datasheet. Austin, TX 78759-3504, USA: NATIONAL INSTRUMENTS CORP.
- [12] National Instruments. (2017). NI 9213 Datasheet. Austin, TX 78759-3504, USA: NATIONAL INSTRUMENTS CORP.

7 Anexos

Anexo A. Catálogo Sensores 6052C y 4007D

High-temperature pressure sensor for combustion engine measurements

Type 6052C...

Patent No. US 6,105,434

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 $\pm 0.5\%$ in the temperature range from 150 ... 250 °C. The passive acceleration compensation patented by Kistler keeps the influence of engine vibrations to a minimum.

The front seal provides very good heat transfer and keeps the sensor at a save operating temperature. The optimized diaphragm produces good measuring results and ensures a long service life.

Application

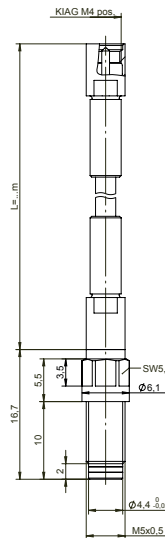
The sensor Type 6052C... is an excellent all-rounder. Its rugged construction makes it suitable for measurements at the knock limit as well as for thermodynamic investigations. This sensor is used mainly for complex cylinder head geometry. As well as for motor cycles and other small engines and for combustion analysis in vehicles.

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, but with a limited temperature range.

For standard applications, a rugged metal braided PFA cable is recommended. If the sensor plug is directly exposed to the engine oil, e.g. when installing through the valve cover, the oil-tight FPM cable is recommended.

Massbild / Dimension drawing
Sensor Type 6052C-3-
6052CU_3-3-...



Technical data

Type 6052C...

Measuring range	bar	0 ... 250
Calibrated partial ranges	bar	0 ... 50, 0 ... 100, 0 ... 150, 0 ... 250
Overload	bar	300
Sensitivity	pC/bar	≈ -20
Natural frequency (measuring element)	kHz	≈ 160
Linearity, all ranges (at 23 °C)	%/FSO	≤ ±0.3
Acceleration sensitivity		
axial	mbar/g	< 0.8
radial	mbar/g	< 0.5
Operating temperature range	°C	-20 ... 350
Temperature min./max.	°C	-50 ... 400
Sensitivity change		
200 °C ±50 °C	%	≤ ±0.5
23 ... 350 °C	%	≤ ±2
Thermal shock error		
(at 1 500 1/min, IMEP = 9 bar)		
Δp (short-term drift)	bar	≤ ±0.5
Δp _{mi}	%	≤ ±2
Δp _{max}	%	≤ ±1

6052C_000-552e-02.20

Technical data, continuation

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	grams	2
Connector, ceramic insulator	–	M4x0.35

Type 6052C...U20 (other specifications as for Type 6052C...)

Measuring range	bar	0 ... 300
Calibrated partial ranges	bar	0 ...100, 0 ... 200, 0 ... 300
Overload	bar	350
Sensitivity	pC/bar	≈-18
Linearity, all ranges (23°)	%/FSO	≤±0.5
Acceleration sensitivity		
axial	mbar/g	<0.8
radial	mbar/g	<0.5
Sensitivity change		
23 ... 350 °C	%	≤±3
Thermal shock error		
(at 1 500 1/min, pmi = 9 bar)		
Δp (short time drift)	bar	≤±0.7
Δp _{mi}	%	≤±3
Δp _{max}	%	≤±1.5

Type 6052C...U40 (other specifications as for Type 6052C...)

Operating temperature range	°C	-20 ... 200
Temperature min./max.	°C	-50 ... 250
Calibrated partial ranges	bar	0 ... 100, 0 ... 200, 0 ... 250
Sensitivity change 23 ... 200 °C	%	≤±2

Mounting

Direct mounting:

Sensor Type 6052C... can be mounted directly in the cylinder head, see Fig. 2. Machining of the bore must correspond exactly to the bore specifications shown in Fig. 1.

The Kistler tools:

Step drill	Type 1300A51
Special tap	Type 1357A
Finishing tool for bore	Type 1300A79

must be used in order to comply with the tolerances required. The bore must be machined in one clamping. Before mounting the sensor, the sealing surface in particular must be checked; use of the finishing tool (reamer) Type 1300A79 is mandatory. When mounting the sensor, it is essential to comply with the tightening torque of 1.5 N·m. The sensor should be mounted with the cable attached and the appropriate mounting tool and torque wrench. You will find additional information for machining the bore and mounting in the instruction manual. Your Kistler distributor will provide you with information, for example concerning the preferred position of the indicating bore in the combustion chamber.

Mounting sleeve:

When space allows or if the water jacket of the cylinder head will be breached, a mounting sleeve is recommended. Mounting sleeves are manufactured to customer requirements; Fig. 3 shows a version with M7x0,75 thread. An additional advantage of mounting sleeves is that the actual sensor bore in the sleeve can be very precisely machined. On request, Kistler will provide custom made adapters for your particular mounting situation.

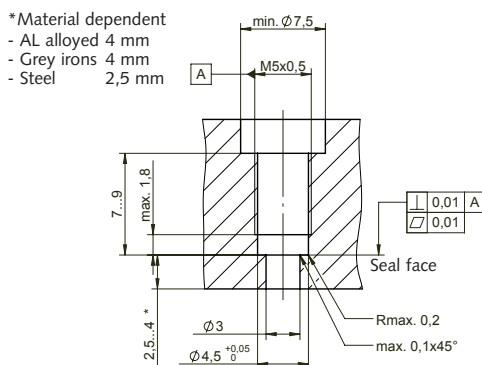


Fig. 1: Mounting bore

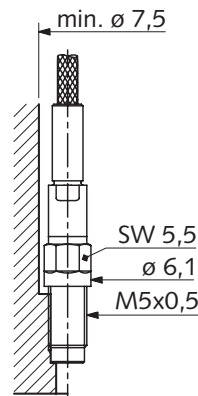


Fig. 2: Direct mounting

6052C_000-552e-02.20

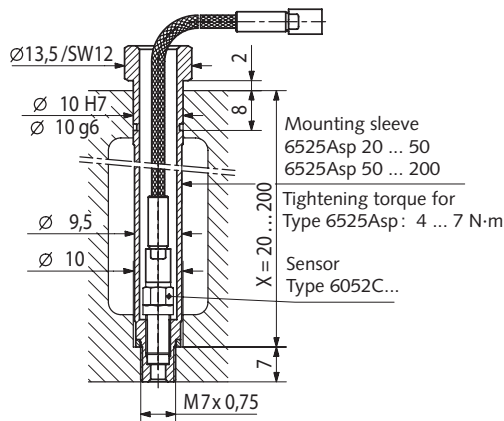


Fig. 3: Using the mounting sleeve

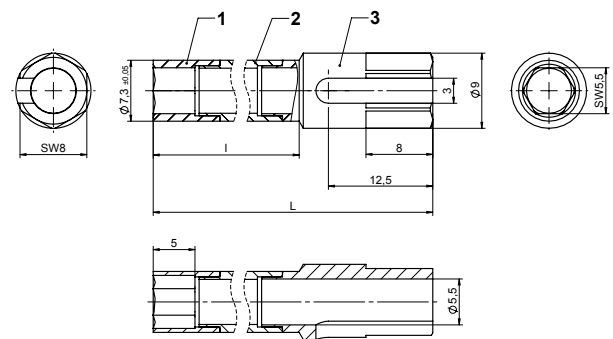


Fig. 4: Mounting key SW 5.5
Type 1300A9 with $l = 204/L = 220$
Type 1300A9Q02 with $l = 239/L = 255$

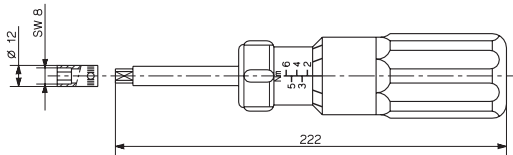


Fig. 5: Torque wrench 1 ... 6 N·m Type 1300A17

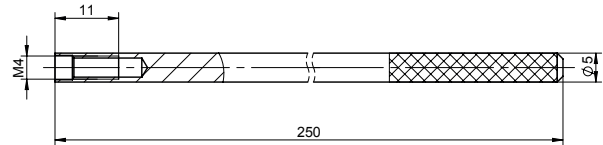


Fig. 6: Extraction tool for dummy sensor Type 1319

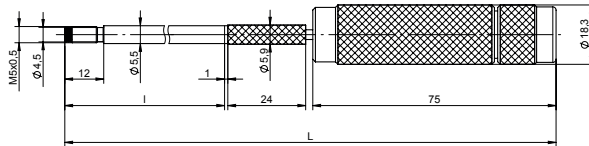


Fig. 7: Finishing tool for bore
Type 1300A79 with $l = 60/L = 162$
Type 1300A79Q01 with $l = 170/L = 173$
Type 1300A79Q02 with $l = 220/L = 232$

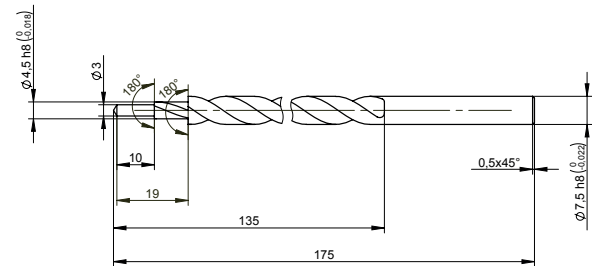


Fig. 8: Step drill Type 1300A51

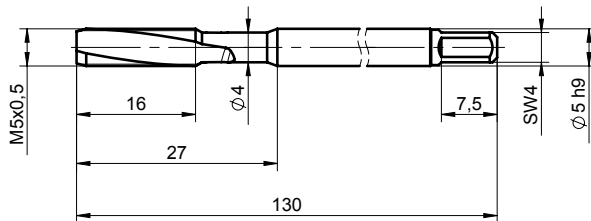


Fig. 9 : Special tap M5x0.5 Type 1357A

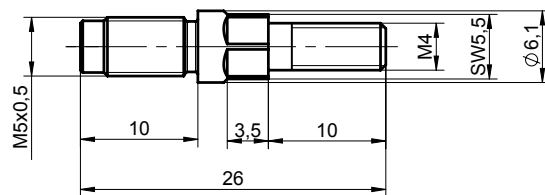


Fig. 10: Dummy sensor Type 6445 (for Type 6052...)

6052C_000-552e-02.20

Scope of delivery

- Pressure sensor
- Connecting cable acc. to ordering key
- Calibration certificate
- Adapter M4 neg. – BNC pos. (not for PiezoSmart)

Type/Art. No.
6052C
Ordering key**Version**

Standard	
Reinforced diaphragm	U20
Additional damping	U40

PiezoSmart

Without PiezoSmart (standard)	–
With PiezoSmart (standard)	S

Cable version

PFA with steel braiding (standard)	3
FPM oil-proof	7

Cable length

1 m (standard)	-1
2 m (standard)	-2
3 m (standard)	-3

Type 6052C

**Optional accessories**

- PiezoSmart extension cable
 - L = 1 m 1987B1
 - L = 2 m 1987B2
 - L = 10 m 1987B10
- Replacement connecting cables, PFA steel braiding
 - L = 1 m 1929A1
 - L = 2 m 1929A2
 - L = 3 m 1929A3
 - with PiezoSmart, L = 1 m 1985A1S311
 - with PiezoSmart, L = 2 m 1985A1S321
 - with PiezoSmart, L = 3 m 1985A1S331
- Replacement connecting cables, FPM oil-tight
 - L = 1 m 1983AA1
 - L = 2 m 1983AA2
 - L = 3 m 1983AA3
 - with PiezoSmart, L = 1 m 1985A1S711
 - with PiezoSmart, L = 2 m 1985A1S721
 - with PiezoSmart, L = 3 m 1985A1S731
- Adapter M4 neg. – KIAG 10-32 neg. 1700A13
- Dummy sensor 6445
- Exrac. tool for dummy sensor Type 6445 1319
- Mounting sleeve M7x0.25 (custom made) 6525ASP..
- Adapter for pressure generator Type 6904 6585A
- Step drill 1300A51
- Tap M5x0.5 1357A
- Mounting key SW 5.5 L = 220 1300A9
- Mounting key SW 5.5 L = 255 1300A9Q02
- Torque wrench 1 ... 6 N·m 1300A17
- Finishing tool for bore
 - bore depth ≤60 mm 1300A79
 - bore depth ≤170 mm 1300A79Q01
 - bore depth ≤220 mm 1300A79Q02
- Engine adapter
 - M8x0.75 6595
 - M10x1/SW12 6595A1
 - M10x1/SW10 6595A1Q01
 - M14x1.25 6585AQ01

Type/Art. No.**Ordering examples:**

Standard sensor with PiezoSmart and 2 m FPM cable (oil-proof):
Type 6052CS7-2

Standard sensor without PiezoSmart and 1 m PFA steel braid
cable: Type 6052C-3-1

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

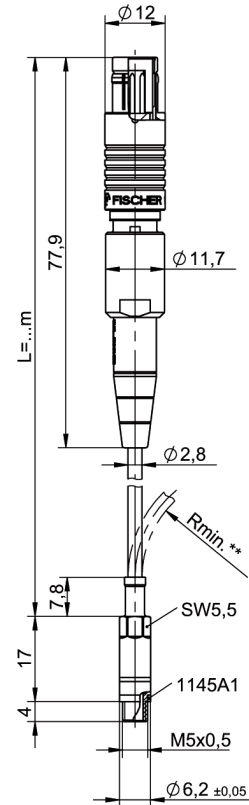
The piezoresistive pressure sensor Type 4007D...DS is a small, rugged high accuracy sensor capable of continuous high temperature operation up to 200 °C. Type 4007D...DS uses a fully active Wheatstone bridge to generate an electrical signal, which is proportional to the applied pressure. The resistors 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).

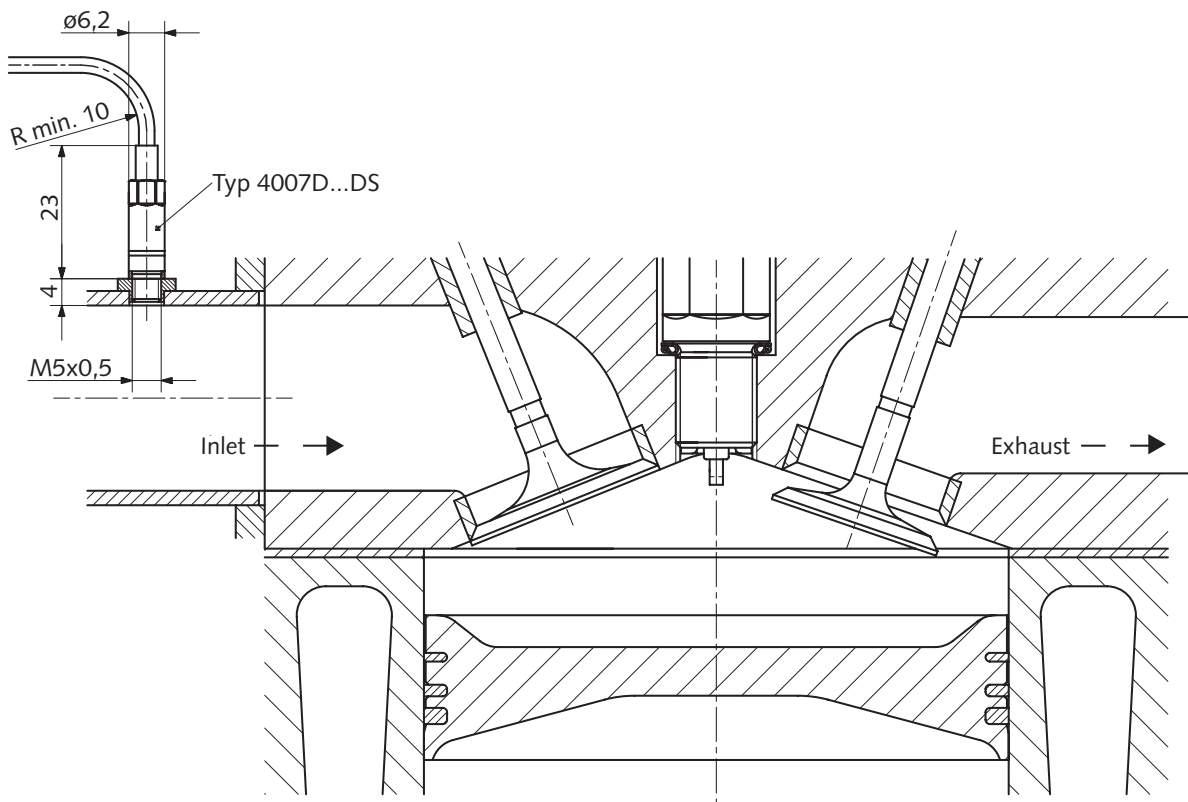
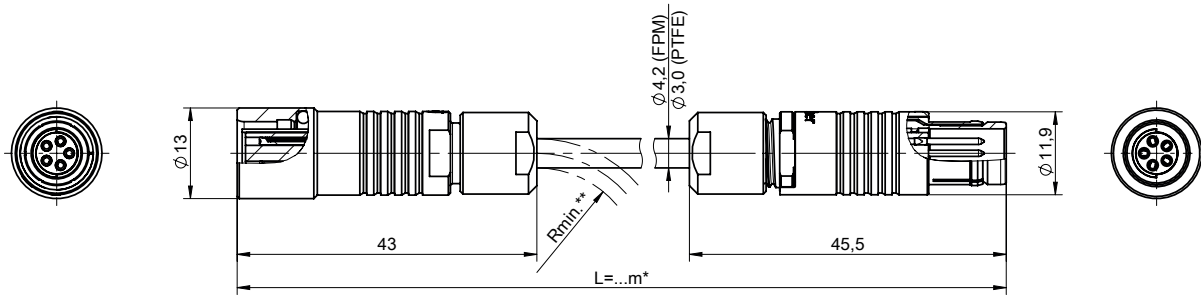


Fig. 1: Direct mounting of sensor Type 4007D...DS in the intake manifold

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

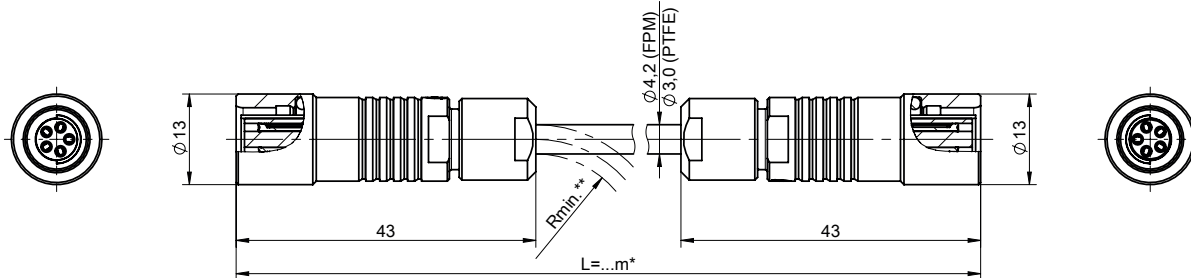


Fig. 3: Adapter cable Type 4785A_2

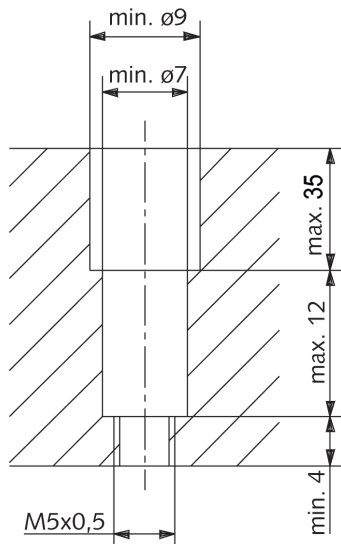


Fig. 4: Mounting bore for direct mounting

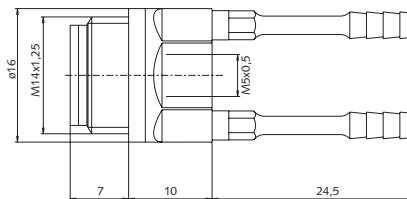


Fig. 5: Cooling adapter Type 7525A2

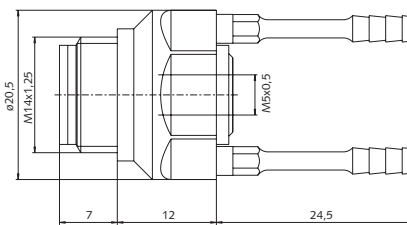


Fig. 6: Cooling adapter, damped Type 7525A6

4007D_003-300e-05_19

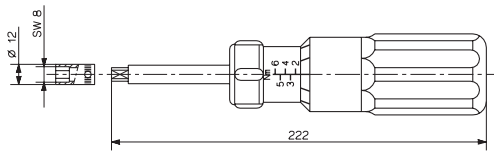


Fig. 7: Torque wrench 1 ... 6 N·m Type 1300A17

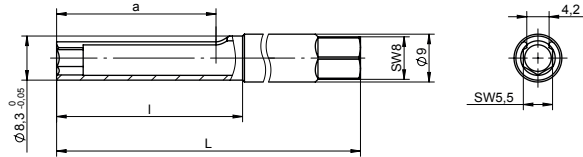


Fig. 8: Mounting tool Type 1300B12 (a 40, l 45, L 100)

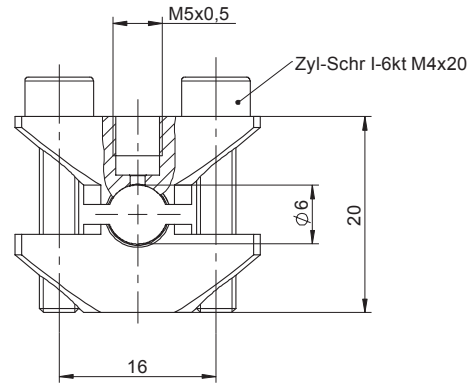


Fig. 9: Clamping adapter Type 6533 for various pipe-diameters

Included accessories

- Copper seal

Type/Art. No.

1145A1

Optional accessories

- Mounting tool
- Torque wrench 1 ... 6 N·m
- Fluoropolymer seal vibration damping, T_{max} 200 °C
- Screw tab M5x0.5
- SCP (Slim-) for 2 measuring modules
- SCP for 8 measuring modules
- Dummy sensor M5x0.5
- Adaptor M14x1.25 – M5x0.5
- Adaptor M12x1 – M5x0.5
- Cooling adaptor M14x1.25 – M5x0.5
- Cooling adaptor, damped M14x1.25 – M5x0.5
- Cooled switching adaptor
- Extension cable for sensor FPM (0 ... 180 °C)

Type/Art. No.

1300B12
1300A17
1145A2
1357A
2852...
2853...
7537A2
6596
6598
7525A2
7525A6
7533B14
4785A41-1,00
4785A41-2,00
4785A41-3,00
4785A41-5,00
4785A41-7,50
4785A41-10,0
4785A41-SP-...
4785A11-SP-...
4785A42...
4665B...
4624A...

Ordering key

Type 4007D DS -

Pressure range

0 ... 5 bar	005
0 ... 10 bar	010
0 ... 20 bar	020
0 ... 50 bar	050
0 ... 100 bar	100
0 ... 250 bar	250

Thread

Fine thread M5x0.5	F
--------------------	---

Sensor type

Digital compensation and PiezoSmart	DS
-------------------------------------	----

Cable type

PTFE cable	1
------------	---

Cable length

2 m	2,0
0.5 m*	0,5

* only for 5, 10 and 20 bar

Ordering example: Type 4007D250FDS1-2,0

- Version with measuring range 0 ... 250 bar, fine thread M5x0,5, with digital compensation and PiezoSmart, cable length 2 m. Compatible with Kistler amplifier Type 4665 and Type 4624.

4007D_003-300e-05_19

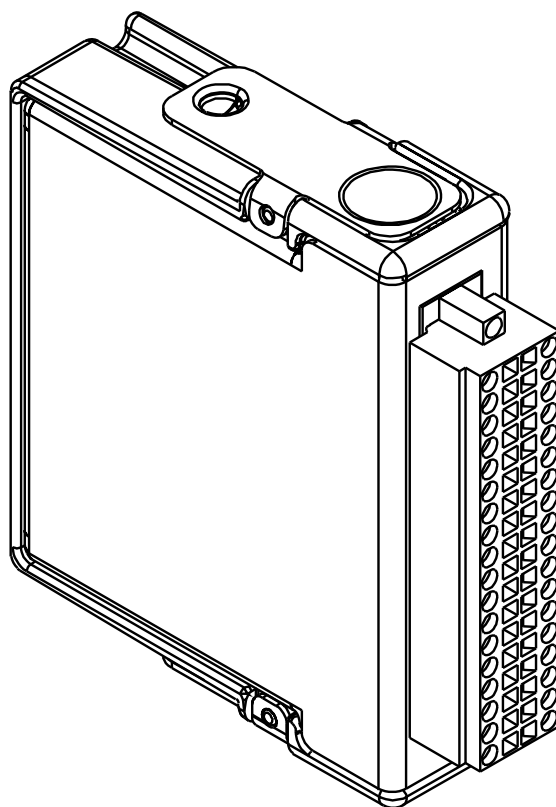
* We recommend to use the latest amplifier firmware (available at www.kistler.com).

Anexo B. Hoja de datos módulos NI-9213 y NI-9215

GETTING STARTED GUIDE

NI 9213

16 TC, ± 78 mV, 24 Bit, 75 S/s Aggregate



This document explains how to connect to the NI 9213.



Note Before you begin, complete the software and hardware installation procedures in your chassis documentation.



Note The guidelines in this document are specific to the NI 9213. The other components in the system might not meet the same safety ratings. Refer to the documentation for each component in the system to determine the safety and EMC ratings for the entire system.

Safety Guidelines

Operate the NI 9213 only as described in this document.



Caution Do not operate the NI 9213 in a manner not specified in this document. Product misuse can result in a hazard. You can compromise the safety protection built into the product if the product is damaged in any way. If the product is damaged, return it to NI for repair.



Hazardous Voltage This icon denotes a warning advising you to take precautions to avoid electrical shock.

Safety Voltages

Connect only voltages that are within the following limits:

Between any two terminals	± 30 V maximum
Isolation	
Channel-to-channel	None
Channel-to-earth ground	
Continuous	250 Vrms, Measurement Category II
Withstand	2,300 Vrms, verified by a 5 s dielectric withstand test

Measurement Category II is for measurements performed on circuits directly connected to the electrical distribution system. This category refers to local-level electrical distribution, such as that provided by a standard wall outlet, for example, 115 V for U.S. or 230 V for Europe.



Caution Do not connect the NI 9213 to signals or use for measurements within Measurement Categories III or IV.

Safety Guidelines for Hazardous Voltages

If hazardous voltages are connected to the device, take the following precautions. A hazardous voltage is a voltage greater than 42.4 Vpk voltage or 60 VDC to earth ground.



Caution Ensure that hazardous voltage wiring is performed only by qualified personnel adhering to local electrical standards.



Caution Do not mix hazardous voltage circuits and human-accessible circuits on the same module.



Caution Ensure that devices and circuits connected to the module are properly insulated from human contact.



Caution When module terminals are hazardous voltage LIVE (>42.4 Vpk/60 VDC), you must ensure that devices and circuits connected to the module are properly insulated from human contact. You must use the NI 9940 connector backshell kit to ensure that the terminals are not accessible.

Safety Guidelines for Hazardous Locations

The NI 9213 is suitable for use in Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4 hazardous locations; Class I, Zone 2, AEx nA IIC T4 and Ex nA IIC T4 hazardous locations; and nonhazardous locations only. Follow these guidelines if you are installing the NI 9213 in a potentially explosive environment. Not following these guidelines may result in serious injury or death.



Caution Do not disconnect I/O-side wires or connectors unless power has been switched off or the area is known to be nonhazardous.



Caution Do not remove modules unless power has been switched off or the area is known to be nonhazardous.



Caution Substitution of components may impair suitability for Class I, Division 2.



Caution For Division 2 and Zone 2 applications, install the system in an enclosure rated to at least IP54 as defined by IEC/EN 60079-15.




Caution For Division 2 and Zone 2 applications, connected signals must be within the following limits.

Capacitance

0.2 μ F maximum

Special Conditions for Hazardous Locations Use in Europe and Internationally

The NI 9213 has been evaluated as Ex nA IIC T4 Gc equipment under DEMKO Certificate No. 07 ATEX 0626664X and is IECEx UL 14.0089X certified. Each NI 9213 is marked  II 3G and is suitable for use in Zone 2 hazardous locations, in ambient temperatures of $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \leq T_a \leq 70\text{ }^{\circ}\text{C}$. If you are using the NI 9213 in Gas Group IIC hazardous locations, you must use the device in an NI chassis that has been evaluated as Ex nC IIC T4, Ex IIC T4, Ex nA IIC T4, or Ex nL IIC T4 equipment.



Caution You must make sure that transient disturbances do not exceed 140% of the rated voltage.



Caution The system shall only be used in an area of not more than Pollution Degree 2, as defined in IEC 60664-1.



Caution The system shall be mounted in an ATEX/IECEx-certified enclosure with a minimum ingress protection rating of at least IP54 as defined in IEC/EN 60079-15.



Caution The enclosure must have a door or cover accessible only by the use of a tool.

Electromagnetic Compatibility Guidelines

This product was tested and complies with the regulatory requirements and limits for electromagnetic compatibility (EMC) stated in the product specifications. These requirements and limits provide reasonable protection against harmful interference when the product is operated in the intended operational electromagnetic environment.

This product is intended for use in industrial locations. However, harmful interference may occur in some installations, when the product is connected to a peripheral device or test object, or if the product is used in residential or commercial areas. To minimize interference with radio and television reception and prevent unacceptable performance degradation, install and use this

product in strict accordance with the instructions in the product documentation.

Furthermore, any changes or modifications to the product not expressly approved by National Instruments could void your authority to operate it under your local regulatory rules.

Special Conditions for Marine Applications

Some products are Lloyd's Register (LR) Type Approved for marine (shipboard) applications. To verify Lloyd's Register certification for a product, visit ni.com/certification and search for the LR certificate, or look for the Lloyd's Register mark on the product.



Caution In order to meet the EMC requirements for marine applications, install the product in a shielded enclosure with shielded and/or filtered power and input/output ports. In addition, take precautions when designing, selecting, and installing measurement probes and cables to ensure that the desired EMC performance is attained.

Preparing the Environment

Ensure that the environment in which you are using the NI 9213 meets the following specifications.

Operating temperature (IEC 60068-2-1, IEC 60068-2-2)	-40 °C to 70 °C
Operating humidity (IEC 60068-2-78)	10% RH to 90% RH, noncondensing
Pollution Degree	2
Maximum altitude	2,000 m

Indoor use only.



Note Refer to the device datasheet on ni.com/manuals for complete specifications.

NI 9213 Pinout

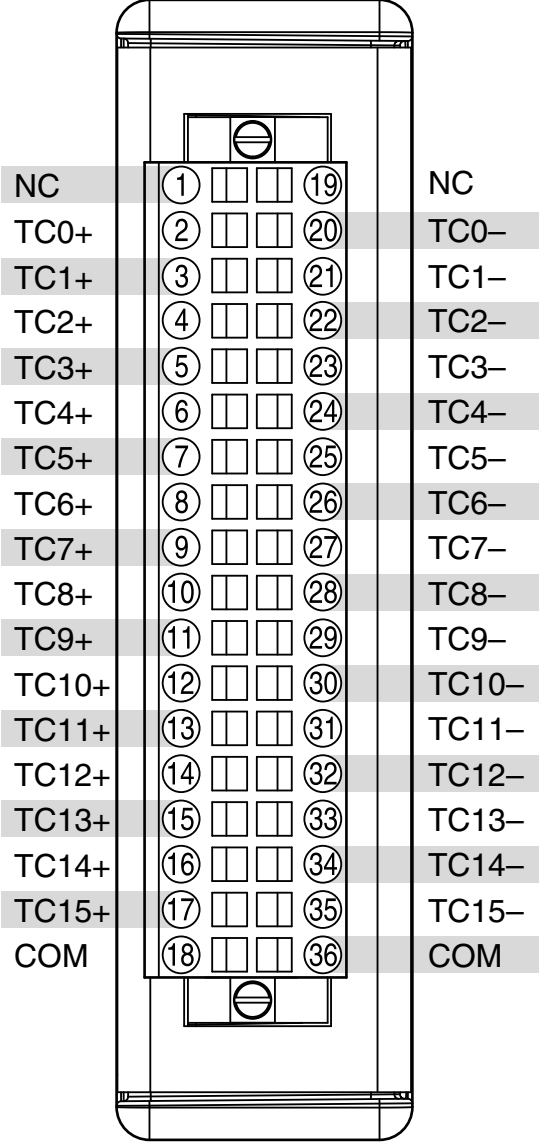


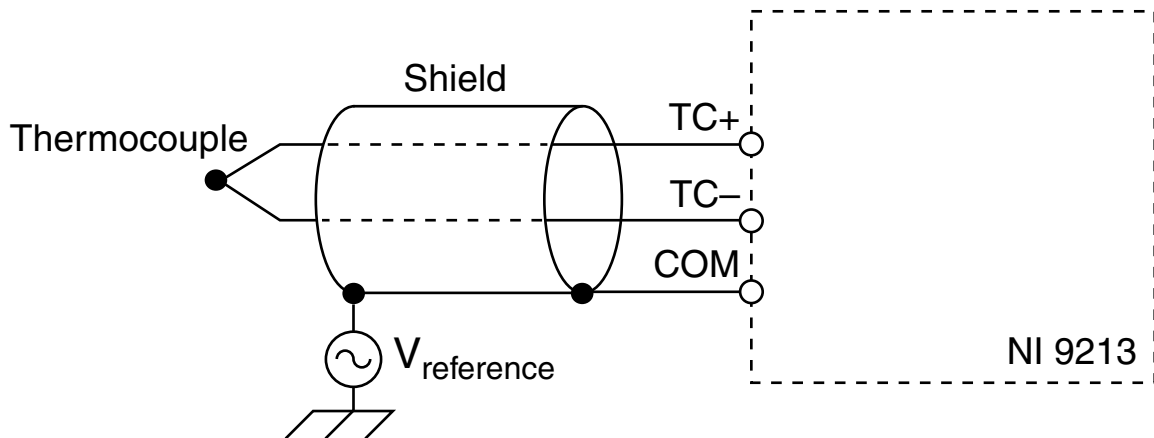
Table 1. Signal Descriptions

Signal	Description
COM	Common reference connection
NC	No connection
TC+	Positive thermocouple connection
TC-	Negative thermocouple connection

Connecting a Thermocouple

You can connect a shielded thermocouple to the NI 9213.

Figure 1. Connecting a Thermocouple to the NI 9213



Connect the shield to a common-mode voltage reference on the thermocouple. A valid common-mode voltage reference is a voltage that is within ± 1.2 V of the common-mode voltage of the thermocouple

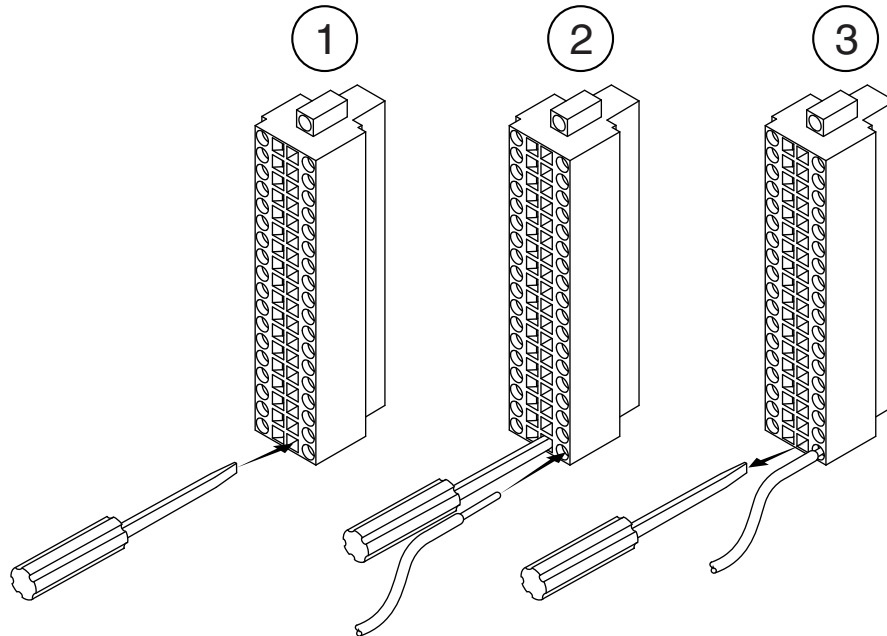
Connecting Wires to a Spring-Terminal Connector

What to Use

- NI 9213 spring-terminal connector
- 0.8 mm² to 1.0 mm² (28 AWG to 18 AWG) copper conductor wire with 7 mm (0.276 in.) of insulation stripped from the end
- Flathead screwdriver with a 2.3 mm x 1.0 mm (0.09 in. x 0.04 in.) blade, included with the NI 9213

What to Do

Complete the following steps to connect wires to the spring-terminal connector.



1. Insert the screwdriver into a spring clamp activation slot to open the corresponding connector terminal.
2. Press a wire into the open connector terminal.
3. Remove the screwdriver from the activation slot to clamp the wire into place.

High-Vibration Application Connections

If your application is subject to high vibration, NI recommends that you use the NI 9940 backshell kit to protect connections to the NI 9213.

Minimizing Thermal Gradients

Changes in the ambient air temperature near the front connector or a thermocouple wire conducting heat directly to terminal junctions can cause thermal gradients. Observe the following guidelines to minimize thermal gradients and improve the system accuracy.

- Use small-gauge thermocouple wire. Smaller wire transfers less heat to or from the terminal junction.
- Run thermocouple wiring together near the spring-terminal connector to keep the wires at the same temperature.
- Avoid running thermocouple wires near hot or cold objects.
- Minimize adjacent heat sources and air flow across the terminals.
- Keep the ambient temperature as stable as possible.

- Make sure the NI 9213 terminals are facing forward or upward.
- Keep the NI 9213 in a stable and consistent orientation.
- Allow the thermal gradients to settle after a change in system power or in ambient temperature. A change in system power can happen when the system powers on, the system comes out of sleep mode, or you insert/remove modules.
- If you connect any extension wires to thermocouple wires, use wires made of the same conductive material as the thermocouple wires.
- Use the NI 9940 backshell kit.

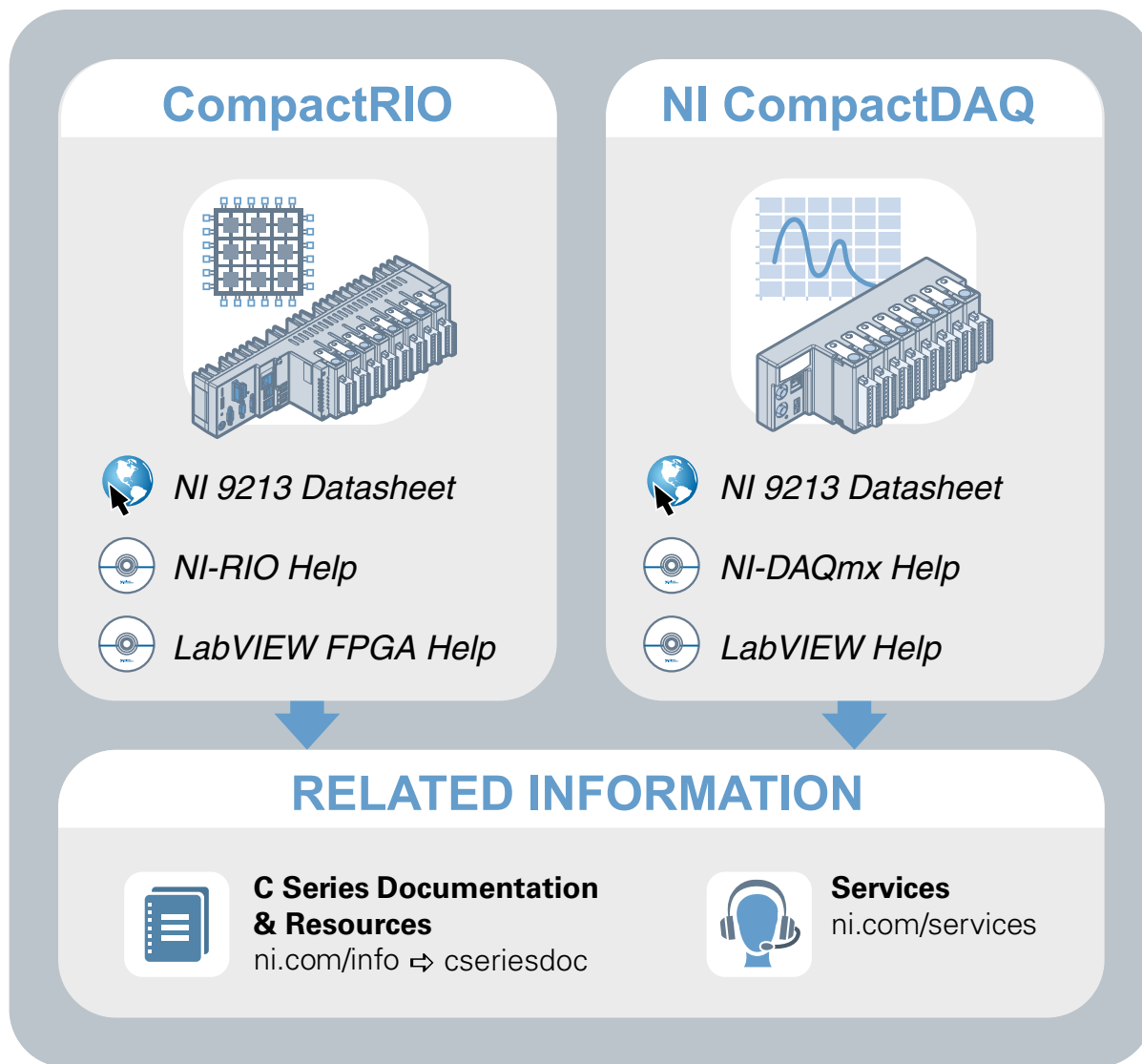
Overvoltage Protection


The NI 9213 provides overvoltage protection between any two inputs.



Note Refer to the device datasheet on ni.com/manuals for more information about overvoltage protection.

Where to Go Next



 Located at ni.com/manuals

 Installs with the software

Worldwide Support and Services

The NI website is your complete resource for technical support. At ni.com/support, you have access to everything from troubleshooting and application development self-help resources to email and phone assistance from NI Application Engineers.

Visit ni.com/services for NI Factory Installation Services, repairs, extended warranty, and other services.

Visit ni.com/register to register your NI product. Product registration facilitates technical support and ensures that you receive important information updates from NI.

A Declaration of Conformity (DoC) is our claim of compliance with the Council of the European Communities using the manufacturer's declaration of conformity. This system affords the user protection for electromagnetic compatibility (EMC) and product safety. You can obtain the DoC for your product by visiting ni.com/certification. If your product supports calibration, you can obtain the calibration certificate for your product at ni.com/calibration.

NI corporate headquarters is located at 11500 North Mopac Expressway, Austin, Texas, 78759-3504. NI also has offices located around the world. For telephone support in the United States, create your service request at ni.com/support or dial 1 866 ASK MYNI (275 6964). For telephone support outside the United States, visit the *Worldwide Offices* section of ni.com/niglobal to access the branch office websites, which provide up-to-date contact information, support phone numbers, email addresses, and current events.

Refer to the *NI Trademarks and Logo Guidelines* at ni.com/trademarks for information on NI trademarks. Other product and company names mentioned herein are trademarks or trade names of their respective companies. For patents covering NI products/technology, refer to the appropriate location: **Help»Patents** in your software, the `patents.txt` file on your media, or the *National Instruments Patent Notice* at ni.com/patents. You can find information about end-user license agreements (EULAs) and third-party legal notices in the readme file for your NI product. Refer to the *Export Compliance Information* at ni.com/legal/export-compliance for the NI global trade compliance policy and how to obtain relevant HTS codes, ECCNs, and other import/export data. NI MAKES NO EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES AS TO THE ACCURACY OF THE INFORMATION CONTAINED HEREIN AND SHALL NOT BE LIABLE FOR ANY ERRORS. U.S. Government Customers: The data contained in this manual was developed at private expense and is subject to the applicable limited rights and restricted data rights as set forth in FAR 52.227-14, DFAR 252.227-7014, and DFAR 252.227-7015.

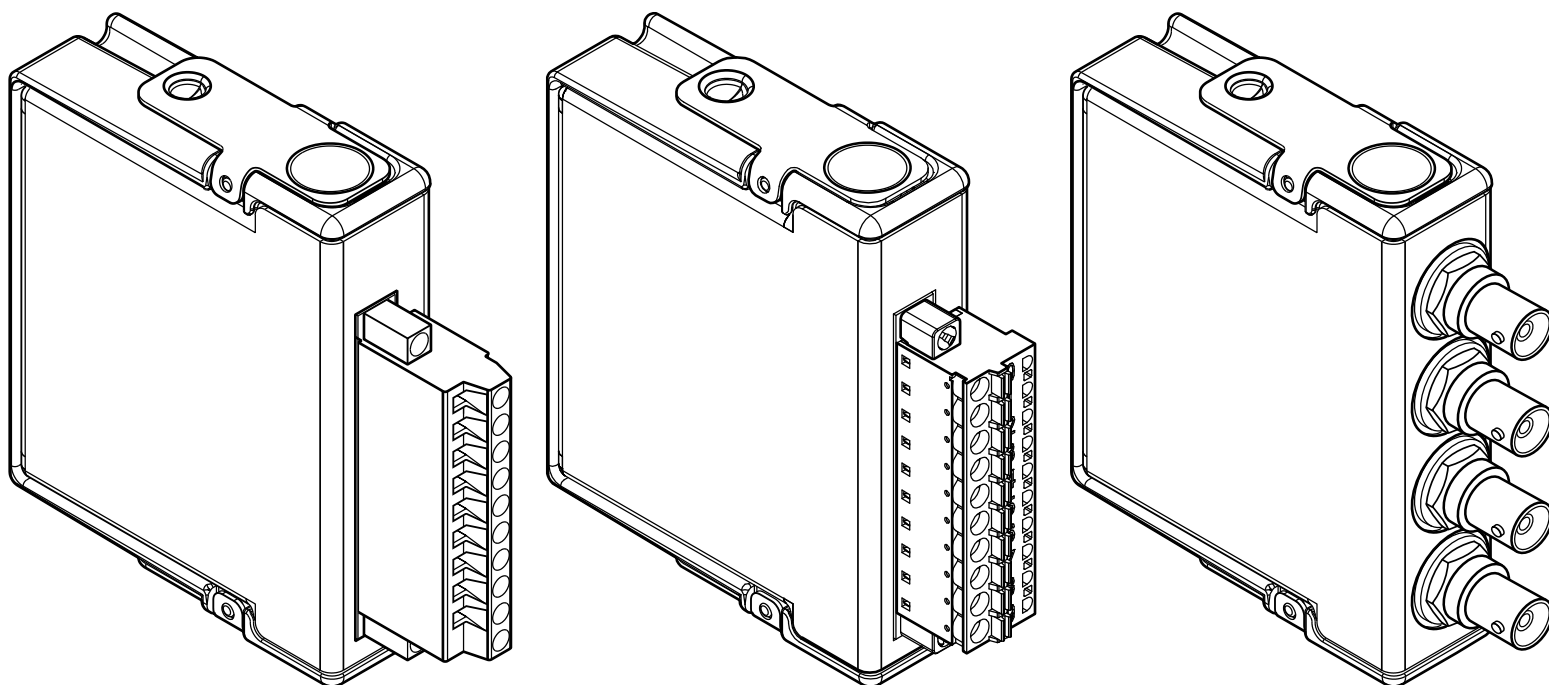
© 2009—2016 National Instruments. All rights reserved.

374916C-01 Jan16

GETTING STARTED GUIDE

NI 9215

± 10 V, 100 kS/s/ch, 16-Bit, Simultaneous Input,
4-Channel C Series Voltage Input Module



This document explains how to connect to the NI 9215. In this document, the NI 9215 with screw terminal, NI 9215 with spring terminal, and NI 9215 with BNC are referred to inclusively as the NI 9215.



Note Before you begin, complete the software and hardware installation procedures in your chassis documentation.



Note The guidelines in this document are specific to the NI 9215. The other components in the system might not meet the same safety ratings. Refer to the documentation for each component in the system to determine the safety and EMC ratings for the entire system.

Safety Guidelines

Operate the NI 9215 only as described in this document.



Caution Do not operate the NI 9215 in a manner not specified in this document. Product misuse can result in a hazard. You can compromise the safety protection built into the product if the product is damaged in any

way. If the product is damaged, return it to NI for repair.

NI 9215 with Screw Terminal and NI 9215 with Spring Terminal Safety Voltages

Connect only voltages that are within the following limits.

Channel-to-COM	± 30 V maximum
Isolation	
Channel-to-channel	None
Channel-to-earth ground	
Continuous	250 Vrms, Measurement Category II
Withstand	2,300 Vrms, verified by a 5 s dielectric withstand test

Measurement Category II is for measurements performed on circuits directly connected to the electrical distribution system. This category refers to local-level electrical distribution, such as that provided by a standard wall outlet, for example, 115 V for U.S. or 230 V for Europe.



Caution Do not connect the NI 9215 to signals or use for measurements within Measurement Categories III or IV.

NI 9215 with BNC Safety Voltages

Connect only voltages that are within the following limits.

AI+-to-AI-	±30 V maximum
Isolation	
Channel-to-channel	None
Channel-to-earth ground	
Continuous	60 VDC, Measurement Category I
Withstand	1,500 Vrms, verified by a 5 s dielectric withstand test

Measurement Category I is for measurements performed on circuits not directly connected to the electrical distribution system referred to as *MAINS* voltage. *MAINS* is a hazardous live electrical supply system that powers equipment. This category is for measurements of voltages from specially protected secondary circuits. Such voltage measurements include signal levels, special

equipment, limited-energy parts of equipment, circuits powered by regulated low-voltage sources, and electronics.



Note Measurement Categories CAT I and CAT O are equivalent. These test and measurement circuits are not intended for direct connection to the MAINS building installations of Measurement Categories CAT II, CAT III, or CAT IV.



Caution Do not connect the NI 9215 to signals or use for measurements within Measurement Categories II, III, or IV.

Safety Guidelines for Hazardous Voltages

You can connect hazardous voltages only to the NI 9215 with screw terminal and the NI 9215 with spring terminal. Do not connect hazardous voltages to the NI 9215 with BNC.

If hazardous voltages are connected to the device, take the following precautions. A hazardous voltage is a voltage greater than $42.4 V_{pk}$ voltage or 60 V DC to earth ground.



Caution Ensure that hazardous voltage wiring is performed only by qualified personnel adhering to local electrical standards.



Caution Do not mix hazardous voltage circuits and human-accessible circuits on the same module.



Caution Ensure that devices and circuits connected to the module are properly insulated from human contact.



Caution When module terminals are hazardous voltage LIVE ($>42.4 V_{pk}/60 V DC$), you must ensure that devices and circuits connected to the module are properly insulated from human contact. You must use the NI 9927 connector backshell kit with the NI 9215 with screw terminal and the NI 9981 connector backshell kit with the NI 9215 with spring terminal to ensure that the terminals are not accessible.

Safety Guidelines for Hazardous Locations

The NI 9215 is suitable for use in Class I, Division 2, Groups A, B, C, D, T4 hazardous locations; Class I, Zone 2, AEx nA IIC T4 and Ex nA IIC T4 hazardous locations; and nonhazardous locations only. Follow these guidelines if you are installing the NI 9215 in a potentially explosive environment. Not following these guidelines may result in serious injury or death.



Caution Do not disconnect I/O-side wires or connectors unless power has been switched off or the area is known to be nonhazardous.



Caution Do not remove modules unless power has been switched off or the area is known to be nonhazardous.



Caution Substitution of components may impair suitability for Class I, Division 2.



Caution For Division 2 and Zone 2 applications, install the system in an enclosure rated to at least IP54 as defined by IEC/EN 60079-15.




Caution For Division 2 and Zone 2 applications, connected signals must be within the following limits.

Capacitance

0.2 μ F maximum

Special Conditions for Hazardous Locations Use in Europe and Internationally

The NI 9215 has been evaluated as Ex nA IIC T4 Gc equipment under DEMKO 03 ATEX 0324020X and is IECEx UL 14.0089X certified. Each NI 9215 is marked  II 3G and is suitable for use

in Zone 2 hazardous locations, in ambient temperatures of $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \leq T_a \leq 70\text{ }^{\circ}\text{C}$. If you are using the NI 9215 in Gas Group IIC hazardous locations, you must use the device in an NI chassis that has been evaluated as Ex nC IIC T4, Ex IIC T4, Ex nA IIC T4, or Ex nL IIC T4 equipment.



Caution You must make sure that transient disturbances do not exceed 140% of the rated voltage.



Caution The system shall only be used in an area of not more than Pollution Degree 2, as defined in IEC 60664-1.



Caution The system shall be mounted in an ATEX/IECEx-certified enclosure with a minimum ingress protection rating of at least IP54 as defined in IEC/EN 60079-15.



Caution The enclosure must have a door or cover accessible only by the use of a tool.

Safety Compliance and Hazardous Locations Standards

This product is designed to meet the requirements of the following electrical equipment safety standards for measurement, control, and laboratory use:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 61010-1, CSA C22.2 No. 61010-1
- EN 60079-0, EN 60079-15
- IEC 60079-0: Ed 6, IEC 60079-15; Ed 4
- UL 60079-0; Ed 6, UL 60079-15; Ed 4
- CSA C22.2 No. 60079-0, CSA C22.2 No. 60079-15



Note For UL and other safety certifications, refer to the product label or the *Product Certifications and Declarations* section.

CE Compliance

This product meets the essential requirements of applicable European Directives, as follows:

- 2014/35/EU; Low-Voltage Directive (safety)
- 2014/30/EU; Electromagnetic Compatibility Directive (EMC)
- 2014/34/EU; Potentially Explosive Atmospheres (ATEX)

Electromagnetic Compatibility Guidelines

This product was tested and complies with the regulatory requirements and limits for electromagnetic compatibility (EMC) stated in the product specifications. These requirements and limits provide reasonable protection against harmful interference when the product is operated in the intended operational electromagnetic environment.

This product is intended for use in industrial locations. However, harmful interference may occur in some installations, when the product is connected to a peripheral device or test object, or if the product is used in residential or commercial areas. To minimize

interference with radio and television reception and prevent unacceptable performance degradation, install and use this product in strict accordance with the instructions in the product documentation.

Furthermore, any changes or modifications to the product not expressly approved by National Instruments could void your authority to operate it under your local regulatory rules.



Caution To ensure the specified EMC performance, operate this product only with shielded cables and accessories.



Caution Electrostatic Discharge (ESD) can damage the NI 9215. To prevent damage, use industry-standard ESD prevention measures during installation, maintenance, and operation.

Special Conditions for Marine Applications

Some models are approved for marine (shipboard) applications. To verify marine approval certification for a model, visit ni.com/product-certifications, search by model number, and click the appropriate link.



Notice In order to meet the EMC requirements for marine applications, install the model in a shielded enclosure with shielded and/or filtered power and input/output ports. In addition, take precautions when designing, selecting, and installing measurement probes and cables to ensure that the desired EMC performance is attained.

Physical Characteristics

If you need to clean the module, wipe it with a dry towel.



Tip For two-dimensional drawings and three-dimensional models of the C Series module and connectors, visit ni.com/dimensions and search by module number.

Screw-terminal wiring

Gauge	0.2 mm ² to 2.5 mm ² (26 AWG to 14 AWG) copper conductor wire
Wire strip length	13 mm (0.51 in.)

Temperature rating	90 °C minimum
Torque for screw terminals	0.5 N · m to 0.6 N · m (4.4 lb · in. to 5.3 lb · in.)
Wires per screw terminal	One wire per screw terminal; two wires per screw terminal using a 2-wire ferrule
Ferrules	0.25 mm ² to 2.5 mm ² (26 AWG to 14 AWG)
Spring-terminal wiring	
Gauge	0.2 mm ² to 2.5 mm ² (26 AWG to 14 AWG) copper conductor wire
Wire strip length	10 mm (0.39 in.)
Temperature rating	90 °C minimum
Wires per spring terminal	One wire per spring terminal; two wires per spring terminal using a 2-wire ferrule
Ferrules	0.25 mm ² to 2.5 mm ² (26 AWG to 14 AWG)

Connector securement

Securement type	Screw flanges provided
Torque for screw flanges	0.2 N · m (1.80 lb · in.)

Weight

NI 9215 with screw terminal	150 g (5.3 oz)
NI 9215 with spring terminal	138 g (4.9 oz)
NI 9215 with BNC	173 g (6.1 oz)

Preparing the Environment

Ensure that the environment in which you are using the NI 9215 meets the following specifications.

Operating temperature (IEC 60068-2-1, IEC 60068-2-2)	-40 °C to 70 °C
Operating humidity (IEC 60068-2-78)	10% RH to 90% RH, noncondensing
Pollution Degree	2
Maximum altitude	2,000 m

Indoor use only.



Note Refer to the device datasheet on ni.com/manuals for complete specifications.

NI 9215 Pinout

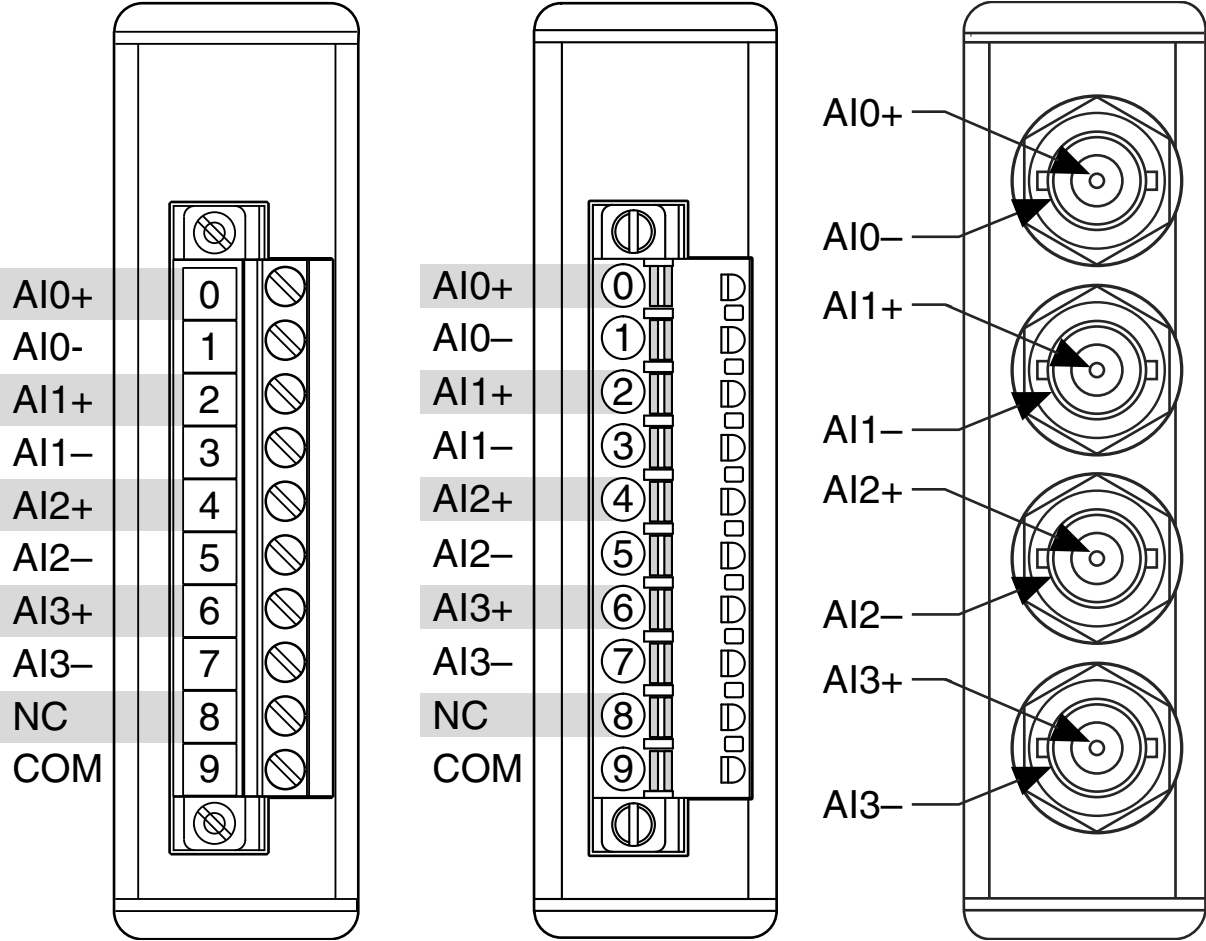
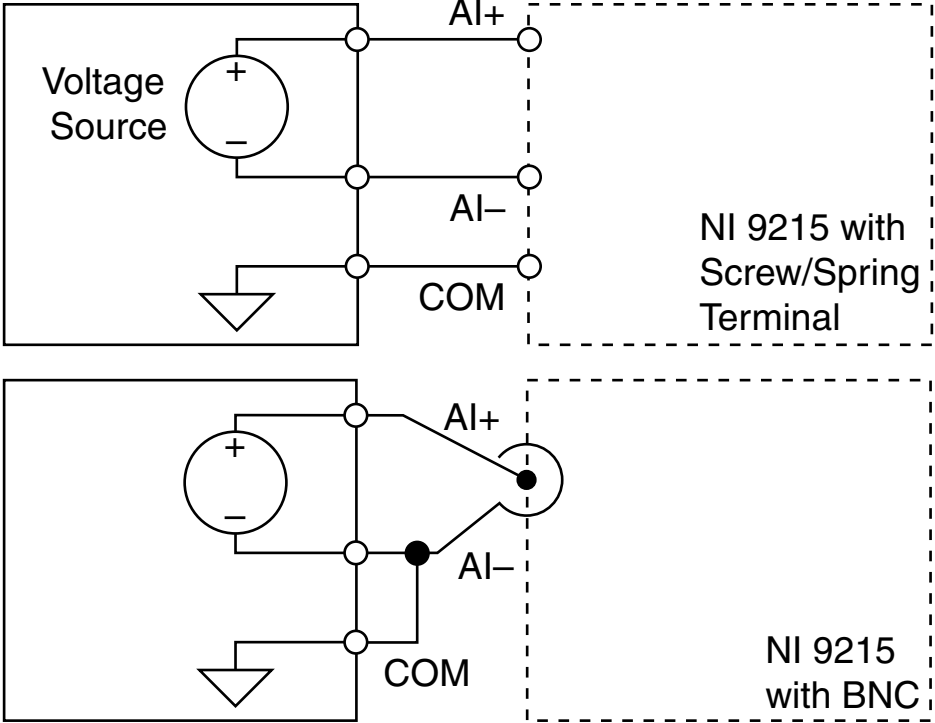


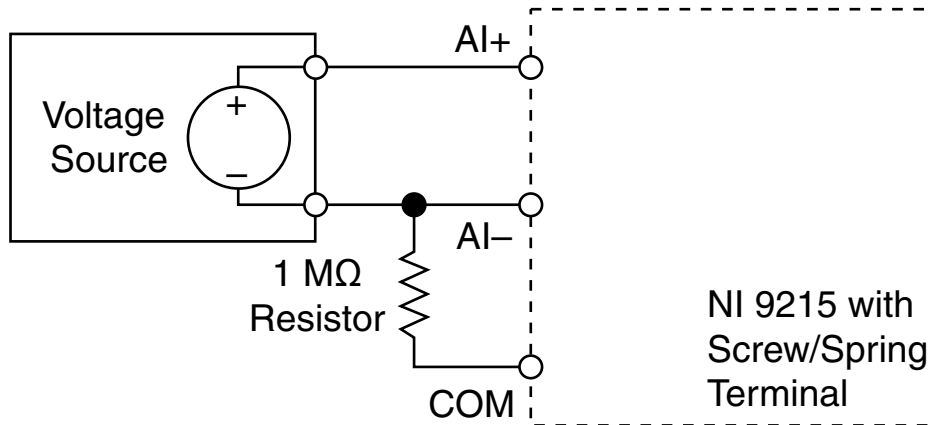
Table 1. Signal Descriptions

Signal	Description
AI+	Positive analog input signal connection
AI-	Negative analog input signal connection
COM	Common reference connection to isolated ground
NC	No connection

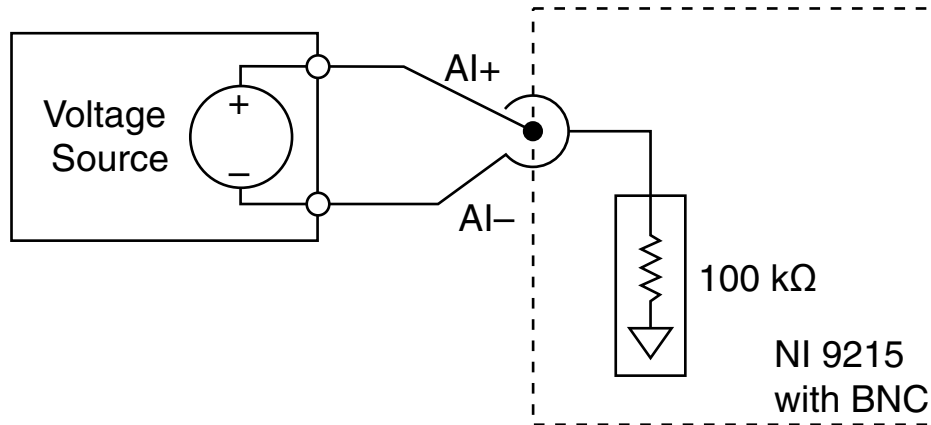
Grounded Differential Connections



Floating Differential Connections

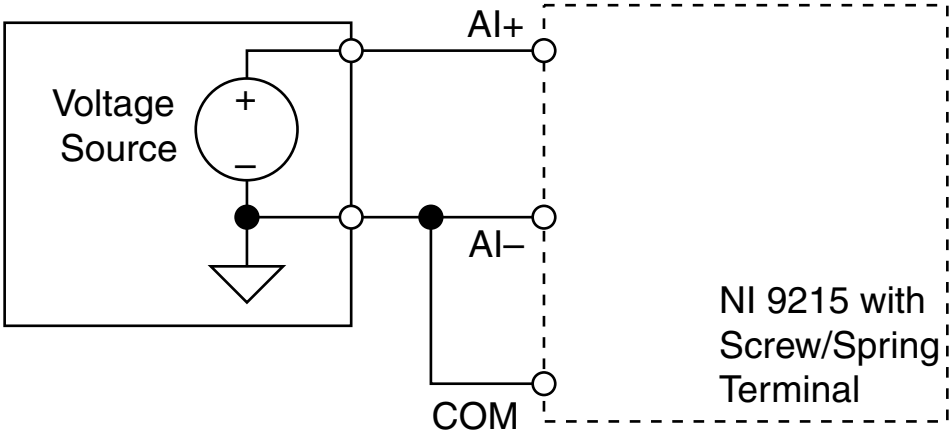


- Connect the negative lead to COM through a 1 MΩ resistor to keep the signal source within the common-mode voltage range.
- The NI 9215 with screw terminal and the NI 9215 with spring terminal does not read data accurately if the signal source is outside of the common-mode voltage range.

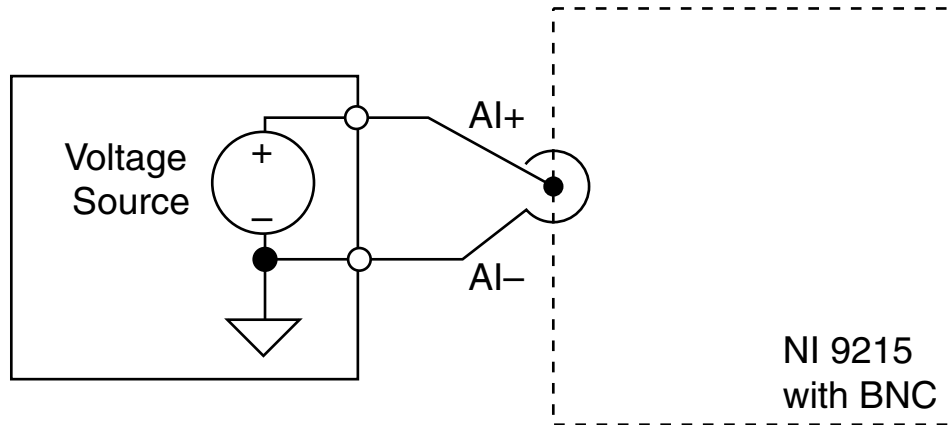


The NI 9215 with BNC has internal circuitry that maintains the common mode voltage range.

Single-Ended Connections



Connect the ground signal to COM to keep the signal source within the common-mode voltage range.



The NI 9215 with BNC has internal circuitry that maintains the common mode voltage range.

Connection Guidelines

- Make sure that devices you connect to the NI 9215 are compatible with the module specifications.
- You must use 2-wire ferrules to create a secure connection when connecting more than one wire to a single terminal on the NI 9215 with screw terminal or NI 9215 with spring terminal.

High-Vibration Application Connections

If your application is subject to high vibration, NI recommends that you follow these guidelines to protect connections to the NI 9215 with screw terminal or the NI 9215 with spring terminal:

- Use ferrules to terminate wires to the detachable connector.
- Use the NI 9927 backshell kit with the NI 9215 with screw terminal or the NI 9981 backshell kit with the NI 9215 with spring terminal.

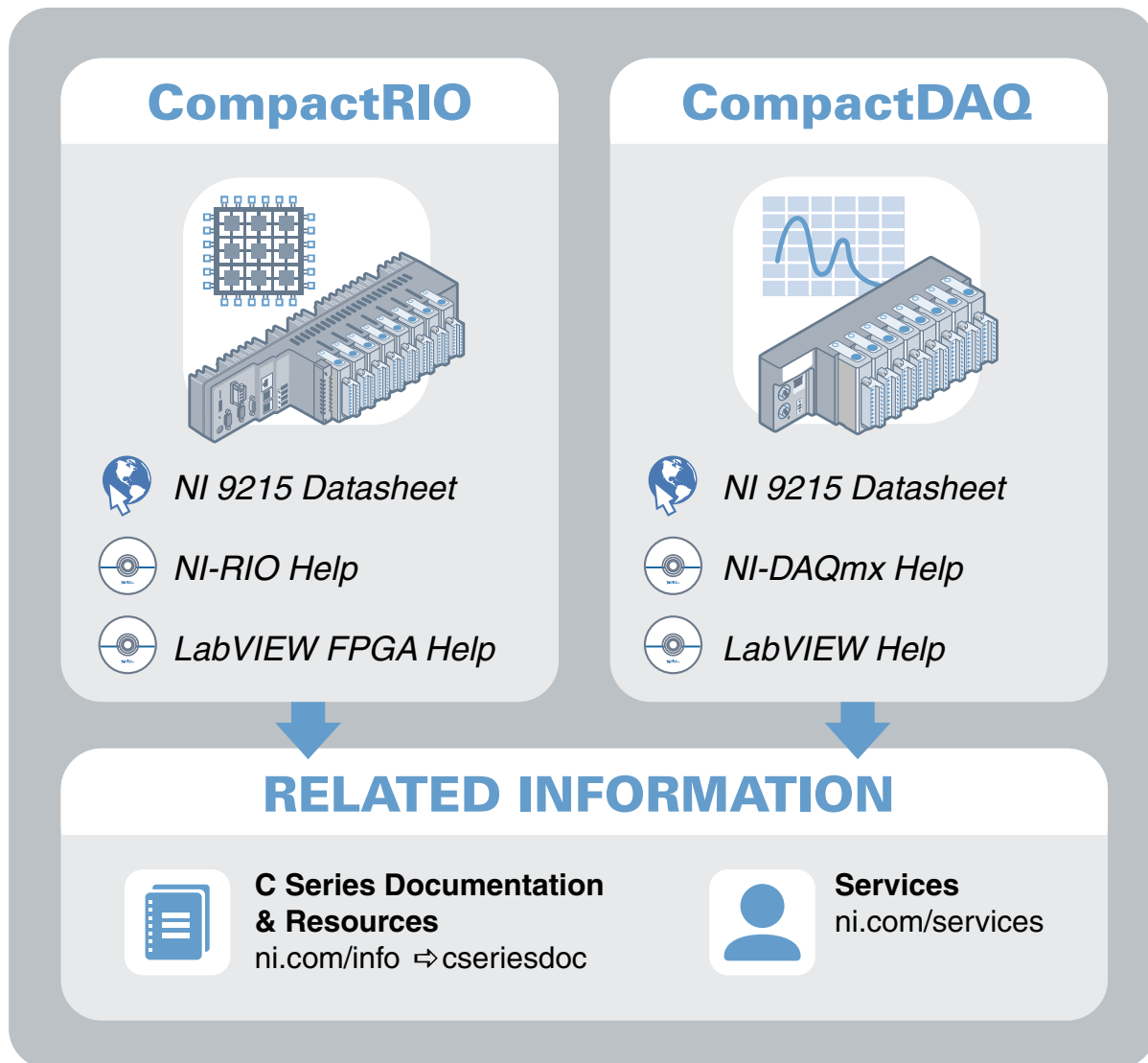
Overvoltage Protection

The NI 9215 provides overvoltage protection for each channel.



Note Refer to the device datasheet on ni.com/manuals for more information about overvoltage protection.

Where to Go Next



Located at *ni.com/manuals*

Installs with the software

Product Certifications and Declarations

Refer to the product Declaration of Conformity (DoC) for additional regulatory compliance information. To obtain product certifications and the DoC for NI products, visit ni.com/product-certifications, search by model number, and click the appropriate link.

Worldwide Support and Services

The NI website is your complete resource for technical support. At ni.com/support, you have access to everything from troubleshooting and application development self-help resources to email and phone assistance from NI Application Engineers.

Visit ni.com/services for information about the services NI offers.

Visit ni.com/register to register your NI product. Product registration facilitates technical support and ensures that you receive important information updates from NI.

NI corporate headquarters is located at 11500 North Mopac Expressway, Austin, Texas, 78759-3504. NI

also has offices located around the world. For support in the United States, create your service request at ni.com/support or dial 1 866 ASK MYNI (275 6964). For support outside the United States, visit the *Worldwide Offices* section of ni.com/niglobal to access the branch office websites, which provide up-to-date contact information.

Information is subject to change without notice. Refer to the *NI Trademarks and Logo Guidelines* at ni.com/trademarks for information on NI trademarks. Other product and company names mentioned herein are trademarks or trade names of their respective companies. For patents covering NI products/technology, refer to the appropriate location: **Help»Patents** in your software, the `patents.txt` file on your media, or the *National Instruments Patent Notice* at ni.com/patents. You can find information about end-user license agreements (EULAs) and third-party legal notices in the readme file for your NI product. Refer to the *Export Compliance Information* at ni.com/legal/export-compliance for the NI global trade compliance policy and how to obtain relevant HTS codes, ECCNs, and other import/export data. NI MAKES NO EXPRESS OR IMPLIED WARRANTIES AS TO THE ACCURACY OF THE INFORMATION CONTAINED HEREIN AND SHALL NOT BE LIABLE FOR ANY ERRORS. U.S. Government Customers: The data contained in this manual was developed at private expense and is subject to the applicable limited rights and restricted data rights as set forth in FAR 52.227-14, DFAR 252.227-7014, and DFAR 252.227-7015.

© 2004—2019 National Instruments. All rights reserved.

373779H-01 June 9, 2019

Anexo C. Crank Angle Encoder Set Type 2614CK1

Crank Angle Encoder Set

Type 2614CK1

Precise Angle Signals from 0 ... 12 000 1/min

The Crank Angle Encoder Set, Type 2614CK1, provides the reference for all measurements related to the crank angle. It is typically used for combustion analysis applications on engines.

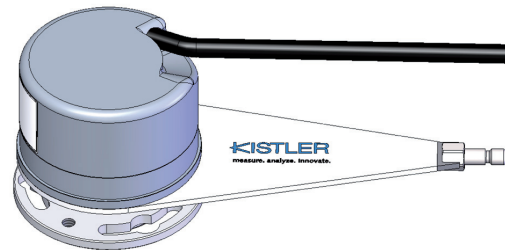
- Speed range 0 ... 12 000 1/min
- Auto adjustment of encoder and electronics
- Suitable for start measurements
- Very robust to withstand high mechanical loading

Description Type 2614CK1

The Crank Angle Encoder Set consists of an angle encoder and a separate electronics module which can be used on a variety of engines in combination with all data acquisition systems with LVDS or TTL signal input. The fact that the encoder functions from standstill enables it to be used to conduct engine start measurements. Such applications include accurate measurements during the starting of test vehicles and in a low temperature test chamber. The optical sensor provides a resolution of 720x0,5°. The set can be directly connected to the Kistler KiBox® or other indicating systems using LVDS. Alternatively, indicating systems with TTL input can be connected with a matching cable which is available in our range of optional accessories. In contrast to other methods, optical crank angle encoders provide maximum accuracy over a wide speed range and the highest level of interference immunity.

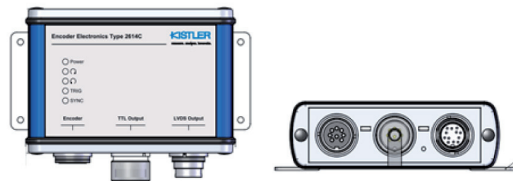
Applications

Combustion analysis data is generally represented on the basis of degrees [°] of crank angle. The crank angle encoder provides an angular and a TDC relationship, necessary for the calculation of any crank angle based result related to a combustion cycle (e.g. indicated mean effective pressures or maximum pressures). Its application is universal.



Technical Data Crank Angle Encoder Type 2614C11

Crank angle signal	°	720x0,5
Speed range	1/min	0 ... 12 000
Temperature rang	° C	-40 ... 85
Mechanical Interface/Mounting diameter (mounting compatibility to Type 2614B1)	mm	60
Electrical connection		cable with plug l = 2 m
Weight	g	340



Technical Data of Encoder Electronics Type 2614C21

Control & Indication LED's	-	Power
	-	Rotation cw ¹ /ccw ²
	-	Trigger
	-	Synchronization
Output signal to Indicating System	-	LVDS-Signal
	-	TTL-Signal
Power supply	VDC	5 ... 30
Temperature range	°C	-30 ... 70
Dimensions	mm	108x74x36
Weight	g	290

¹ clockwise
² counter clockwise

2614CK_003-049e-01.14



Angle Encoder Set Type 2614CK1

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.

©2013 ... 2014, Kistler Group, Eulachstrasse 22, 8408 Winterthur, Switzerland
Tel. +41 52 224 11 11, Fax +41 52 224 14 14, info@kistler.com, www.kistler.com
Kistler is a registered trademark of Kistler Holding AG.

Mounting/Mechanical Adaption of Encoder

The angle encoder must be mounted directly on the free end of the crankshaft, sufficiently rigidly to prevent slipping under torsion. This is achieved by providing the extension with a matching flange with three holes (Fig. 1). To avoid vibration

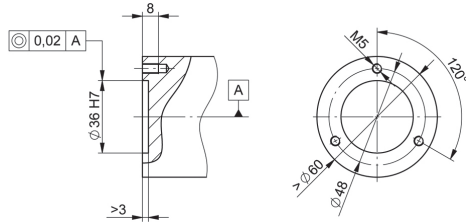


Fig. 1: Mounting flange for installing Crank Angle Encoder Type 2614C11

the encoder must also be centered very accurately. It can be mounted at any position. Its case must then be attached to a rigid part of the engine with an arm and a rod.

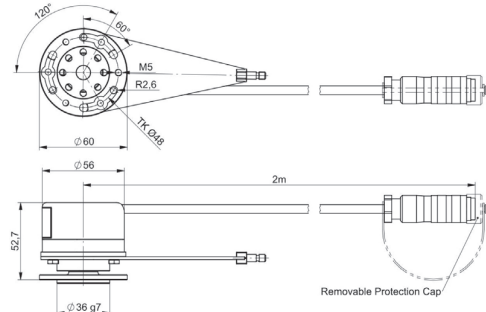


Fig. 2: Dimensions of Crank Angle Encoder Type 2614C11

Installation of Crank Angle Encoder Set 2614CK1

System-Setup with LVDS-Output

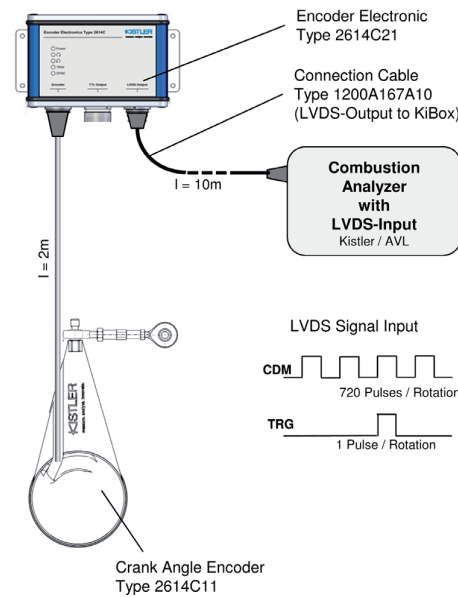


Fig. 3: Crank Angle Encoder Set Type 2614CK1

System-Setup with TTL-Output

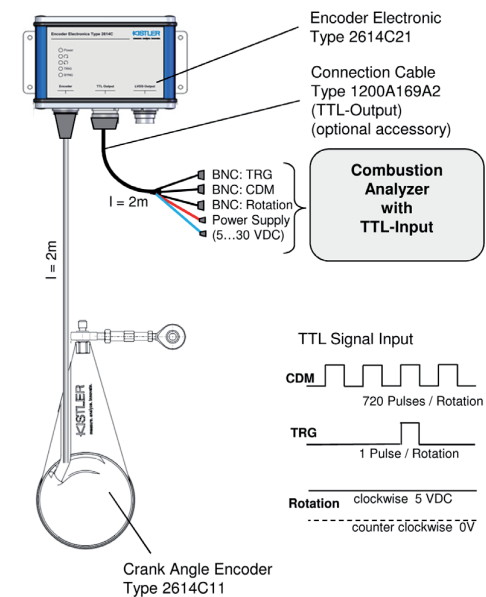


Fig. 4: Crank Angle Encoder Set Type 2614CK1 with optional accessory cable Type 1200A169A2

Included Accessories

- Crank Angle Encoder **Type** 2614C11
- Encoder Electronic **Type** 2614C21
- LVDS Connecting cable (L = 10 m) **Type** 1200A167A10

Optional Accessories

- TTL Connecting cable (L = 2 m) **Type/Art. No.** 1200A169A2
- BNC Extension cable (L = 5 m) 1603B5
- BNC Extension cable (L = 10 m) 1603B10
- Adapter flange for Type 2613B 3.710.168

Ordering Code

- Crank Angle Encoder Set **Type** 2614CK1

2614CK_003-049e-01.14

Anexo D. Instruction Manual for Ethernet Settings for SCP/SCP Slim Type
2852B.../2853B...

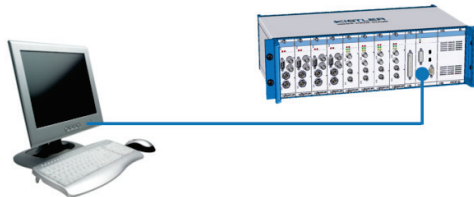
Appendix to SCP Instruction manual

Instruction Manual for Ethernet Settings for SCP/SCP Slim Type 2852B... / 2853B...

Table of Content

Description of the NetConf Tool.....	2
Accessing it via SCP Software	2
Accessing directly via SCP NetConf program.....	2
Configuration of Ethernet Connection for SCP/SCP Slim	3
Direct Connection to PC/Notebook (Case A)	3
Direct Connection to an existing network (Case B).....	6
Access a SCP/SCP Slim in another subnet (Case C)	7

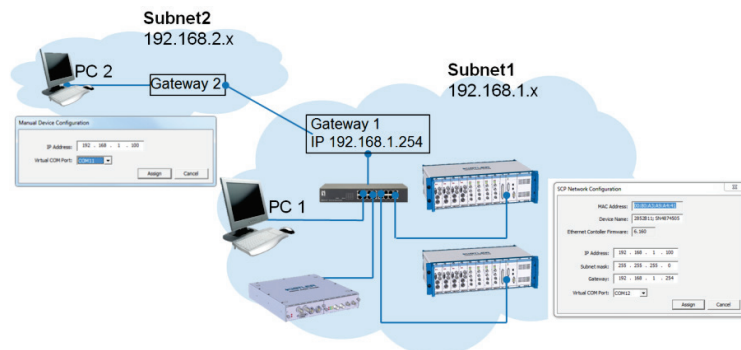
Case A



Case B

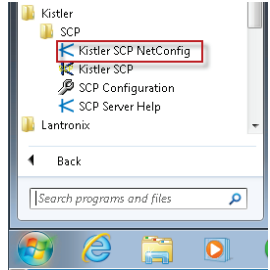


Case C



Description of the NetConf Tool

The SCP NetConfig Tool is automatically installed when installing the SCP software. It can be accessed via the Windows program list.

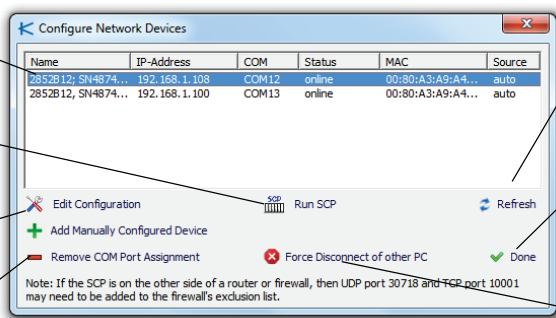


Information / Status of connected SCP

Run SCP button to start the SCP software

Edit configuration button to adjust the network settings

Buttons to add or remove devices



Name	IP-Address	COM	Status	MAC	Source
2852B12; SN4874...	192.168.1.108	COM12	online	00:80:A3:A9:A4...	auto
2852B12; SN4874...	192.168.1.100	COM13	online	00:80:A3:A9:A4...	auto

Refresh button to search for newly connected SCPs

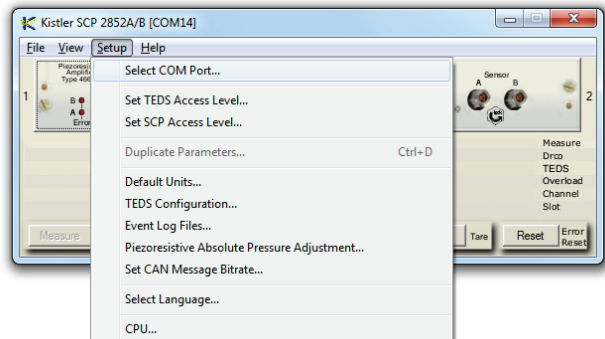
Done button will close the NetConf tool

Disconnect button will disconnect the SCP from another connected PC

Menu of Kistler SCP NetConfig Tool accessed via SCP NetConig program

Accessing it via SCP Software

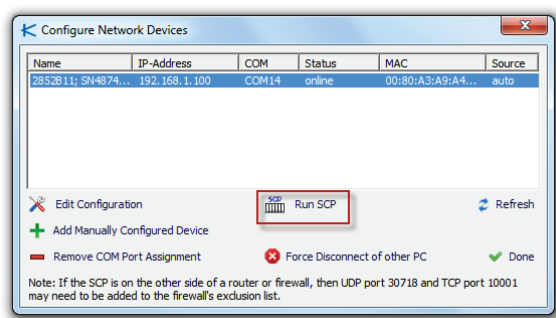
The NetConf tool can be accessed in the SCP software under "Setup" -> "Select COM Port"



Accessing directly via SCP NetConig program

The NetConf tool can also be access in through the Windows program list.

When started this way, there is an additional button to start the SCP software for the selected SCP/SCP Slim.

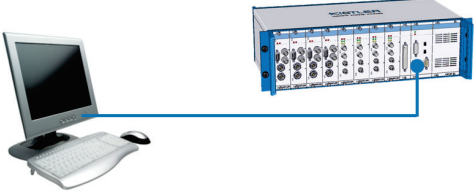
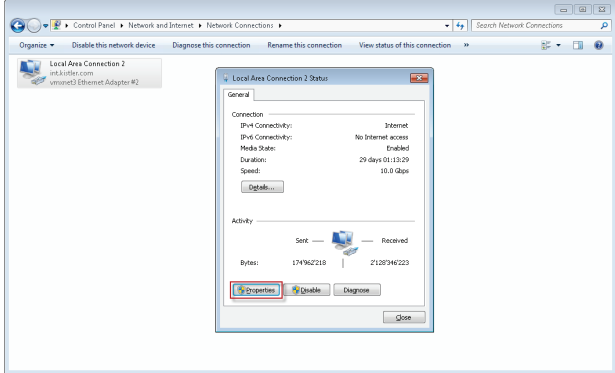
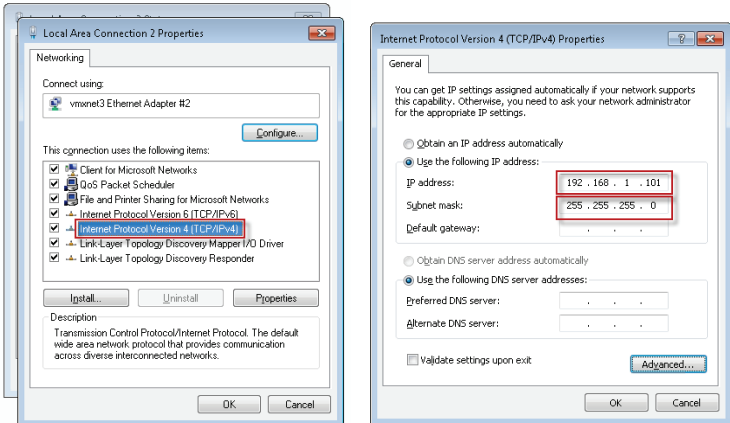



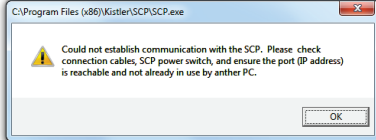
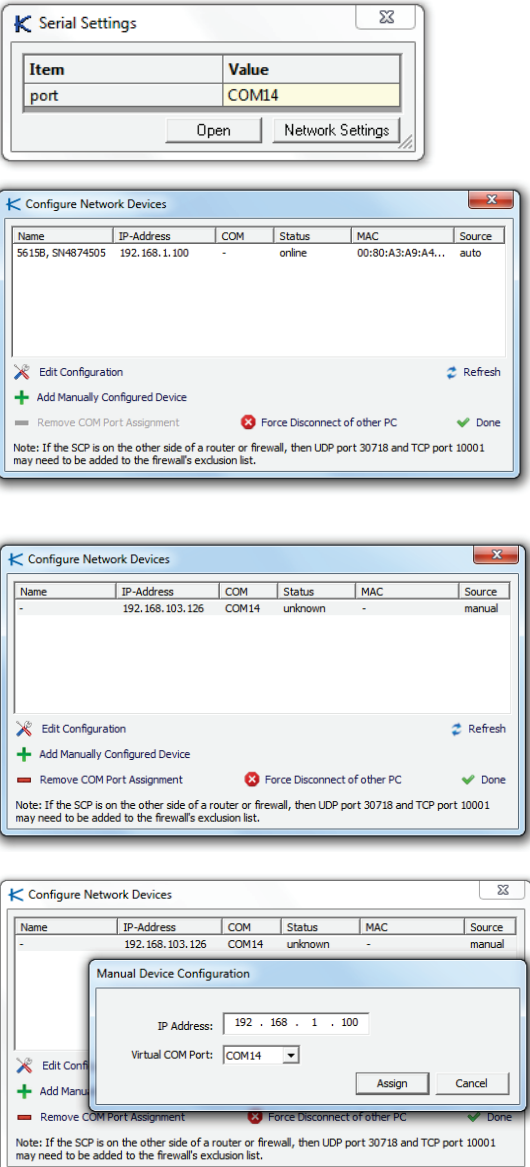
Menu of SCP NetConig Tool accessed via SCP NetConig program

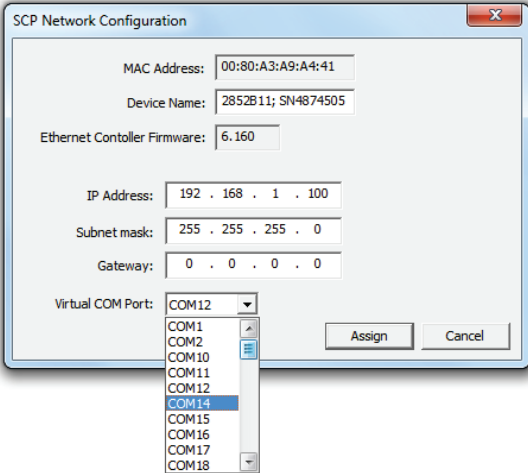
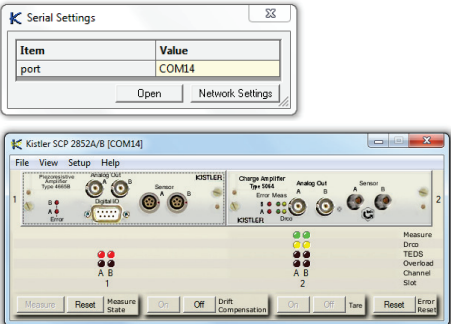
Configuration of Ethernet Connection for SCP/SCP Slim Direct Connection to PC/Notebook (Case A)

For connecting the SCP/SCP Slim with a PC, the network settings of the PC need to be configured as described below.

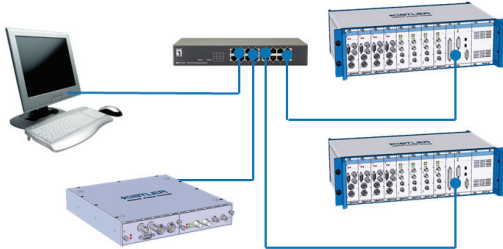
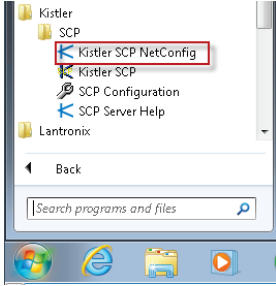
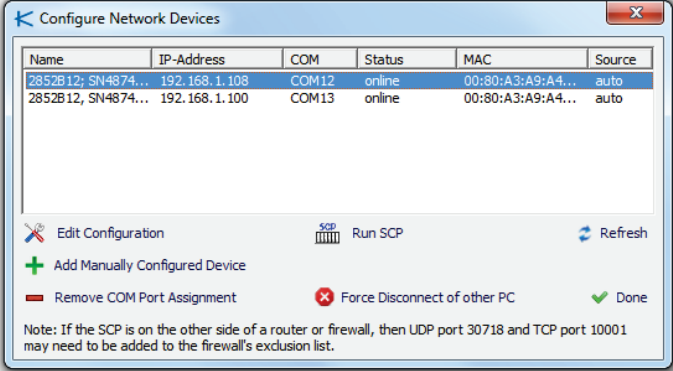
The factory default IP address of the SCP/SCP Slim is 192.168.1.100

<p>Use Case A:</p> <p>Direct Ethernet connection of one SCP/SCP Slim to a PC</p>		
Step	Procedure	
A1	<p>Check the Network settings of your PC</p> <p>Click on LAN connection and on Properties</p>	
A2	<p>Select Internet Protocol Version 4 (TCP/ IPv4)</p> <p>Click on properties</p> <p>Select "Use following IP Address" (for example 192.168.1.101) and Subnet Mask 255.255.255.0</p> <p>Confirm settings by click on OK.</p>	

Step	Procedure	
A3	Install the SCP software version 3.0.11.0 or higher and start the program.	
A4	Click on OK in case that this window appears.	
A5	<p>Open the Network Settings of the SCP/SCP Slim by clicking on the “Network Settings” button.</p> <p>The NetConfig Tool will open.</p> <p>The devices which are connected to the network will be displayed in GUI of the NetConfig Tool.</p> <p>Click on the “Edit Configuration” button for the network settings of the SCP/SCP Slim.</p> <p>The device status shows „unreachable“ in case that the SCP was before in a different subnet</p> <p>In such a case the IP address needs to be configured (e.g. to 192.168.1.100)</p>	

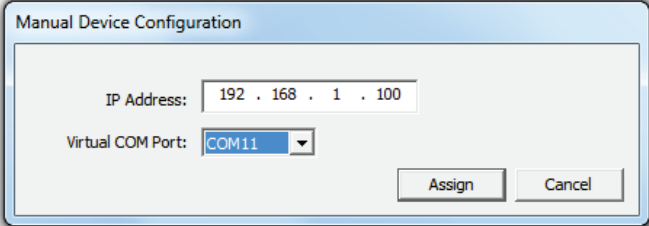
Step	Procedure	
A6	<p>Select a virtual COM Port.</p> <p>The Device Name is by default the name of SCP Slim or the Communication interface in combination with the serial number.</p> <p>The Device Name can be edited with max. 32 characters.</p> <p>Confirm the settings by a click on the Assign button.</p> <p>Click on Done to close the NetConfig tool.</p>	
A7	<p>When the COM port is assigned click on Open to start the SCP software.</p> <p>The SCP GUI will open and you can use it as usual.</p>	

Direct Connection to an existing network (Case B)

<p>Use Case B:</p> <p>Ethernet Connection via Ethernet switch of several SCP's/SCP Slim to a PC</p>																			
<p>Step</p>	<p>Procedure</p>																		
<p>B1</p>	<p>Repeat step A1 to step A2 for the Network settings of your PC.</p>																		
<p>B2</p>	<p>Start the SCP NetConfig tool.</p> 																		
<p>B3</p> <p>The devices which are connected to the network will be displayed in GUI of the NetConfig Tool.</p> <p>Mark a device and click on the "Edit Configuration" button to edit the network settings of the SCP/SCP Slim.</p> <p>Proceed as described in step A6.</p> <p>After the configuration click on "Run SCP" button to start the SCP software.</p>	 <table border="1" data-bbox="724 1157 1354 1318"> <thead> <tr> <th>Name</th> <th>IP-Address</th> <th>COM</th> <th>Status</th> <th>MAC</th> <th>Source</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2852B12; SN4874...</td> <td>192.168.1.108</td> <td>COM12</td> <td>online</td> <td>00:80:A3:A9:A4...</td> <td>auto</td> </tr> <tr> <td>2852B12; SN4874...</td> <td>192.168.1.100</td> <td>COM13</td> <td>online</td> <td>00:80:A3:A9:A4...</td> <td>auto</td> </tr> </tbody> </table>	Name	IP-Address	COM	Status	MAC	Source	2852B12; SN4874...	192.168.1.108	COM12	online	00:80:A3:A9:A4...	auto	2852B12; SN4874...	192.168.1.100	COM13	online	00:80:A3:A9:A4...	auto
Name	IP-Address	COM	Status	MAC	Source														
2852B12; SN4874...	192.168.1.108	COM12	online	00:80:A3:A9:A4...	auto														
2852B12; SN4874...	192.168.1.100	COM13	online	00:80:A3:A9:A4...	auto														
<p>B4</p>	<p>Repeat step B3 for all other devices in the network.</p>																		
<p>B5</p>	<p>You can use your SCP's individually as usual.</p>																		

Access a SCP/SCP Slim in another subnet (Case C)

<p>Use Case C:</p> <p>Access a SCP/SCP Slim which is in another subnet. (Remote access of SCP/SCP Slim in another location)</p>	
<p>Step Procedure</p> <p>C1</p> <p>Preliminary Step 1: Make sure PC1, PC2 and all SCP/SCP Slim are correctly connected to their network (Follow Use Case B for PC2 and the SCP/ SCP Slims).</p> <p>Make sure the subnets are connected and can reach each other.</p>	
<p>C2</p> <p>Preliminary Step 2: To get the Gateway of the subnet 1, open the Network Settings of PC1.</p>	
<p>C3</p> <p>Configure on PC1 the settings of the Ethernet configuration as described in step A6.</p> <p>Additionally, the Gateway has to be set correctly.</p>	<p>Example: Subnet1: 192.168.1.x Gateway1: IP 192.168.1.254</p>

Step	Procedure	
C4	<p>On PC2, the SCP/SCP Slim which is in Subnet1 192.168.1.x cannot be found automatically and therefore have to be added manually.</p> <p>In the NetConf tool on PC2, click on Add Manually Configured Device.</p> <p>Enter the IP address of the SCP/SCP Slim and select a COM Port.</p>	<p>Example: Subnet2: 192.168.2.x Gateway2: IP 192.168.1.100</p> 
C5	Follow step B5	

Anexo E. SCP Slim for engine indication.

SCP Slim for engine indication

Signal conditioning system, with optional PiezoSmart®

Type 2852B..., 4665B1,
5064D1..., 5269Y51, 5271Y51

The 'Signal Conditioning Platform' SCP Slim Type 2852B... is a modular system for the conditioning of a wide range of different measuring signals, such as signals from piezoelectric and piezoresistive pressure sensors. It is specifically well suited for combustion pressure measurements on engine test beds and in-vehicle applications.

The key features for SCP Slim are:

- Modular design for maximum flexibility (up to 16 channels)
- Ethernet interface
- Remote controlled via PC
- Power supply with voltage range from 100 ... 240 VAC and 10 ... 36 VDC
- Improved Graphical User Interface (GUI)
 - Table overview with all amplifier and sensor relevant data
 - Parameters selectable (editing & copying) in table.
 - Via Ethernet easy export function of amplifier settings and TEDS data
 - Histogram of pmax distribution including working cycles
- Signal compatible with all combustion analyzers
- PiezoSmart sensor identification for increased process reliability and improved data quality

Description

The SCP Slim consists of a base unit and functionspecific measuring modules. For combustion pressure measurements and combustion analysis on engines, a wide range of different and interchangeable measuring modules for frontend signal conditioning is available.

If the automatic sensor identification PiezoSmart is used, all relevant data of an individual sensor are stored on a TEDS (Transducer Electronic Data Sheet) and are available for automatic setting of parameters and adjustments.

Process reliability of test procedures and quality of measurement data are significantly improved by simultaneously simplifying test bed setup and test preparations.

Application

With the function-specific modules, measuring tasks within combustion pressure and gas exchange, as well as injection pressure and general pressure measurements are efficiently accomplished.

Due to the small dimensions and low voltage power supply, SCP Slim is well suited for in-vehicle testing.



SCP Slim Type 2852B11 for 2 measuring modules



SCP Slim 19" tray consisting of 2 SCP Slim Type 2852B11 and 2852B01 mounted on support plate Type 5746A12 for 4 measuring modules



SCP Slim consisting of Base-Chassis Type 2852B11 and expansion chassis. Type 2852B01 for 8 measuring modules, with optional chassis legs Type 5746A3

Software interfaces for

- FEVIS
- D2T OSIRIS
- A&D CAS
- ONO SOKKI DS-2000
- DEWETRON

Measure modules for SCP Slim

- Charge amplifier without sensor identification Type 5064D11
- Charge amplifier with sensor identification Type 5064D12 and 5064D13
- Piezoresistive amplifier with sensor identification Type 4665B1
- pMax Module Type 5269Y51
- Bridge amplifier Type 5271Y51



Configuration possibilities of SCP Slim



SCP Slim 19" tray consisting of 2 SCP Slim Type 2852B11 and 2852B01 mounted on support plate Type 5746A12 for 4 measuring modules



SCP Slim consisting of base chassis Type 2852B11 and expansion chassis Type 2852B01 with optional chassis legs Type 5746A3

2852B_003-204e-01.18

Technical data SCP Slim Type 2852B...

Chassis

Module cards	max.	2
Channels per rack		4
With rack combination	max.	16
Power supply		
Standard (single module)	VDC	10 ... 36
Standard (cascading up to 4 modules)		11 ... 36
With external power supply	VAC	100 ... 240, ±10 %
Power consumption max.	W	20
Inrush current (Main with 3 Extensions)	A	≈13
Degree of protection	IP	40
Fuse		8A slow-blow (SPT)
Operating temperature range ¹⁾	°C	0 ... 50
Min. / max. temperature range ¹⁾	°C	-40/50
Dimensions Type 2852B01		
Height	HE (mm)	1 (41)
Width	mm	220
Depth	mm	230
Weight	kg	≈1,6
Software	Graphical User Interface (GUI) COM components for Microsoft Windows®7, 8	

¹⁾ non condensing

Connections on rear side

Analog output/interface (integrated)

Analog outputs		4
Voltage	V	0 ... ±10
Current (per channel)	mA	0 ... ±2
Error	%	<±0,1
Trigger output (optocouplers)		
High	V	>2,4
Low	V	<0,8
Pull-up on +5 V RS	kΩ	10
Connection	Type	D-Sub 37 pin neg.

Communication interface

Interface	Type	RS-232C
Connection	Type	D-Sub 9 pin neg.
Interface	Type	Ethernet
Connection	Type	RJ-45

CAN bus interface

Number	1
Max. transmission rate	1 Mbit/s max.

Digital I/O

Digital I/O Trigger / Operate		
	-	Trigger via optocoupler on analog output guided connection
High	V	3 ... 30
Low	V	<2
Current input High	mA	2 ... 29
Pull-up on +24 V (connectable)	kΩ	10
Pull-down on DGND (connectable)	kΩ	1
Connection	Type	D-Sub 9 pin neg.
Digital output DOUTA1 ... B4		
	-	isolated solid with PhotoMos relay
Current load (continuous)	mA	<100
Voltage (continuous)	V	<±42
Voltage for external devices	V	24
Current draw max.	mA	50
Connection	Type	D-Sub 15 pin neg.

2852B_003-204e-01.18

Technical data valid for all modules

All values for setting the parameters are stored in a nonvolatile data memory and are automatically loaded on initial startup. Operating the system and setting the parameters are performed exclusively with a PC via GUI or with a host computer.

Operating temperature range ¹⁾	°C	0 ... 60
Min./max. temperature	°C	-40/60
Vibration resistance (20 ... 2 000 Hz, duration 16 min, cycle 2 min)	gp	10
Shock resistance (1 ms)	g	200
Sound resistance	dBA	120
Degree of protection (EN 60529)	IP	40
Front panel dimensions	mm	106,5x35,0
	TE	7

¹⁾ non condensing

Charge amplifier Types 5064D11, 5064D12, 5064D13

The amplifier modules Types 5064D11, 5064D12, 5064D13 are microprocessor controlled 2-channel charge amplifiers with analog signal conditioning. The Types 5064D12, 5064D13 include the function for automated sensor identification (PiezoSmart).

These amplifiers enable the recording of sensor operating hours and pressure cycles when using PiezoSmart sensors. In addition they have the ability to determine when a cylinder pressure sensor is exposed to extreme operating conditions. Important information such as sensor operation hours, pressure cycles and pMax can be calculated and automatically saved to the TEDS chips (Transducer Electronic Data Sheet) located in the sensor connector. The recorded pMax-values are classified in 6 different pressure ranges, (<100 bar/<150 bar/<200 bar/<250 bar/<300 bar/≥300 bar) which give a clear indication of the sensor load profile during the application.

A further feature is the cyclic detection of the pMax values, the output of which is a digital signal via the CAN bus interface (CAN2) of the SCP. In addition, the pMax values are output as an analog signal via the analog outputs (C and D).

Along with the input of the sensor-specific data, the parameterization allows the selection of different low-pass filters as well as a -8 V offset with simultaneous amplification of the signal by a factor of 1,8 for a better utilization of analogue inputs with -8 ... 10 V.

LEDs on the module indicate the following operating conditions:

- Exceeding the overload threshold
- Drift compensation with cycle detection (Drco/short, Drco/long)
- Measure/reset

The amplifier has separated input grounds of channel A and channel B in order to prevent signal interference. A differential amplifier stage prevents ground loops between any input ground and the output ground.



Type 5064D12

Technical data

Charge amplifier Type 5064D1...

Number of channels	2	
Measuring range	pC	±100 ... 100 000
Error (0 ... 60 °C)	%	<±0,5
typical (25 °C)	%	±0,1
Measuring models	Short, Long, Drco*/Short, Drco*/Long	
Drift 'Long'		
at 0 ... 60 °C	pC/s	<±0,2
at 25 °C	pC/s	<±0,05
typical	pC/s	<±0,03
Reset-operate transition	pC	<±1,5
Time constant ('Long')	s	>100 000
Drift compensation	1/min	≈100 ... 20 000
Output voltage	V	0 ... ±10
Output current	mA	0 ... ±2
Output impedance	Ω	10
Zero point error (reset)	mV	<±5
Output noise (0,1 Hz ... 1 MHz)	mV _{pp}	<8
typical	mV _{pp}	<4
Frequency range (20 V _{pp} , -3 dB)	kHz	≈0 ... >200
Group delay time	μs	<3
Low-pass filter (Butterworth, 2 nd order, selectable, -3 dB)	kHz	0,3/1/3/5/10/ 30/50/100/off
'Overload' threshold	V	≈±11
Offset adjustable (gain 1,8)	V	-8,0 ±0,04
Crosstalk attenuation chan. A, chan. B	dB	>60

Technical data (continuation)

pMax function		
pMax output (digital)	-	CAN bus
Frequency range	kHz	3/5/10/30/50/100
Resolution	bit	12
pMax output (analog)	-	channel C & D
Frequency range	kHz	3/5/10/30/50/100
Recording on TEDS		
Frequency range	kHz	0 ... ≈100
Speed range (4 clock engine)	1/min	100 ... 20 000
Errors absolute	%FS	±2
Power supply (module)	-	via SCP
Weight	kg	≈0,42
Connections		
Signal inputs		Type
	5064D11	BNC neg.
	5064D12*	TRIAx pos.
	5064D13*	Fischer TRIAX pos.
Signal outputs		BNC neg.
Actuation, outputs, supply		64 pin DIN41612

* with automated sensor identification PiezoSmart®

Piezoresistive amplifier Type 4665B1

The measuring module Type 4665B1 is a microprocessor-controlled 2-channel amplifier for piezoresistive sensors with analog signal conditioning. The amplifier is particularly recommended for high-accuracy measurements with temperature digital compensated and analog compensated sensors.

- Automatic sensor identification PiezoSmart®
- Compatible with all piezoresistive pressure sensors from Kistler
- Analog signal output for pressure and temperature
- Digital signal output for temperature via CAN-BUS
- Support of digital temperature compensation for maximum measuring accuracy
- Simple absolute pressure adjustment
- Recording of working time synchron with charge amplifier Type 5064D1... or via trigger signal

This measuring module is used for signal amplification of piezoresistive pressure sensors and is used typically for measuring injection pressure or hydraulic oil pressure as well as the pressures in the inlet/exhaust of combustion engines.



2852B_003-204e-01.18

Technical data

Piezoresistive amplifier		Type 4665B1
Number of channels	-	2
Gain	-	10 ... 270
Additional gain	-	1 ... 10 (in 0,1)
Error (0 ... 60 °C)	%	<±0,3 typical (25 °C)
Group delay (Input-Output)	µs	<5
Output voltage	V	0 ... ±10
Output current	mA	0 ... ±2
Output impedance	Ω	10
Zero point adjustment range		
referred to input	mV	-100 ... 500
Output interference signal		
(0,1 Hz...1 MHz) amp. ≤100 filter off	mV _{pp}	
(0,1 Hz...1 MHz) amp. ≤100 filter 30 kHz	mV _{pp}	
(0,1 Hz...1 MHz) amp. ≤270 filter off	mV _{pp}	
(0,1 Hz...1 MHz) amp. ≤270 filter 30 kHz	mV _{pp}	
Frequency range (20 V _{pp} , -3 dB)	kHz	0 ... >90
up to amplifier 10 ... 270 kHz		
Low-pass filter (Butterworth, 2 nd order, selectable, -3 dB)	Hz	10,30,100,300
	kHz	2,3,10,30
Linearity adjustment, second power	%	-3 ... 3 (in 0,1)
'Overload' threshold	V	≈±11
Temperature output analog		
Sensitivity	mV/°C	10
Frequency	Hz	1
Max. error	°C	±2,5
Temperature output digital		
Temperature output	-	CAN bus
Frequency range	kHz	0 ... ≈ 5
Resolution	bit	12
Additional zero point shift	V	-8 or -10
Power supply (module)	-	via SCP
Weight	kg	0,32

Sensor

Sensor supply (I ref)	mA	1 or 4
Maximum load (I ref: 4 mA)	kΩ	5
Maximum load (I ref: 1 mA)	kΩ	20

Interface, sensor detection

Connection according to IEEE 1451.4	-	-
Max. length for extension cable	m	10
Temp. range for PiezoSmart-coupling	°C	-20 ... 85

Connections

Signal inputs	Type 103 (Fischer, 5 pin)
Signal outputs	Type BNC neg.
Actuation, outputs, supply	Type 64 pin DIN41612
Signal inputs and outputs (trigger for working time recording, temperature)	Type D-Sub 9 pin neg.

pMax module Type 5269Y51 for measuring and monitoring maximum pressures

The two-channel pMax module Type 5269Y51 is an alternative to the digital pMax signal output provided by the charge amplifier Type 5064D... . Type 5269Y51 offers an ideal expansion for the universal Signal Conditioning Platform (SCP Slim) for continuous monitoring and measurement of the cylinder peak pressure pmax on Diesel and spark ignition engines. The SCP charge amplifiers Type 5064D11 supply the pMax module with a voltage signal proportional to the cylinder pressure. When a specified threshold value is reached, a warning or a digital emergency stop signal is generated. At the same time, the unit produces an output voltage signal which is proportional to the maximum cylinder pressure of the last combustion cycle. This signal can be accessed via the usual analog inputs of the test stand measuring setup. As a result, the pMax module is ideal for the monitoring and measurement of endurance test running. Signal noise, e.g. due to pipe oscillations and valve vibrations, can be effectively suppressed by using a high performance filtering system on the input signal.



Functional description

The pressure signal measured, which comes from the amplifier, is investigated with regard to the pmin and pmax values in each combustion cycle. The data acquisition of the pmin and pmax value is done by an analogue peak value memory. These values are recorded and used to determine the peak-peak value of the combustion cycle concerned. A distinction is made between three measuring modes: "peak – peak", "(peak – peak) + pInlet" and "(peak – peak) + const. pInlet". Depending on the measuring method selected, the maximum pressure which output represents the pure peak-peak value of the combustion cycle or a peak-peak value corrected by either the constant induction-pressure value or the measured induction pressure value. The maximum pressure values measured can be averaged over a selectable number of combustion cycles ($n = 1 \dots 50$) for the analog output. The pressure signal measured is constantly monitored in relation to various criteria. When certain events are recorded, an "emergency stop signal" is triggered. An action (shutting off the engine, changing the rate of injection etc.) can thereby be initiated manually or automatically. Three thresholds are used for signal monitoring: the min. threshold, the max. threshold and the emergency stop threshold. These thresholds can be set with respect to one another so that a large number of possible situations can be monitored according to individual requirements.

Technical data (continuation)

Inputs for pMax analysis

Number of cylinder pressure channels (input for p cylinders A & B)	–	2
Input for boost pressure (plnlet)	–	1
Analog input voltage (p cylinder A, p cylinder B, plnlet)	V	0 ... ±10

Signal processing

Input voltages		
FS range (3 ranges)	V	0 ... 10 –8 ... 10 –10 ... 10
Speed range	1/min	100 ... >6 000
TP-SC filter (5th order, Bessel)	kHz	5, 10, off
Frequency range with TP filter 'off'	kHz	0 ... ≈17
Resolution (AD converter for all outputs)	bit	12
Number of combustion cycles for creating pmaxppav by av. pmaxpp	ASP	1 ... 50
Sampling rate per channel (analog peak value memory)	/ASP	1
Number of overranges th_pmax for emergency stop	/50 ASP	1 ... 50
Threshold values for th_pmax, th_pmin, th_pstop per channel	–	3
Threshold pmax_A, pmax_B	M.U. ¹⁾	1,0 ... 4 350
Threshold pmin_A, pmin_B	%pmax	1 ... 99
Threshold pstop	M.U.	1,0 ... 4 350
Input overload at...	V	FS Range ±0,5

Analog outputs for peak-peak pressure

Output voltage ranges (pmax Out A/B) selectable	V	0 ... 5 0 ... 10 –8 ... 10 –10 ... 10
Output current	mA	0 ... ±2
Output resistance	Ω	10
Error	%	<±1
Output interf signal (0,1 Hz ... 1 MHz)	mV _{pp}	<10
Zero error	mV	±10

¹⁾ Mechanical units (e.g. bar)

Digital outputs

Digital warning outputs	–	4 (2/channel)
Digital stop output	–	1/module
Current loading (constant)	mA	<100
Pulsed current loading (<0,1 s)	mA	<300
Resistance in the powered-up condition	Ω	<50 (typ. 30)
Continuous voltage	V	<±42
Voltage between outputs and protective ground	V _{rms}	<30

Digital inputs (optocoupler)

Cycle monitoring	deactivate	V	3 ... 30
	activate	V	<2
	or input open		
Trigger current	mA		0,6 ... 9

General information

Weight	kg	0,3
--------	----	-----

Display

LED for warning signals		
MinChA, MinChB	–	(yellow) 2
MaxChA, MaxChB	–	(red) 2
LED for emergency stop signal		
Stop	–	(red) 1
LED for error display		
Error	–	(red) 1

Connections

Signal inputs and outputs (boost pressure, emergency stop etc.)	Type	D-Sub 15 pin neg.
Signal inputs (input cylinders A & B)	Type	BNC neg.
Signal outputs	Type	BNC neg.
Trigger, supply	Type	64 pin DIN 41612

Included accessories

• D-Sub connector 15 pin pos. with soldered connection	Type/Art. No.	7.640.049
---	---------------	-----------

Optional accessories

• D-Sub connector 15 pin pos. with screw connection	Type/Art. No.	5.510.422
• Connecting cable BNC pos., l = 0,2 m		1601B0,2

Bridge amplifier Type 5271Y51

This 2-channel bridge amplifier has two differential inputs and is designed for bridge sensors and especially for strain gauge sensors.

The amplifier provides an adjustable and stabilized voltage supply for piezoresistive sensors. High bandwidth electronics with selectable filters ensure that the Type 5271Y51 can be utilized in a wide range of applications

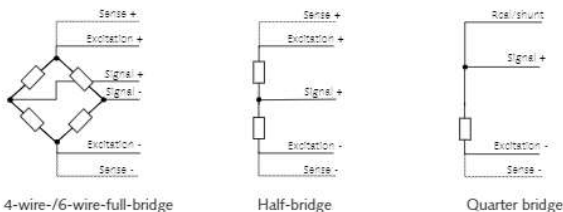


Type 5271Y51

Product features

- For universal applications for strain gage sensors and piezoresistive sensors with voltage excitation
- Variable bridge excitation 1 ... 12 Volt
- Voltage amplifier (with variable gain up to 5 000)
- Automated zero adjustment (tare)
- Prepared for automatic sensor identification (PiezoSmart)

The bridge amplifier Type 5271Y51 is suitable for the following connections:



Technical data (continuation)

Number of channels	–	2
Input voltage range (differential)	V	0 ... ±10
Gain	–	0,5 ... 5 000
Input resistance	MΩ	>100
Gain error (0 ... 60 °C)	%	<±0,2
typical (25 °C)	%	±0,05
Zero point error	%	<10 mV
Linearity error	%	<±0,01
Zero adjustment (tare)	%	0 ... ±100

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.

Low-pass filter (2 nd order, selectable/Butterworth, –3 dB)	Hz	10/30/100/300
	kHz	1/3/10/30/100

Sensor excitation (bridge voltage)

Sensor excitation voltage	V	1,0 ... 12,0
Voltage error (>2,5 V)	%	<±0,1
Output current	mA	<50

Bridge completion (amplifier internal)

Half-bridge (completion)	Ω	10 000
Quarter-bridge (completion)	Ω	120/350/1 000

Sensor bridge resistance

Sensor excitation	= 1 V	Ω	20 ... 10 000
	= 2,5 V	Ω	50 ... 10 000
	= 5 V	Ω	100 ... 10 000
	= 10 V	Ω	200 ... 10 000

Sensor sensitivity

Sensor excitation	= 1 V	Ω	2 ... 2 000
	= 2,5 V	Ω	0,8 ... 800
	= 5 V	Ω	0,4 ... 400
	= 10 V	Ω	0,2 ... 200

Output signals

Output voltage (short circuit proof)	V	0 ... ±10
Output current	mA	0 ... ±5
Output impedance	Ω	10
Output noise signal (0,1 Hz ... 1 MHz)		
Gain <100	mV _{pp}	<15
Gain <1 000	mV _{pp}	<40
Gain ≥1 000	mV _{pp}	<180
Frequency range (20 V _{pp} , –3 dB)	kHz	0 ... >120
Power supply (module)	–	via SCP
Weight	kg	≈0,4

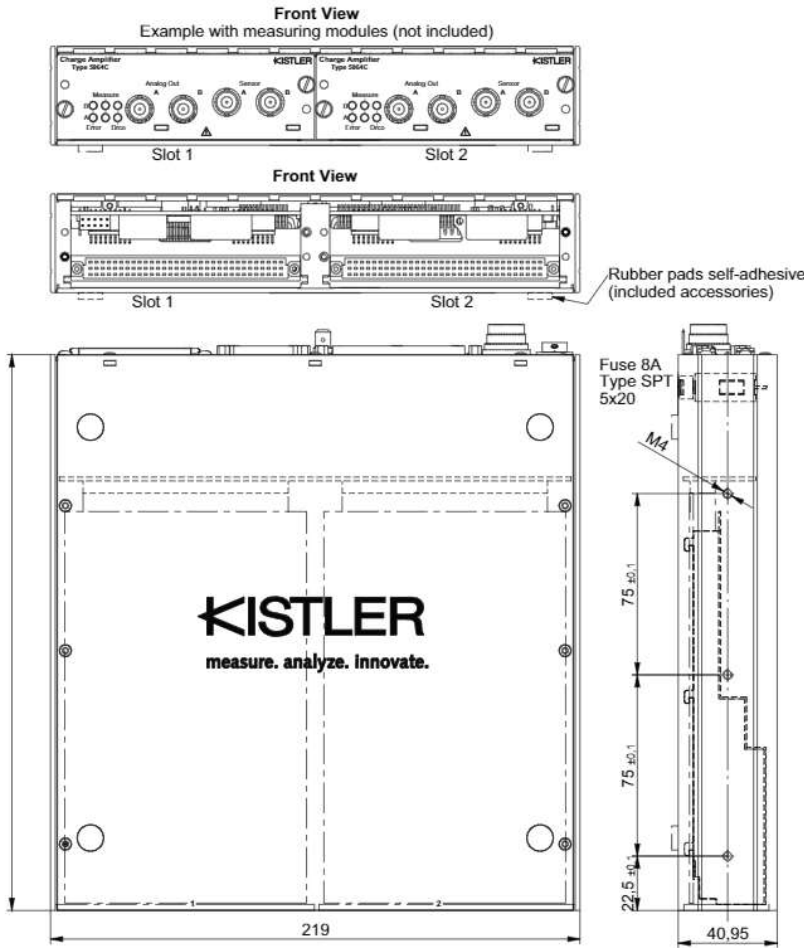
Connections

Voltage output	Type	BNC neg.
Sensor input	Type	D89 female
Actuation, outputs, supply	Type	64 pin DIN41612

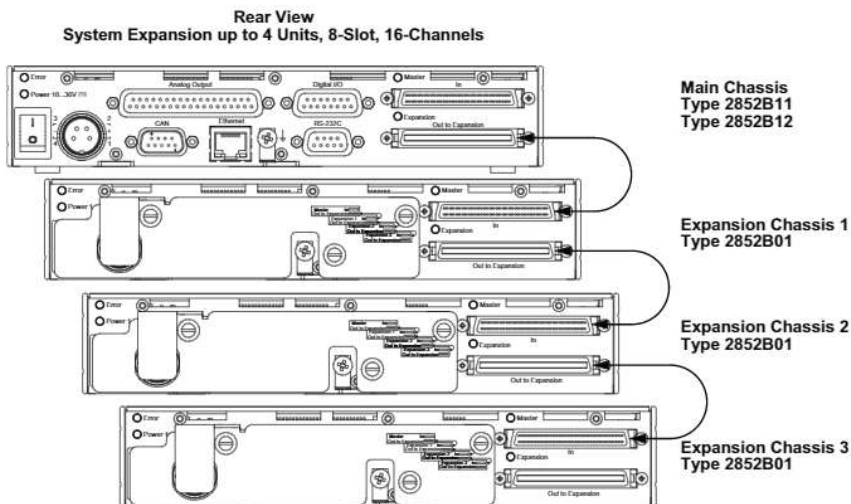
Optional accessories

• D-Sub connector 9 pin pos. with soldered connection	Type/Art. No.	7.640.048
• Extension cable D-Sub 9 pin pos. with open ends, L = 5 m		5.590.183
• D-Sub connector 9 pin pos. with screw connection		5.510.337

Dimensions



Cascading for SCP Slim

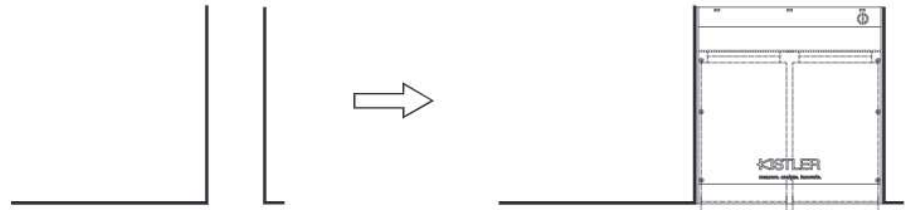


2852B_003-204e-01.18

Expansion facilities for the SCP Slim for the 19" module

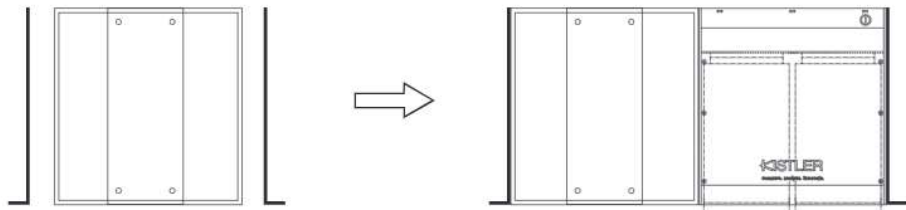
19" mounting kit for 1 SCP Slim, Type 5746A10

19" mounting kit consisting of 2 brackets for mounting an SCP Slim Type 2852B... in a 19" rack.



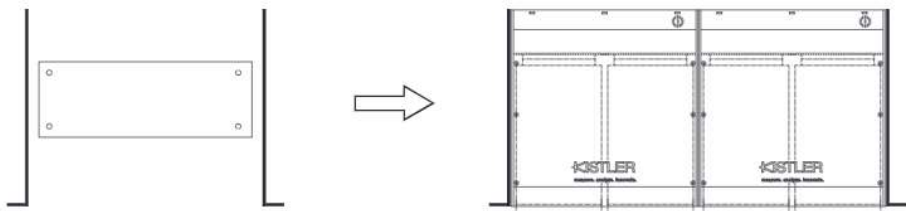
19" mounting kit for 1 and 2 SCP Slim, Type 5746A11

19" mounting kit consisting of 1 empty case and 2 brackets for mounting an SCP Slim Type 2852B... in a 19" rack. This kit includes a base plate which can be used for mounting a second SCP Slim in a 19" rack.



19" mounting kit for 2 SCP Slim, Type 5746A12

19" mounting kit consisting of 2 brackets and 1 base plate for mounting 2 SCP Slim Type 2852B... in a 19" rack.



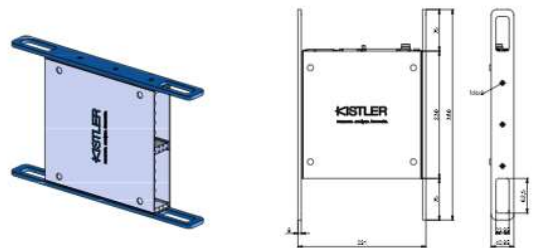
Connecting plates set for 2 x SCP Slim, Type 5746A8

Mounting kit consisting of 2 connecting plates for compact mounting of 2 x 2852B...



Connecting plates set for 1 x SCP Slim, Type 5746A7

Mounting kit consisting of 2 connecting plates for compact mounting of 1 x 2852B...



2852B_003-204e-01.18

Included accessories

for SCP Slim

- | | |
|--|------------|
| • SCP instruction manual incl. CD-ROM with configuration software | on request |
| • Power cable | on request |
| • Ethernet cable to connect SCP and PC/Host (not included with extension rack Type 2852B01) | 65010017 |
| • Power supply (AC Adapter) 90 ... 260 VAC/50 ... 60 Hz, only for Type 2852B12 | 5781A1 |
| • Expansion-kit for cascading SCP Slim (cascading cable L = 0,4 m), cover plate for plugs including mounting material, only for Type 2852B01 | 5746A4 |
| • 4 rubber pads self-adhesive for SCP Slim chassis | 5.211.238 |
| • Connector for DC power supply, only for Type 2852B11 | 5.511.384 |

Optional accessories

for SCP Slim

- | | |
|--|-------------------------------|
| • Adapter BNC neg. → TRIAX neg. | 1704A1 |
| • Adapter KIAG 10-32 neg. → TRIAX neg. | 1704A2 |
| • Adapter M4x0,35 neg. → TRIAX neg. | 1704A3 |
| • Adapter TRIAX pos → BNC pos. | 1704A4 |
| • PiezoSmart extension cable for Type 5064D12 (TRIAX neg.–TRIAX pos.) | 1987B2,
1987B7,
1987B10 |
| • PiezoSmart connecting cable for Type 5064D13 (Fischer TRIAX neg.–TRIAX pos.) | 1987BFT3,5 |
| • CAN-BUS cable for Type 2852A... (L = 2 m); not needed for Type 2852B... | 1200A191A2 |



- | | |
|---|--------|
| • Chassis legs | 5746A3 |
| • Expansion kit for cascading SCP Slim (cascading cable L = 0,4 m), cover plate for plugs including mounting material | 5746A4 |
| • Adaption kit to fit SCP Slim Modules into SCP Types 2853B... | 5746A5 |



Type/Art. No.

Optional accessories

Type/Art. No.

- | | |
|---|--------------|
| • Power supply (AC adapter) 90 ... 260 VAC/50 ... 60 Hz | 5781A1 |
| • Null modem cable to connect SCP and PC/Host via RS-232C | 1200A27 |
| • USB/RS-232C adapter | 2867 |
| • TEDS editor for PC | 2839A-01-003 |
| • D-Sub connector 37 pin (pos.) | 7.640.062 |
| • Remote switch (measure/reset) connectable to digital I/O interface | Z20979 |
| • Remote switch, L = 2,0 m (measure/reset) connectable to digital I/O interface | Z20979-10 |

Order form with ordering code

SCP Slim chassis (without modules)

Type 2852B

Associated facility 10 (11) ... 36 VDC

2 slot expansion chassis	01
2 slot base chassis	11
2 slot base chassis with external AC adapter	12

Modules for SCP Slim

Number	Type	
_____	4665B1	2 channel piezoresistive amplifier with sensor identification
_____	5064D11	2 channel charge amplifier without sensor identification, signal input: BNC
_____	5064D12	2 channel charge amplifier with sensor identification, signal input: TRIAX
_____	5064D13	2 channel charge amplifier with sensor identification, signal input: Fischer TRIAX
_____	5269Y51	2 channel pMax module
_____	5271Y51	2 channel bridge amplifier
_____	5700A27	Dummy front plate for SCP Slim

19" mounting kit

_____	5746A10	for 1 SCP Slim
_____	5746A11	for 1 and 2 SCP Slim
_____	5746A12	for 2 SCP Slim

Windows®, Windows 7®, Windows 8® are registered trademarks of the Microsoft Corporation.

