

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA LA
REALIZACIÓN DE PRÁCTICAS CON CELDAS DE CARGA**

**JORGE ANDRÉS PRADA SANABRIA
YORDAN JAVIER SARMIENTO CRUZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2015

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA LA
REALIZACIÓN DE PRÁCTICAS CON CELDAS DE CARGA**

**JORGE ANDRÉS PRADA SANABRIA
YORDAN JAVIER SARMIENTO CRUZ**

**Trabajo de grado para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO**

Director

**JORGE ENRIQUE MENESES FLOREZ
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2015

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	18
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
1.2. JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA	20
1.3. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO	21
1.3.1. Objetivo generales	21
1.3.2. Objetivos específicos	21
2. DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA LA REALIZACION DE PRACTICAS CON CELDAS DE CARGA	23
2.1. ADECUACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS	26
2.2. CALIBRACIÓN DE LA CELDA DE CARGA TIPO S	27
2.3. ACONDICIONAMIENTO DE LA CELDA DE CARGA TIPO COLUMNA.....	28
2.4. AMPLIFICACIÓN DE LA SEÑAL	30
2.5. ADQUISICIÓN DE LA SEÑAL	31
2.5.1. Hardware de adquisición de datos	31
2.5.2. Sistema de Conexiones	31
2.5.3. Software de adquisición de datos	31
2.6. ANÁLISIS DE LA SEÑAL Y RESULTADOS	32
2.7. PROPÓSITO DE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO.....	32
2.8. MANUALES DE USUARIO.....	34
3. ADECUACIÓN Y UTILIZACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS ESTÁTICO DE 10000 LB	35

3.1. DISEÑO DE LA BARRA SOMETIDA A TENSION.....	38
3.1.1. Diseño por carga estática.	38
3.1.2. Diseño por carga dinámica (fatiga).	41
3.1.3. Límite de resistencia a la fatiga.....	42
3.1.4. Resistencia a la fatiga.....	42
3.1.5. Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga.....	43
3.1.6. Calculo del número de ciclos.	45
4. CALIBRACIÓN DE LA CELDA DE CARGA TIPO S.....	46
4.1. MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS MTS 810.....	47
4.2. EQUIPOS DE AJUSTE DE CELDAS DE CARGA.....	48
4.2.1. Siwarex U (módulo de pesaje).....	49
4.2.1.1. Comparación de carga MTS 810 vs Tipo S mediante SIWAREX U.....	50
4.2.2. Loadcell II (CALOG- LCII).....	51
4.2.2.1. Comparación de carga MTS 810 vs Tipo S mediante Calog Ladcell II.....	52
5. ACONDICIONAMIENTO DE LA CELDA DE CARGA TIPO COLUMNA DE 10000 LB PARA LAS PRÁCTICAS.....	55
5.1. GEOMETRÍA DE LA CELDA.....	56
5.2. TIPO DE STRAIN GAGES.....	57
5.3. MONTAJE DEL STRAIN GAGES EN LA CELDA.....	57
5.4. CONFIGURACIÓN PARA OBTENER LOS DIFERENTES PUENTES DE WHEATSTONE.....	58
5.5. ADECUACIÓN DE LA CELDA TIPO COLUMNA PARA PRÁCTICAS.....	59
5.5.1. Completar el puente.....	60
5.5.1.1. Cuarto de puente.	60
5.5.1.2. Medio puente.	61
5.5.1.3. Puente completo.....	62
5.5.2. Amplificación de señal.....	64
5.5.3. Balance de puente, eliminación de Offset.....	66

5.5.4. Calibración de Shunt.....	67
5.5.5. CREEP.....	67
5.5.5.1. Pruebas de Creep Compensation.....	68
6. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS	70
6.1. HARDWARE DE MEDICIÓN	70
6.1.1. Arduino.....	70
6.1.2. PLC (<i>Programmable</i> Logic Controller)	71
6.1.3. Hardware de amplificación.....	73
6.1.4. Sistema CompactDAQ de NI	74
6.1.5. Sistema de conexiones.....	76
6.1.5.1. NI 9949.....	76
6.1.5.2. Cable RJ-50.....	76
6.2. SOFTWARE DE MEDICIÓN.....	77
6.2.1. Arduino.....	77
6.2.2. Autómata S7 300.....	77
6.2.3. Chasis NI cDAQ-9174 y modulo NI 9237.....	79
7. ANALISIS DE RESULTADOS.....	82
7.1. CARACTERIZACIÓN DE LA CELDA DE CARGA POR MEDIO DE MODULO NI 9237 DE NATION INSTRUMENTS	82
7.1.1. Análisis de puente completo.....	82
7.1.2. Análisis de medio puente.....	84
7.2. CARACTERIZACIÓN DE LA CELDA DE CARGA POR MEDIO DE ARDUINO	88
7.2.1. Análisis de puente completo.....	88
7.3. CARACTERIZACIÓN DE LA CELDA DE CARGA POR MEDIO PLC	91
7.3.1. Análisis de puente completo	91
7.3.2. Análisis de medio puente.....	92
7.3.3. Análisis de cuarto de puente.....	94

7.4. COMPARACIÓN DEL TIPO DE PUENTE Y EL INSTRUMENTO DE MEDICIÓN	96
8. PROPÓSITO DE LAS PRÁCTICAS	97
8.1. MANUAL TEÓRICO.....	97
8.2. MANUAL PRÁCTICO	98
8.2.1. Práctica de amplificación de señal.....	99
9. CONCLUSIONES	100
10. RECOMENDACIONES.....	102
BIBLIOGRAFÍA.....	103
ANEXOS.....	104

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Descripción del banco.....	26
Tabla 2. Característica de las configuraciones del puente Wheatstone.....	29
Tabla 3. Características geométricas de la barra.....	38
Tabla 4. Esfuerzo de la rosca	39
Tabla 5. Propiedades mecánicas acero SAE 4140.....	39
Tabla 6. Parámetros a y b del factor superficial.....	43
Tabla 7. Factor de confiabilidad.....	44
Tabla 8. Características de la celda de carga tipo S.....	46
Tabla 9. Comparación de la carga de la MTS 810 vs Tipo S.....	51
Tabla 10. Valores obtenidos de la MTS 810 y los valores de la celda tipo S mediante el CALOG LCII	53
Tabla 11. Comparación entre Siwarex u y Loadcell II.....	54
Tabla 12. Montaje del amplificador	65
Tabla 13. Ajuste de la ganancia.....	66
Tabla 14. Bloques de programación en PLC	78
Tabla 15. Componentes del programa de adquisición.....	81

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Descripción del planteamiento del problema	19
Figura 2. Descripción del proyectó.....	25
Figura 3. Barra nueva	27
Figura 4. Calibración y ajuste de la celda de carga tipo S	28
Figura 5. PCB	30
Figura 6. Hardware y Software de programación.....	32
Figura 7. Práctica de CREEP CODE	33
Figura 8. Práctica de amplificación de señal.....	33
Figura 9 Práctica de diseño de celdas de carga mediante la configuración del puente de Wheatstone y efectos de temperatura	34
Figura 10. Manuales de usuario.....	34
Figura 11. Partes del banco de prueba.....	35
Figura 12. Barra pulida & grapa.....	36
Figura 13. Barra nueva	37
Figura 14. Diagrama esfuerzo – deformación.....	40
Figura 15. Diagrama S – N	41
Figura 16. Curva fracción de la resistencia a la fatiga f	42
Figura 17. Tipos de hilos en una celda de carga	47
Figura 18. Conexión de hilos en la celda de carga tipo S	47
Figura 19. Máquina de ensayos MTS 810	48
Figura 20. Montaje del autómeta S7 300	50
Figura 21. Montaje de la celda tipo S en el Siwarex U y la MTS 810.....	50
Figura 22. Calog LOADCELL II.....	52
Figura 23. Montaje celda tipo S con el LOADCELL II en la MTS 810	52
Figura 24. Geometría de la celda de carga.....	56
Figura 25. Especificación de galga extensiométrica biaxial	57
Figura 26. Montaje de la galga extensiométrica	57

Figura 27. Pegado de la galga y cableado.....	58
Figura 28. Selección de galgas para configuración de puente	59
Figura 29. Componentes para medición con galgas extensiométricas	60
Figura 30. Configuración cuarto de puente.....	61
Figura 31. Montaje para la compensación de temperatura.....	62
Figura 32. Configuración medio puente	62
Figura 33. Configuración puente completo	63
Figura 34. Fuente de alimentación.....	64
Figura 35. Creep.....	68
Figura 36. Prueba de Creep Code.....	69
Figura 37. Arduino	70
Figura 38. Estructura de un autómatas programable.....	71
Figura 39. CPU 314IFM.....	72
Figura 40. PS 5A.....	73
Figura 41. Tarjeta de amplificación	74
Figura 42. Modulo NI cDAQ 917-4.....	75
Figura 43. Modulo NI 9237	75
Figura 44. Modulo NI 9949	76
Figura 45. Cable RJ50.....	77
Figura 46. Panel frontal en STEP 7	78
Figura 47. Programación OB35 mediante el lenguaje FUP	79
Figura 48. Tabla de variables	79
Figura 49. Panel frontal en LabVIEW.....	80
Figura 50. Diagrama de bloques en LabVIEW.....	80
Figura 51. Caracterización puente completo	83
Figura 52. Pruebas tipo columna	84
Figura 53. Caracterización medio puente	85
Figura 54. Conexión cuarto de puente.....	86
Figura 55. Caracterización cuarto de puente	87
Figura 56. Caracterización de 4 rectas	88

Figura 57. Caracterización de la celda de carga tipo columna Puente completo...	89
Figura 58. Paquete de pruebas con medio puente de Arduino	90
Figura 59. Caracterización de la celda de carga medio puente con Arduino	91
Figura 60. Caracterización de la celda de carga tipo columna puente completo PLC	92
Figura 61. Paquete de pruebas con cuarto de puente para el autómeta S7 300 ...	95

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA LA REALIZACIÓN DE PRACTICAS CON CELDAS DE CARGA

AUTORES: JORGE ANDRÉS PRADA SANABRIA
YORDAN JAVIER SARMIENTO CRUZ**

PALABRAS CLAVES: Celdas de carga, galgas extensiométricas, Puente de Wheatstone, equipos de adquisición de datos.

DESCRIPCIÓN

El objetivo principal de este proyecto se basó en diseñar prácticas de laboratorio para la medición de variables físicas con celdas de carga, para esto se realizó un estudio detallado del diseño de este tipo de transductor, donde se conoció el elemento principal para su elaboración las galgas extensiométricas.

Se cuenta con un banco para la caracterización de celdas tipo columna a partir de una celda tipo S de 10000 lb en la que se puede realizar su medición y ajuste por medio de un Siwax U y Calog LC II, para obtener la carga aplicada en la celda a caracterizar.

El banco está orientado en el desarrollo de prácticas con celdas de carga tipo columna de 10000 lb para la amplificación de señal, adecuación de las galgas extensiométricas en el puente de Wheatstone configurando un cuarto, medio y puente completo y la comparación de instrumentos en la adquisición de datos utilizando, PLC SIEMENS con un módulo A/D de 12 bits de resolución, ARDUINO MEGA 2560 con 10 bits de resolución y el modulo NI 9237 de NATIONAL INSTRUMENTS con 24 bits de resolución.

Debido a los resultados obtenidos, el cuarto puente no es la configuración adecuada para la medición de celdas de carga, por tener un comportamiento lineal únicamente para deformaciones pequeñas. Se caracterizó para demostrar su baja sensibilidad y no realizar compensación de temperatura, lo que produce un alto error en la medición de carga siendo este el peor sistema de pesaje.

Todas las prácticas e instrumentos de medición cuentan con manuales de manejo, con el objetivo de facilitar al estudiante el desarrollo de las prácticas.

*Trabajo de grado

**Facultad De Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela De Ingeniería Mecánica. Director. Jorge Enrique Meneses Florez

SUMMARY

TITLE: DESIGN AND CONSTRUCTION OF A TEST BENCH FOR MAKING PRACTICES WITH LOAD CELLS

AUTHORS: JORGE ANDRÉS PRADA SANABRIA
YORDAN JAVIER SARMIENTO CRUZ**

KEY WORDS: Load Cell, Bridge wheasthone, data acquisition equipment, PCB.

DESCRIPTION

The main objective of this Project is based on designing laboratory practice for the measurement of physic variable with load cells, for this a detailed study was performed of the design of this type of transducer, where the main element for the elaboration of strain gauges was known.

It has a bench for characterizing such cells column from a cell S type 10000 lb which can perform measurement and adjustment by a Siwarex U and CALOG LC II, for the load applied on the characterize cell.

The bank is focused on developing practices with load cells column 10000 lb for signal amplification, adequacy of strain gages in the Wheatstone bridge setting a quarter, half and full bridge and comparison of instruments in the acquisition data using, SIEMENS PLC with an a / D module 12 bit resolution, ARDUINO MEGA 2560 with 10 bit resolution and NI 9237 module NATIONAL INSTRUMENTS 24 bit resolution.

Because of these results, the fourth bridge is not the proper configuration for measuring load cells, having a linear behavior only for small deformations. It was characterized to demonstrate its low sensitivity and not perform temperature compensation, resulting in a high error in the load measurement being the worse weighing system.

All practices and measuring instruments have manual handling, in order to facilitate student development practices.

* Work degree

** Faculty of Engineering Physics and Mechanics. School Of Mechanical Engineering. Head Teacher. Jorge Enrique Meneses Florez

INTRODUCCIÓN

A través de la historia, los sensores han evolucionado debido a la creciente competitividad que se requieren para que los procesos industriales sean cada vez más eficientes, lo que implica tener una mayor eficiencia en la medición de las variables físicas de cada proceso.

En toda industria existen maquinas o estructuras las cuales se encuentran sometidas a algún tipo de carga (fuerza) relacionada con el proceso, y dicha variable es la de importancia en el proceso que se está llevando a cabo. No obstante, la evolución de la tecnología ha permitido que la medición de las variables físicas se realice de una manera más eficiente y precisa. Es cada vez más frecuente el empleo de los valores de esfuerzo sobre las estructuras como indicador productivo. Pueden citarse como ejemplos la implementación de celdas de carga externas adheridas a los cimientos de silos de grano, cemento, etc., con la finalidad de determinar el acopio existente y cuantificar las descargas (ventas). Para la medición de los esfuerzos de cualquier estructura metálica o maquina sometida a una carga, generalmente se utiliza mediante la medición de su deformación. Al utilizar los medidores de deformación (galgas extensiométricas) se debe tener en cuenta los errores que se pueden producir debido a la instalación de los medidores sobre la pieza metálica y los efectos ocasionados por la temperatura.

En el diseño de las prácticas de laboratorio con celdas de carga, se realizaron algunas adecuaciones al banco del proyecto *“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CELDA DE CARGA PARA UN SISTEMA DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL DE CRUDO DE CAMPO ESCUELA COLORADO”*. Con el propósito de adecuarlo a los objetivos de éste proyecto, en el capítulo 3 se observa el diseño de una barra

sometida a tensión, la cual transmitirá la carga a la celda de carga con la que se diseñó las prácticas de laboratorio.

En el capítulo 4, se detalló los parámetros para el acondicionamiento de la señal en los strain gages, donde se presentan las diferentes configuraciones del puente de wheasthone para el diseño de celdas de carga, excitación del puente y amplificación a la salida de una celda de carga.

En el capítulo 5 reúne los análisis de los diseños de celdas a partir de las configuraciones del puente de wheasthone, la compatibilidad que existe entre la galga extensiométrica y el material con el cual es elaborada la celda de carga, montaje y compensación de las galgas extensiométricas en la pieza metálica, software y hardware de adquisición de datos, calibración de la celda patrón para la celda de carga tipo columna y los análisis de los resultados obtenidos.

Con base a los análisis realizados se plantearon diversas prácticas de laboratorio con celdas de carga, con el propósito de que los estudiantes conozcan el diseño y funcionamiento de las celdas de carga.

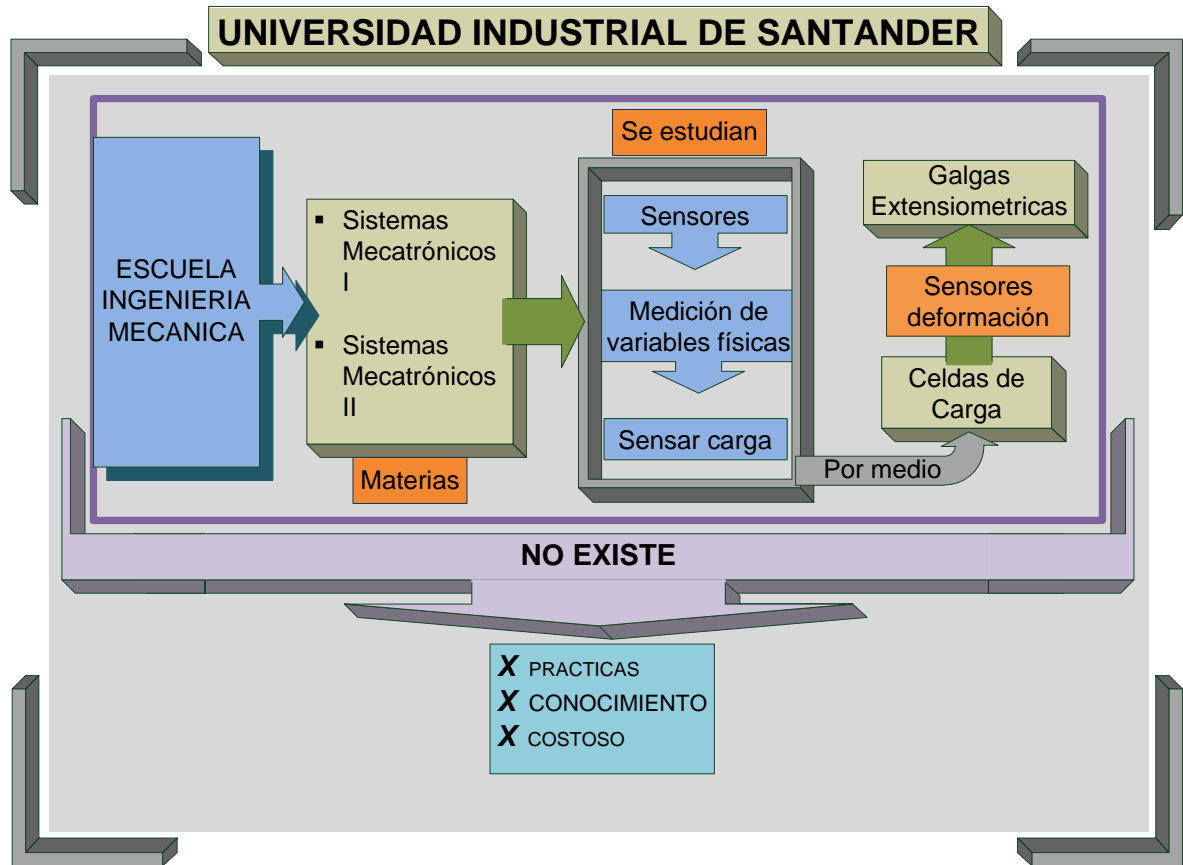
1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La universidad industrial de Santander en su continuo esfuerzo por cumplir con su misión, ha desarrollado estrategias para mejorar las capacidades intelectuales de sus estudiantes en la solución de cualquier tipo de problema. La escuela de ingeniería mecánica decidió fomentar conocimientos teóricos-prácticos en las áreas de electricidad, electrónica y automatización, aplicadas en las asignaturas de sistemas mecatrónicos I y II, en donde se realiza el estudio de sensores mediante el uso de diferentes tipos de instrumentación con el propósito de medir alguna variable física, ya sea: temperatura, deformación, presión, fuerza, etc.

Existen dispositivos electrónicos con los cuales se puede medir el valor de una fuerza aplicada llamados celdas de carga, elaboradas con sensores de deformación o galgas extensiométricas. Este dispositivo se encuentra en el laboratorio de automatización industrial, pero debido a que no existe un banco de prácticas para la utilización de este instrumento los estudiantes no pueden profundizar en su forma de medición, adquisición de datos, sensibilidad de la celda, compensación de los efectos térmicos y compatibilidad entre el material de la celda y la galga. La ausencia de este tipo de práctica conlleva a generar falencias al estudiante, ya que ellos desconocen los principios de funcionamiento y campos de aplicación de una celda de carga, por consiguiente no se podrá mejorar las capacidades del egresado en su campo laboral Figura 1.

Figura 1. Descripción del planteamiento del problema



Cabe resaltar que en el mercado hay diferentes tipos de celdas de carga, las cuales se diferencian por su principio de medición ya sean resistivos, capacitivos, piezoeléctricos, analógicos, digitales o wireless. Debido al constante avance tecnológico se utilizan con gran frecuencia, para medir el valor de una fuerza aplicada en cualquier tipo de elemento mecánico, estructural, cables, etc; adquiriendo una gran relevancia a nivel industrial, siendo un elemento necesario para realizar labores de trabajos importantes donde se involucre la seguridad de los trabajadores y la sociedad, como por ejemplo: se utilizan mucho en el área de la construcción, con la intención de medir las deformaciones en las vigas que sostienen los edificios o en los pisos de los mismos, en las grúas para medir el valor máximo de la carga que se puede levantar y así evitar accidentes, básculas

electrónicas y una gran diversidad de aplicaciones tanto industriales como académica.

1.2. JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA

En la actualidad, la universidad industrial de Santander ha estado mejorando las estrategias de formación para con sus estudiantes en la concepción de una gran cantidad de proyectos de investigación. En el programa académico de ingeniería mecánica se lleva a cabo una serie de trabajos sobre la construcción de un pozo inteligente para Campo Escuela Colorado, generando la construcción de celdas de carga por medio de galgas extensiométricas en el laboratorio de automatización industrial. Ésta investigación dejó como resultado una gran cantidad de información respecto a este tipo de sensor, es por esta razón que se decidió realizar un banco de pruebas con celdas de carga, en el cual se desarrollan una serie de prácticas de laboratorio con el propósito de que los estudiantes tengan un aprendizaje sobre temas de galgas extensiométricas y adecuación de la señal, efectos térmicos e instrumentos de medición, las cuales serán aplicadas en las asignaturas de sistemas mecatrónicos I y II.

Este proyecto busca aportar al estudiante de ingeniería mecánica competencias y habilidades en el área de electrónica y mecánica, con las cuales se logran afianzar los conocimientos adquiridos en las asignaturas. Además de beneficiar a los estudiantes y a la universidad, también resulta verse beneficiada la industria colombiana, porque en ella se utilizan una gran cantidad de transductores de carga.

1.3. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO

1.3.1. Objetivo generales. Contribuir a la universidad en el desarrollo de su misión, en la formación de personas de alta calidad con divulgación y desarrollo del conocimiento en las áreas de sistemas mecatrónicos I y II, con el diseño y construcción de un banco de pruebas para la realización de prácticas con celdas de carga

1.3.2. Objetivos específicos

- Diseñar y construir un banco didáctico a carga estática de 10.000 lb para adquisición de datos provenientes de una celda de carga a compresión o tensión. Como hardware de adquisición se utilizará:

- ✓ Un Arduino,
- ✓ Un módulo NI9237 (National Instrument),
- ✓ Un PLC Siemens S7-300 y un módulo A/D

- Para el banco didáctico, diseñar y desarrollar prácticas que permitan al estudiante:

- ✓ Realizar el montaje de un amplificador de instrumentación, con diferentes ganancias de amplificación.
- ✓ Analizar el efecto de la resolución en los diferentes canales de conversión Análogo–Digital (ADC) existentes en los dispositivos de control, mediante la toma de datos de una celda de carga utilizando:
 - Un Arduino con un ADC de 10 bits, un amplificador instrumental y un PC
 - Un PLC (Siemens) y un módulo A/D (ADC de 12 bits)
 - Un módulo National Instruments NI 9237 (ADC de 24 bits).
- ✓ Montar un cuarto de puente de Wheatstone, sin compensación de temperatura

- ✓ Montar medio puente de Wheatstone, con compensación de temperatura
- ✓ Montar un puente completo (4 galgas) de Wheatstone, con compensación de temperatura
- ✓ Realizar la calibración de celdas de carga utilizando un patrón de referencia (ver capítulo 4):
 - PLC Siemens S7-300 con módulo SIWAREX U y software SIWATOOL MS.
 - Calog – LC II Loadcell Calibrator

- Realizar un manual para las prácticas a desarrollar en el banco.

2. DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA LA REALIZACION DE PRACTICAS CON CELDAS DE CARGA

A través de los años, el hombre ha buscado de una u otra forma la manera más eficaz de poder realizar mediciones a variables físicas con alta precisión, logrando el diseño y construcción de transductores electromecánicos o celdas de carga, capaces de cumplir con esta necesidad, los cuales poseen un amplio campo de trabajo en cualquier industria.

En Colombia, los medios para el aprendizaje enfocado a la creación y uso de celdas de carga se encuentran poco desarrollados, esto, debido a que los elementos necesarios para la fabricación de celdas, son difíciles de adquirir. En el laboratorio de automatización industrial se llevó a cabo un proceso de fabricación de celdas de carga tipo columna para campo escuela Colorado, en donde se hizo la gestión y adquisición de galgas extensiométricas, adhesivos, lijas especiales y limpiadores, elementos necesarios para la creación de la celda. A partir de lo anterior, se cuenta con las herramientas necesarias para profundizar en el diseño de las celdas de carga, es por ésta razón que se decidió realizar un banco de pruebas, el cual se pueden realizar prácticas de laboratorio referentes a este sensor, las cuales serán aplicadas en las asignaturas de sistemas mecatrónicos I y II.

En la figura 2 se muestra de manera gráfica la descripción de este proyecto dando al lector una idea general de cada uno de los componentes

[1] adecuación del banco de pruebas

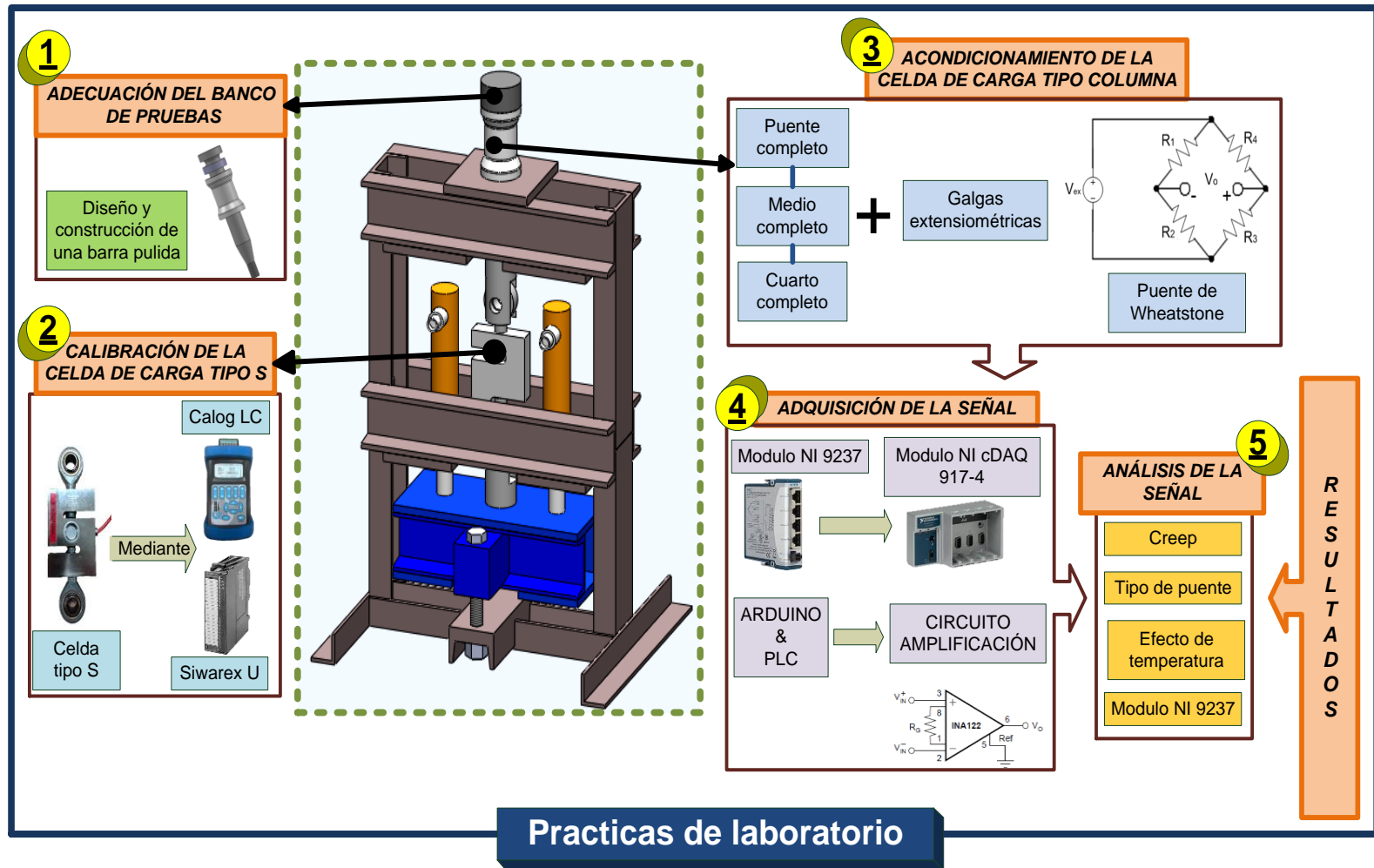
[2] calibración de la celda de carga tipo S

[3] acondicionamiento de la celda de carga tipo columna

[4] adquisición de la señal

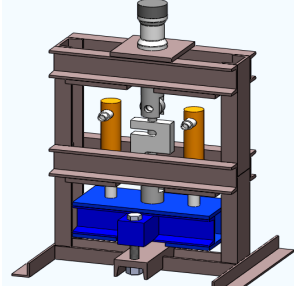
[5] análisis de la señal y resultados

Figura 2. Descripción del proyecto



El banco de pruebas que se utilizó para la realización de las practicas con celdas de carga, fue el que se propuso en el proyecto de “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CELDA DE CARGA PARA UN SISTEMA DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL DE CRUDO DE CAMPO ESCUELA COLORADO”. El objetivo principal del banco, consiste en transmitir la carga generada por los cilindros hidráulicos a la celda de carga tipo columna (Celda que se utilizó para el diseño de las prácticas), para lograr esto, fue necesario la utilización de los elementos que componen el banco y el diseño de una barra sometida a tensión tabla 1

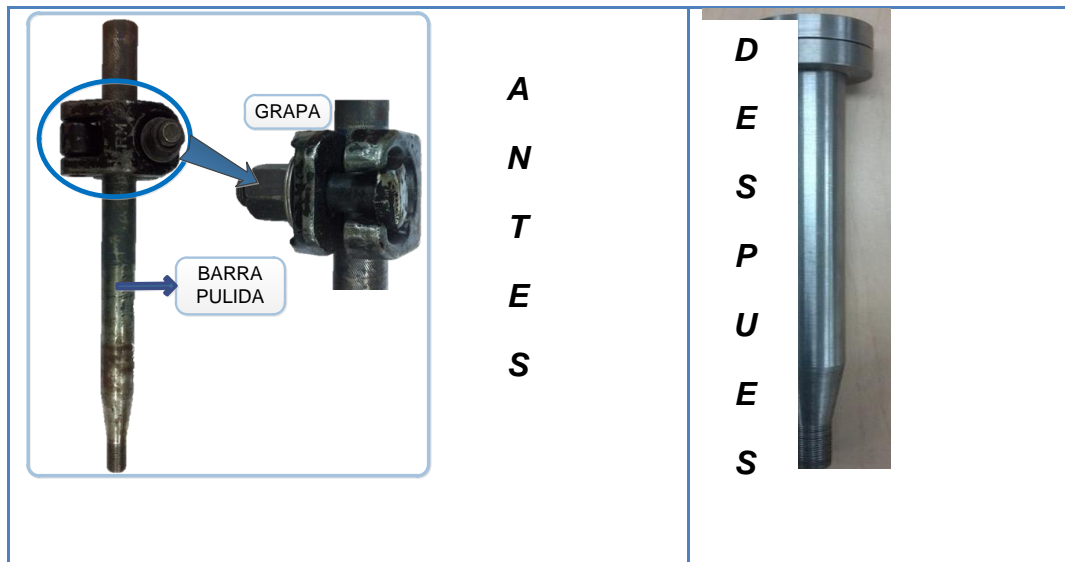
Tabla 1. Descripción del banco

<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cilindros hidráulicos Enerpac ✓ Celda de carga tipo S ✓ Bomba hidráulica manual Enerpac ✓ Estructura soporte ✓ Barra de tensión 	
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

2.1. ADECUACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS

Se realizó el diseño y construcción de una nueva barra pulida encargada de dar una conexión en serie entre la celda tipo s y celda tipo columna, para transmitir la misma carga en ambas celdas. Esto fue necesario porque cada vez que se hacían mediciones en el banco, se observó problemas con la barra pulida y la grapa cuando se llegaba a una fuerza mayor de 6000 lb, en ese instante la barra empezaba a deslizar y la grapa no era capaz de mantenerla en su sitio, produciendo errores en la medición cuando la carga aumentaba gradualmente hasta 10.000 lb figura 3.

Figura 3. Barra nueva

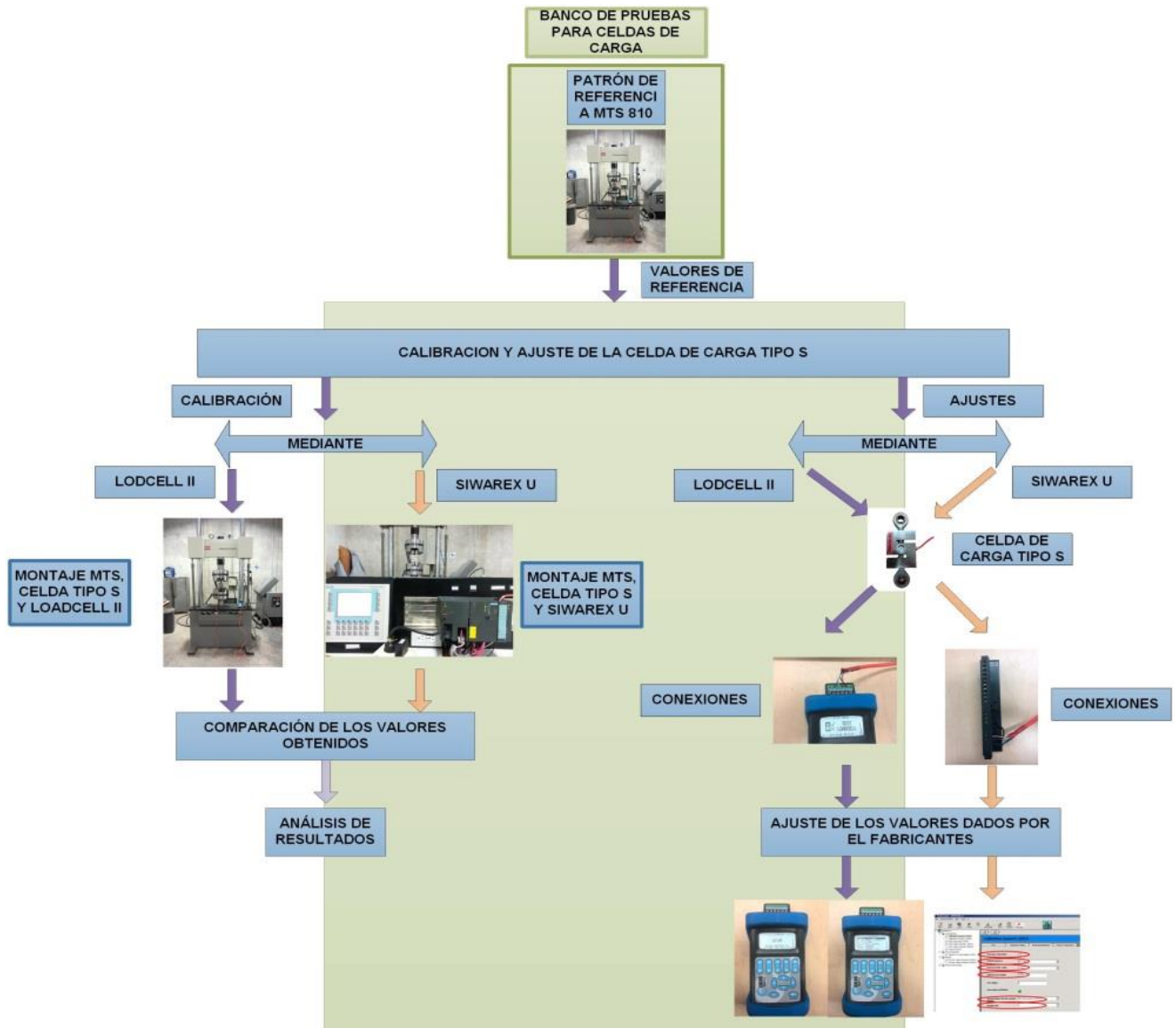


2.2. CALIBRACIÓN DE LA CELDA DE CARGA TIPO S

Para obtener fiabilidad sobre el valor medido de la carga en el banco de pruebas y permitir hacer la respectiva caracterización de la celda de carga tipo columna, se decidió calibrar y ajustar la celda de carga tipo S por medio de dos instrumentos, módulo de Siemens Siwarex U y Calog LC, ambos para calibración y visualización del valor de medición en el pesaje con celdas de carga

En la figura 4. Se puede observar cómo se llevó a cabo el proceso de calibración de la celda de carga tipo S, donde se ilustran los equipos de ajuste de carga, la celda de carga tipo S y el patrón de referencia que se utilizara para poder tener fiabilidad de los valores de cargas obtenidos en el banco de pruebas (Patrón de referencia; MTS 810).

Figura 4. Calibración y ajuste de la celda de carga tipo S

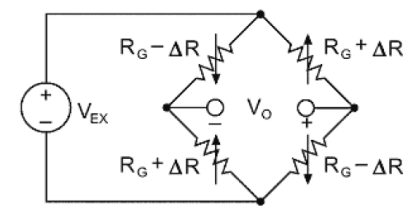
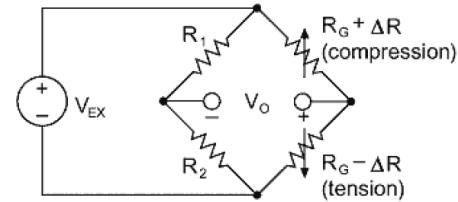
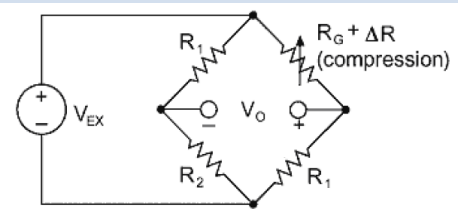


2.3. ACONDICIONAMIENTO DE LA CELDA DE CARGA TIPO COLUMNA

Se realizó el diseño de las galgas extensiométricas en la celda de carga mediante un puente de Wheatstone, las cuales se instalaron en una celda tipo columna con el objetivo de observar la sensibilidad, la compensación de temperatura y los efectos que ocurren en las mediciones con cada puente, en la tabla 2 se ilustra las características

para cada configuración del puente de Wheatstone (Puente completo, medio puente y cuarto de puente):

Tabla 2. Característica de las configuraciones del puente Wheatstone

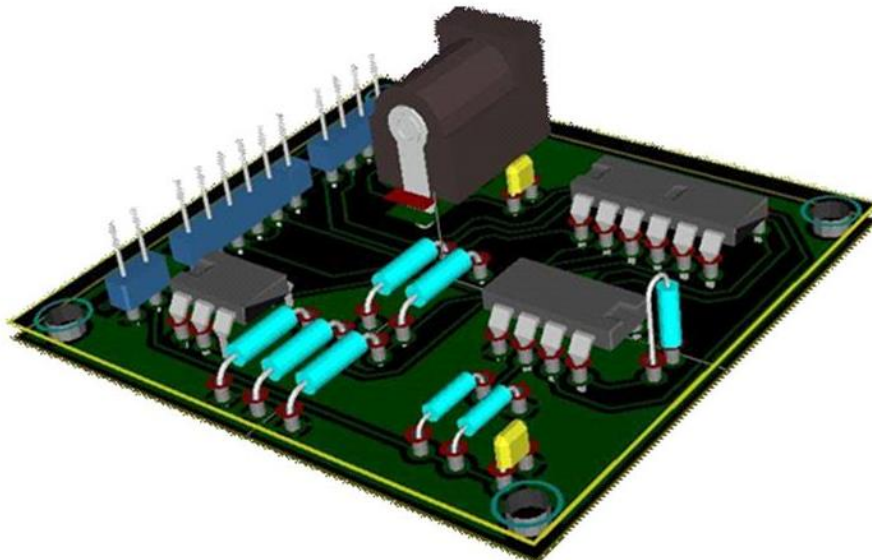
CONFIGURACIÓN DEL PUENTE DE WHEASTHON	COMPENSACIÓN DE TEMPERATURA	SENSIBILIDAD
<p>Puente completo</p> 	<p>En esta configuración, se puede realizar compensación de temperatura mediante la utilización de dos strain gages.</p>	<p>La sensibilidad para puente completo es la mayor en comparación respecto a los otros dos tipos de puente.</p>
<p>Medio puente</p> 	<p>En esta configuración se puede realizar la compensación de temperatura mediante la utilización de un strain gages.</p>	<p>La sensibilidad no es como la de puente completo, pero se mantiene por encima de la de cuarto de puente.</p>
<p>Cuarto de puente</p> 	<p>En esta configuración no se puede realizar compensación de temperatura, ya que en la configuración del puente se utiliza solo una galga y las otras resistencias son fijas.</p>	<p>La sensibilidad es muy poca respecto a las de puente medio y puente completo, ya que solo toma una sola parte de la deformación de la pieza.</p>

2.4. AMPLIFICACIÓN DE LA SEÑAL

Las salidas de voltajes en una celda de carga, son relativamente pequeñas y deben ser amplificadas para su correcta visualización. Es por esto que los acondicionadores de señal para galgas incluyen amplificadores para aumentar el nivel de la señal, incrementar la resolución de la medición y mejorar las relaciones de señal a ruido.

Se decidió implementar un circuito impreso de amplificación (PCB), debido a que la señal de salida de una celda de carga es de bajo voltaje, esto con el propósito de que la tarjeta de Arduino y el autómata programable puedan leer la señal. El cual consistió en un amplificador de instrumentación de referencia INA122, que contiene características favorables para la implementación tales como su bajo offset, polarización singular y sus ganancias altas. El *PCB* toma la señal de entrada que viene de la galga según corresponda su configuración (puente completo, puente medio, puente cuarto) y la amplifica hasta un valor de tensión el cual pueda ser medida usando el *ADC* del Arduino o del módulo del PLC.

Figura 5. PCB



2.5. ADQUISICIÓN DE LA SEÑAL

Para realizar la toma de datos a la salida de la celda de carga implico:

- Hardware de adquisición de datos
- Sistema de conexiones entre los diferentes dispositivos
- Diseñar y elaborar programas que permitan visualizar y guardar datos

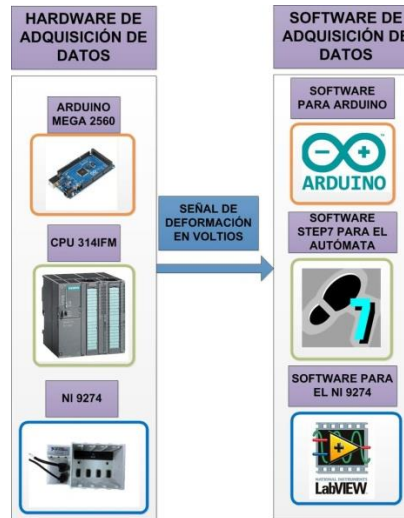
2.5.1. Hardware de adquisición de datos. Para este proyecto se decidió utilizar tres tipos de hardware para la adquisición de datos con el propósito de comparar los datos obtenidos en función de la resolución de cada dispositivo:

- Arduino mega 2560 con 10 Bits de resolución
- PLC Simatic S7-300 (PS de 5 Amper ,CPU 314 IFM y modulo A/D de PLC), con 12 Bits de resolución
- Chasis NI 917-4 y módulo NI9237, con 24 Bits de resolución

2.5.2. Sistema de Conexiones. Para las conexiones entre el hardware de adquisición de datos, PCB y el sensor, se siguieron las recomendaciones dadas por los fabricantes de Arduino, Siemens, Texas Instruments y Vishay, con el propósito de tener un buen resultado en ellas.

2.5.3. Software de adquisición de datos. El software de adquisición de datos, se estableció mediante el software manejado por las compañías fabricantes de los tres tipos de hardware que se implementaron para este proyecto, los cuales comprenden de lenguajes de programación bastante didácticos con el estudiante y de buen tratamiento con la señal figura 6.

Figura 6. Hardware y Software de programación



2.6. ANÁLISIS DE LA SEÑAL Y RESULTADOS

Se quiere estudiar el comportamiento de las galgas y revisar conceptos como, Creep, efectos térmicos y sensibilidad en cada uno de los puentes, para esto se realizaron prácticas de laboratorio donde el estudiante puede interactuar de forma real y mejorar su aprendizaje en el tema de celdas de carga.

2.7. PROPÓSITO DE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO

Una vez calibrada la celda de carga tipo S, el diseño de la barra a tensión y el sistema adquisición de datos, se prosigió al diseño de las prácticas de laboratorio, con base a la celda de carga tipo columna. En las siguientes figuras se observara cada práctica que se diseñó en este proyecto.

Figura 7. Práctica de CREEP CODE

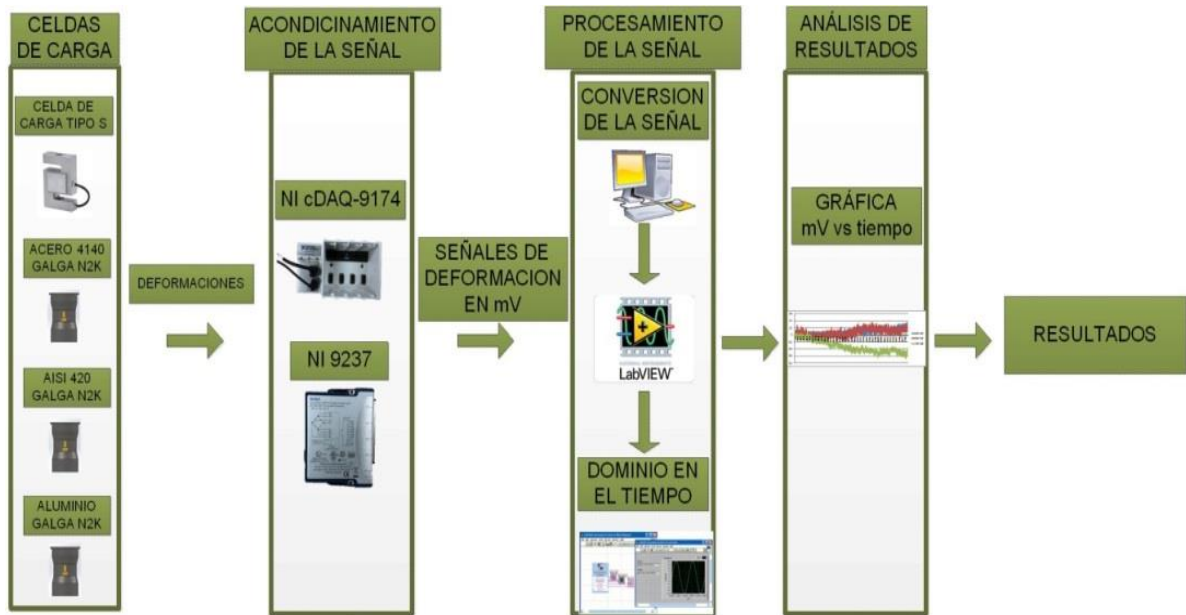


Figura 8. Práctica de amplificación de señal

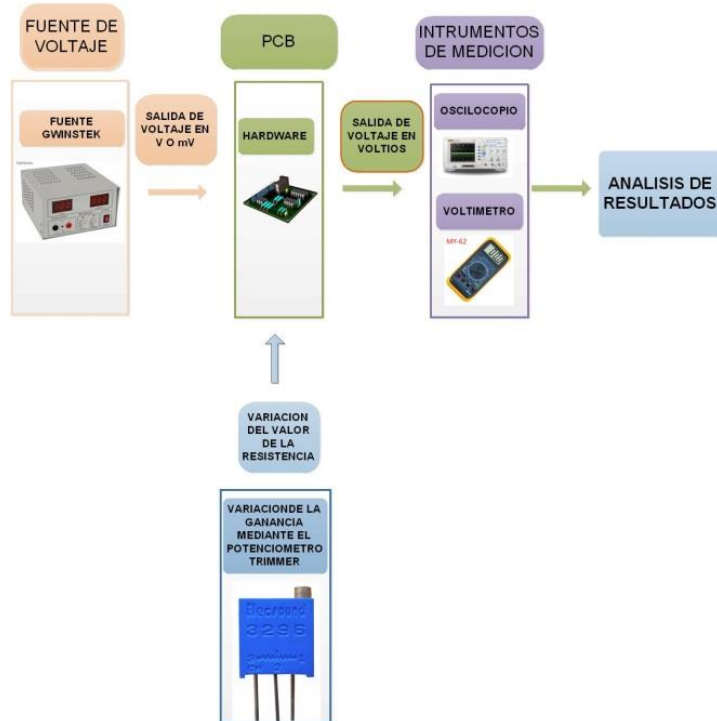
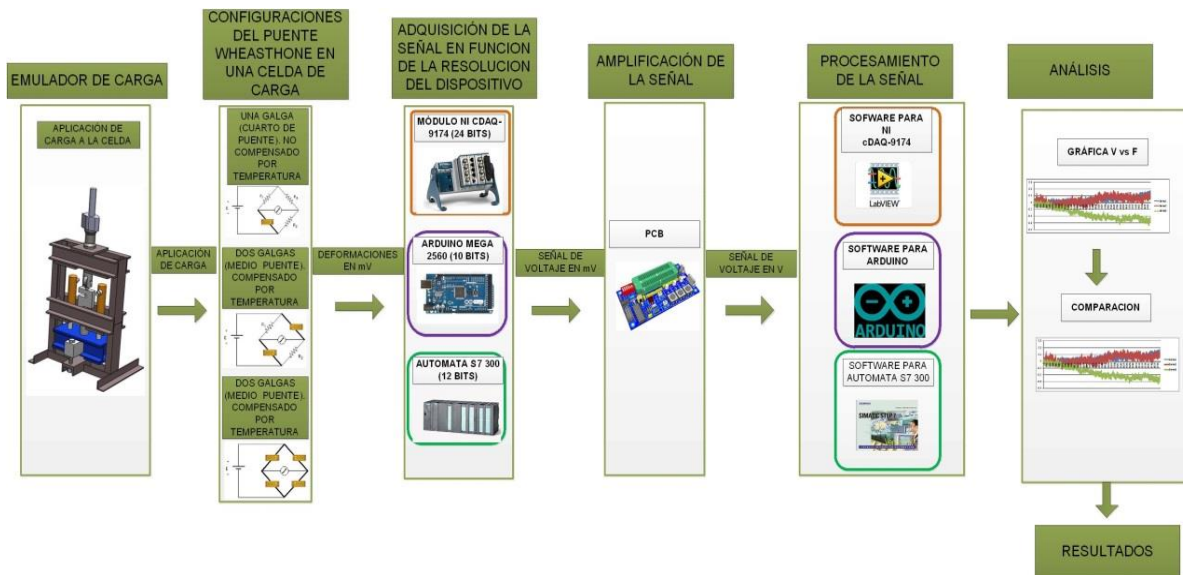


Figura 9 Práctica de diseño de celdas de carga mediante la configuración del puente de Wheatstone y efectos de temperatura



2.8. MANUALES DE USUARIO

Con el propósito de trabajar las prácticas de una manera didáctica y ordenada, se desarrollaron manuales de usuario, los cuales se encuentra cada práctica con la celda de carga tipo columna y conceptos teóricos:

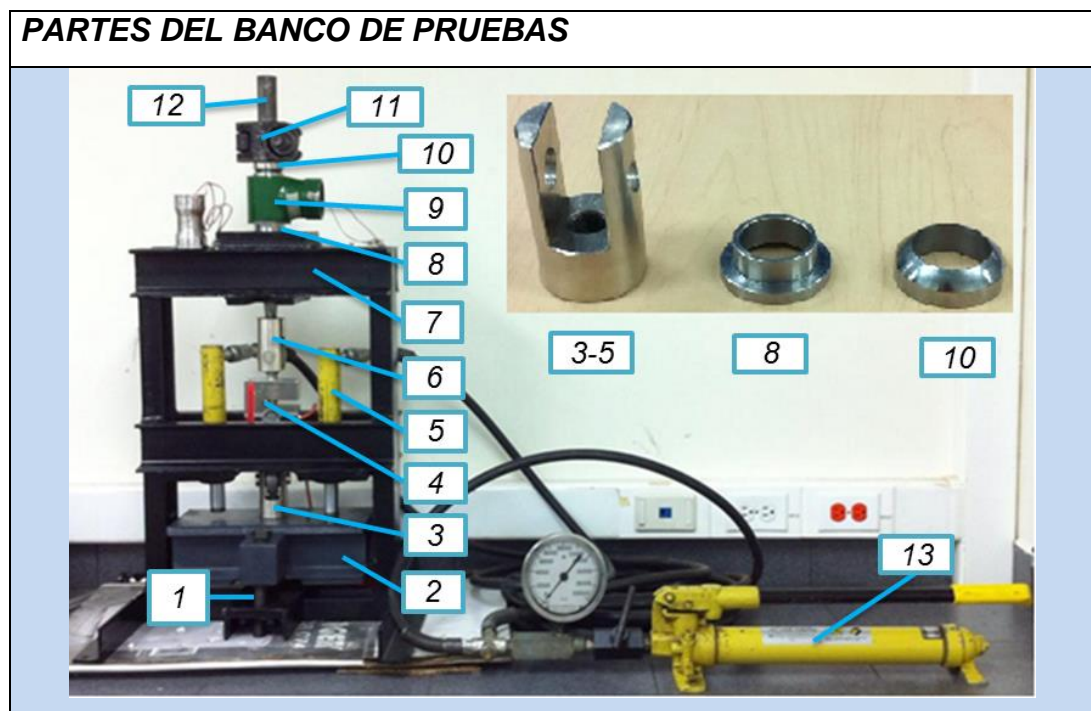
Figura 10. Manuales de usuario



3. ADECUACIÓN Y UTILIZACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS ESTÁTICO DE 10000 LB

En el laboratorio de automatización industrial se encuentra el banco de pruebas estático con capacidad máxima de 10.000 lb figura 11, diseñado y construido en el proyecto “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CELDA DE CARGA PARA UN SISTEMA DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL DE CRUDO DE CAMPO ESCUELA COLORADO”, con el objetivo de probar el correcto funcionamiento y caracterización de una celda de carga tipo columna a compresión de 10.000 lb, luego de su fabricación.

Figura 11. Partes del banco de prueba



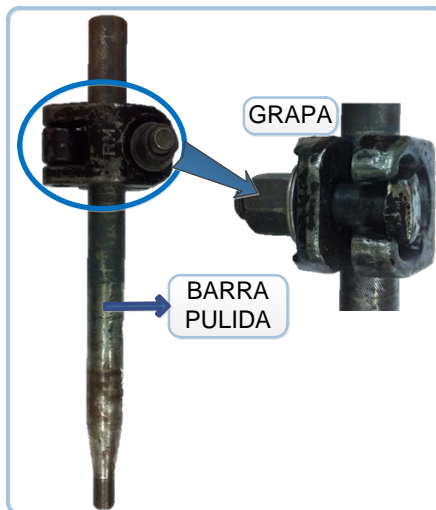
NUMERO PIEZA	CANTIDAD	NOMBRE
1	2	Tornillo de fijación
2	1	Ensamble base
3	1	Rotula inferior
4	1	Celda de carga tipo S
5	2	Cilindros hidráulicos Enerpac
6	1	Rotula superior

NUMERO PIEZA	CANTIDAD	NOMBRE
7	1	Estructura del banco
8	2	Anillo centrador
9	1	Celda de carga tipo columna
10	2	Anillo nivelador
11	1	Grapa
12	1	Barra pulida
13	1	Bomba manual hidráulica

El banco cuenta con una celda de carga tipo S de 10.000 lb a tensión la cual se encarga de sensar la carga generada sobre la celda tipo columna de 10.000 Lb sometida a compresión, a la que se realiza su respectiva caracterización. Esto se logra por que las dos celdas están conectadas en serie y la fuerza generada por un par de cilindros hidráulicos se transmite de manera uniforme por medio de una barra pulida que tiene una grapa la cual se encarga de generar la compresión sobre la celda de carga tipo columna.

Cuando se llevaron a cabo diferentes mediciones en el banco, se pudo observar problemas con la barra pulida y la grapa figura 12, esto se evidencio cuando se llegaba a una fuerza mayor de 6000 lb, la barra intentaba deslizarse y la grapa no era capaz de mantenerla en su sitio, produciendo errores en la medida cuando se quería ir hasta las 10.000 lb.

Figura 12. Barra pulida & grapa



Es por esto que se decide diseñar y construir una nueva barra pulida figura 13, que sea un solo elemento (barra + grapa) y así evitar deslizamientos que afecten las mediciones. Para lograr esto se tiene en cuenta que cuando se aplique la fuerza por medio de los cilindros hidráulicos se logre que la celda tipo columna se deforme primero que la barra pulida y que la deformación de la barra sea muy pequeña, lográndose así una medición más precisa.

Figura 13. Barra nueva



3.1. DISEÑO DE LA BARRA SOMETIDA A TENSIÓN

3.1.1. Diseño por carga estática. Para el diseño y construcción de la nueva barra se tuvieron en cuenta algunas características geométricas ya establecidas en el banco de pruebas como son: diámetro de la rosca, diámetro de la barra, longitud de la barra entre otras, esto se debe a que algunos de los componentes ya están fabricados bajo estas medidas y no es rentable modificar alguna otra pieza.

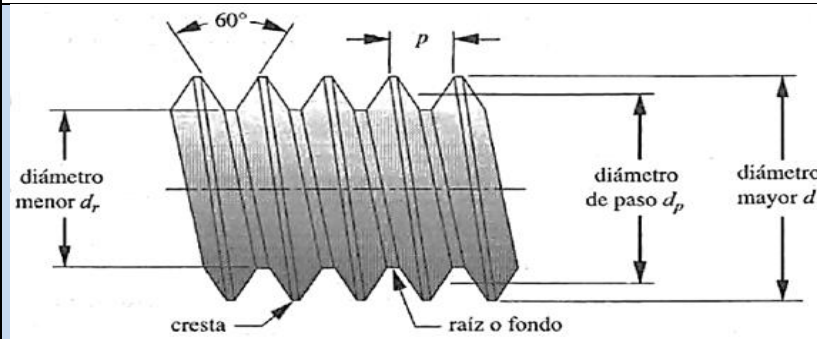
Una vez se estableció la geometría de la barra tabla 3, se decidió realizar los cálculos pertinentes con el fin de encontrar un material que soporte 15000 lb a tensión y que sea capaz de brindar deformaciones pequeñas.

Tabla 3. Características geométricas de la barra

GEOMETRÍA DE LA BARRA	MAGNITUD [cm]
Longitud de la barra	31
Diámetro de la barra	3.175
Longitud de la rosca	3.1
Diámetro exterior de la rosca	1.905
Diámetro de la cabeza	5.6
Redondeo	0.5
Diámetro exterior del buje	5.6
Diámetro interior del buje	3.78

Como en la rosca se encuentra uno de los puntos más críticos debido a que se tiene el menor diámetro y por ende la menor área transversal sometida a un esfuerzo de tensión, es por esta razón que se decide iniciar los cálculos en este punto.

Tabla 4. Esfuerzo de la rosca

ESFUERZO EN LA ROSCA		
		
DATOS		
Parámetro	Ecuación	Valor
Fuerza	-	$F_{max} = 15\ 000$ [Lb]
Diámetro exterior	-	$d = 19,05$ [mm]
Paso	-	$p = 6$ [mm]
RESULTADOS		
Área de esfuerzo a tensión	$A_t = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_p + d_r}{2} \right)^2$	$A_t = 141,457$ [mm ²] $A_t = 0,2192$ [pul ²]
Para roscas ISO	$d_p = d - 0,649519 * p$ [mm] $d_r = d - 1,226869 * p$ [mm]	$d_p = 15,153$ [mm] $d_r = 11,688$ [mm]
Esfuerzo varilla roscada a tensión	$\sigma_t = \frac{F_{max}}{A_t}$	$\sigma_t = 472,8$ [Mpa] $\sigma_t = 68412,3$ [psi]

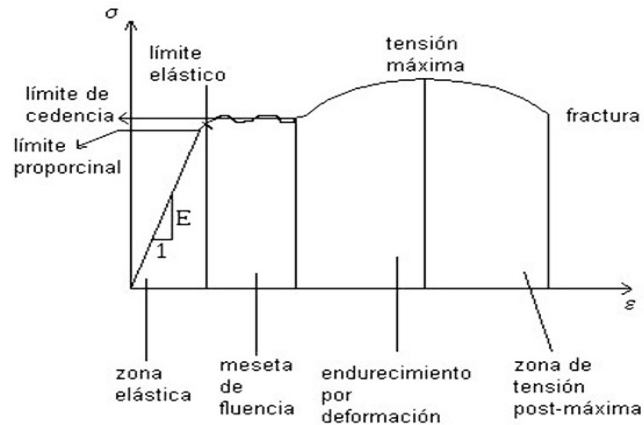
De la anterior tabla se obtiene un esfuerzo a tensión sometido en la rosca de 472,8 Mpa o 68,41 kpsi, se decide escoger un acero SAE 4140 bonificado de la empresa Cia. General de Aceros S.A., el cual cuenta con las siguientes características tabla 5.

Tabla 5. Propiedades mecánicas acero SAE 4140

PROPIEDADES MECÁNICAS A TEMPERATURA AMBIENTE					
Estado de suministro	Resistencia a la tracción MPa	Limite elástico MPa	Alargamiento %	Reducción de área %	Dureza Brinell aprox.
Bonificado	850 - 981	735	14	47	260 - 320

El acero SAE 4140 es un material económico y de fácil adquisición en el mercado, que cumple con los requisitos de este diseño, figura 14, éste material cuenta con un límite de fluencia muy por encima que el calculado para la carga de 10.000 [Lb], por lo cual se mantiene dentro de la zona elástica y así la barra mantiene su longitud original cada vez que se realice una prueba.

Figura 14. Diagrama esfuerzo – deformación



Fuente: Diseño en ingeniería mecánica Joseph E. Shigley, sexta edición

Para calcular el factor de seguridad se tiene:

$$\sigma = \frac{S_y}{n} \quad [1]$$

Dónde:

σ Esfuerzo aplicado

S_y Límite de fluencia del material

n Factor de seguridad

$$n = \frac{S_y}{\sigma_t} = \frac{735}{472,8} = 1,6$$

Este factor de seguridad se corroboró por medio de un análisis CAD en el programa Solidworks, donde el software arroja un valor de 1,8 por el método esfuerzo de rotura.

También se necesita que la deformación en la barra sea lo más pequeña cuando se apliquen 10 000 Lb que es la capacidad máxima que ofrece el banco. Con una longitud en el tornillo de 1,3 in y módulo de elasticidad 30,45E6 para el acero SAE 4140 se tiene:

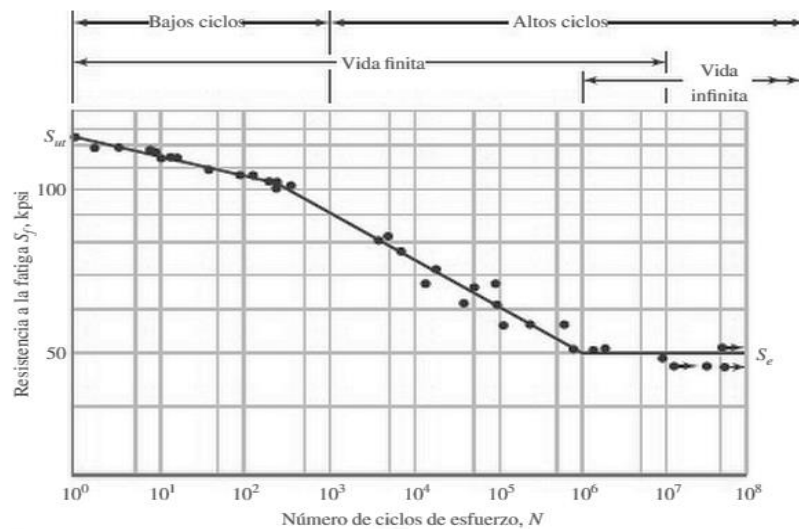
$$\Delta L = \frac{F * L}{A * E} \quad [2]$$

$$\Delta L = \frac{10000 * 1,3}{0,2192 * 30,45E6}$$

$$\Delta L = 1,947E - 3 \text{ pulg} = 0,049 \text{ mm}$$

3.1.2. Diseño por carga dinámica (fatiga). Debido a que la barra no se va a mantener en funcionamiento todo el tiempo, el número de ciclos no va ser tan alto, por lo tanto no se requiere un diseño para vida infinita figura 15. Es por eso que se decide calcular la vida esperada o ciclos de la barra para vida finita.

Figura 15. Diagrama S – N



Fuente: Diseño en ingeniería mecánica Joseph E. Shigley, sexta edición

3.1.3. Límite de resistencia a la fatiga

$$S'_e = \begin{cases} 0,5 * S_{ut} & S_{ut} \leq 200 \text{ Kpsi (1400MPa)} \\ 100 \text{ Kpsi} & S_{ut} > 200 \text{ Kpsi} \end{cases}$$

Para el SAE 4140 $S_y=735 \text{ [MPa]} = 106,6 \text{ [Kpsi]}$

$$S_{ut}=850 \text{ [MPa]} = 123,3 \text{ [Kpsi]}$$

$$S'_e = 0,5 * 123,3 = 61,65 \text{ Kpsi}$$

3.1.4. Resistencia a la fatiga

Para el número de ciclos en vida finita

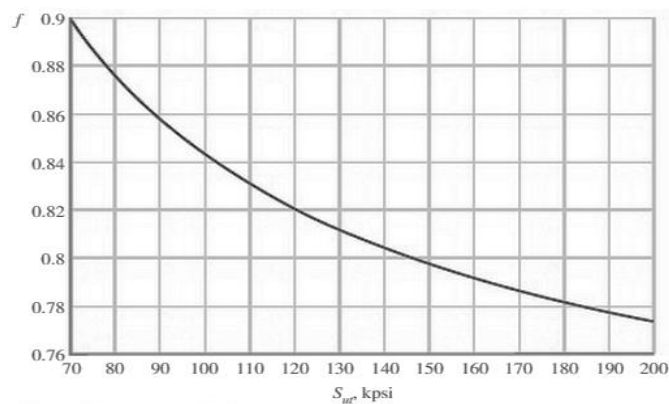
$$N = \left(\frac{\sigma_a}{a}\right)^{\frac{1}{b}} \quad [3]$$

$$a = \frac{(fS_{ut})^2}{S_e} \quad [4]$$

$$b = -\frac{1}{3} \log \frac{(fS_{ut})}{S_e} \quad [5]$$

Para el cálculo de la fracción de la resistencia a la fatiga f figura 16

Figura 16. Curva fracción de la resistencia a la fatiga f



Fuente: Diseño en ingeniería mecánica Joseph E. Shigley, sexta edición

3.1.5. Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga

$$S_e = K_a K_b K_c K_d K_e K_f S'_e \quad [6]$$

Factor de superficie K_a

$$K_a = a(S_{ut})^b \quad [7]$$

Para los parámetros a y b tabla 6 con acabado superficial maquinado

Tabla 6. Parámetros a y b del factor superficial

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{ut} kpsi	S_{ut} MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

$$K_a = 2,70(123,3)^{-0,265} = 0,75$$

Fuente: Diseño en ingeniería mecánica Joseph E. Shigley, sexta edición

Factor de tamaño K_b

Para carga axial no hay efecto de tamaño, por lo cual:

$$K_b = 1$$

Factor de carga K_c

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión}^1 \end{cases}$$

Para carga axial el factor es:

$$K_c = 0,85$$

Factor de temperatura K_d

Shigley propone varias ecuaciones para tomar en consideración la reducción del límite de resistencia a la fatiga a temperaturas moderadas altas. La temperatura donde se encuentra la barra estará siempre ≤ 450 °C por lo tanto:

Para $T \leq 450 \text{ }^\circ\text{C}$ $K_d = 1$
 Para $550^\circ\text{C} \leq T \leq 450^\circ\text{C}$ $K_d = 1 - 0,0059(T - 450)$ [8]

Factor de confiabilidad K_e

El factor de modificación de la confiabilidad aplicable puede describirse como:

$$K_e = 1 - 0,08Z_a \quad [9]$$

Shigley proporciona la tabla 7 donde se muestran los factores de confiabilidad para una desviación estándar supuesta del 8% .

Tabla 7. Factor de confiabilidad

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_a	Factor de confiabilidad k_e
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Se asume una confiabilidad del 99%

$$K_e = 0,814$$

Factor de efectos varios K_f

Este factor depende de algunos de los siguientes parámetros

- Corrosión
- Efecto electrolítico
- Frecuencia cíclica
- Metalizado por aspersion

Se asume un $K_f = 1$

Finalmente para la barra de acero SAE 4140 y utilizando la ecuación [6] para el cálculo del límite de la resistencia a la fatiga:

$$S_e = K_a K_b K_c K_d K_e K_f S'_e$$

$$S_e = 0,75 * 1 * 0,85 * 1 * 0,814 * 1 * 61,65$$

$$S_e = 31,99 \text{ Kpsi}$$

3.1.6. Cálculo del número de ciclos. De la barra se sabe que la falla probablemente ocurrirá en la parte roscada esto se debe a que muestra una sección transversal menor.

Para el cálculo del número de ciclos se tiene que el esfuerzo a tensión en la rosca es de 68,412 Kpsi siendo este esfuerzo mayor que S_e y menor que S_y . Esto significa que hay una vida finita sin fluencia.

Para el cálculo de vida finita se utiliza la ecuación [3], con una resistencia última tracción, $S_{ut}=850 \text{ [MPa]} = 123,3 \text{ [Kpsi]}$. De la figura 15, $f = 0,817$. A partir de la ecuación [4]

$$a = \frac{(fS_{ut})^2}{S_e} = \frac{(0,817 * 123,3)^2}{31,99} = 317,2 \text{ Kpsi}$$

y de la ecuación [5]

$$b = -\frac{1}{3} \log \frac{(fS_{ut})}{S_e} = -\frac{1}{3} \log \frac{(0,817 * 123,3)}{31,99} = -0,16605$$


De la ecuación [6]

$$N = \left(\frac{\sigma_a}{a} \right)^{\frac{1}{b}} = \left(\frac{68,412}{317,2} \right)^{-\frac{1}{0,16605}} = 10,28(10^3) \text{ ciclo}$$

4. CALIBRACIÓN DE LA CELDA DE CARGA TIPO S

Se realizó la calibración de la celda de carga tipo S de tensión o compresión con una capacidad de 10000 Lb, mediante instrumentos de ajustes Siwarex U y Calog LC II respecto a la maquina universal de ensayos MTS 810, ya que esta es el patrón de referencia encargado de sensar la carga aplicada en el banco de pruebas sobre la celda de carga tipo columna con la cual se diseñó las prácticas. En la tabla 8 se pueden observar las características de la celda de carga tipo S.

Tabla 8. Características de la celda de carga tipo S

CARACTERISTICA	MAGNITUD	
Marca	Sensotronics	
capacidad	10000 Lb	
Tipo	Tensión	
sensibilidad	3.0004 mV/V	
Cero de salida	0.25 % F.S	
Resistencia de entrada	409.8 Ω	
Resistencia de salida	352.3 Ω	
Resistencia de aislamiento	$\geq 5000 \text{ M}\Omega$	

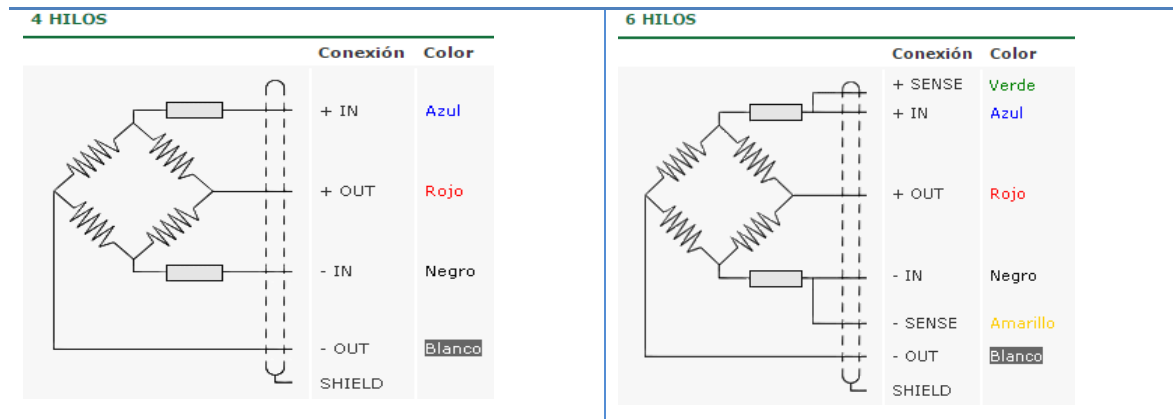
Las celdas de carga poseen algunas características importantes, que hacen que sea más sencilla la conexión con cualquier dispositivo de ajuste, las cuales son:

- ✓ Cantidad de hilos (Seis hilos y cuatro hilos)
- ✓ Colores de hilos

La celda de carga de 4 hilos, solo posee líneas de \pm para la señal y líneas de \pm para la excitación, mientras que la de 6 hilos, tiene 2 hilos adicionales "SENSES", para mantener constante la alimentación en la celda de carga, estas líneas de sensado, están conectadas a las líneas de excitación, con el objetivo de sensar el voltaje actual de

entrada a la celda de carga detectando alguna caída de tensión y enviando una señal al dispositivo de ajuste con una instrumentación adecuada. Se utilizan especialmente para cables largos y amplio margen de temperatura figura 17.

Figura 17. Tipos de hilos en una celda de carga



Los hilos de la celda de carga, están diferenciados por colores para ayudar a establecer las conexiones correctas con el dispositivo de ajuste. La celda de carga tipo S, con la cual se llevó el proceso de sensado de la carga en el banco de pruebas, cuenta con cuatro hilos a la salida como se muestra en la figura 18.

Figura 18. Conexión de hilos en la celda de carga tipo S

COLOR	FUNCIÓN
Azul	Excitación +
Negro	Excitación -
Blanco	Señal +
Rojo	Señal -
Thick Yellow	Shield

4.1. MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS MTS 810

La máquina universal de ensayos figura 19, es un sistema de circuito cerrado que puede ser configurado para satisfacer una variedad de prueba, gracias al innovador diseño del

bastidor de carga ofrece un servicio confiable para todo tipo de entornos de prueba y laboratorio. Es un equipo con un sistema hidráulico que permite la realización de ensayos convencionales de compresión, tracción y fatiga, bajo el control de desplazamiento o de fuerza. Su software incorporado permite la recogida y tratamiento de datos para ser procesados con alta velocidad y precisión. Éste equipo se puede encontrar en el laboratorio de caracterización de materiales de la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

Figura 19. Máquina de ensayos MTS 810



4.2. EQUIPOS DE AJUSTE DE CELDAS DE CARGA

Para saber que tan confiables son los datos obtenidos de la celda de carga tipo S, se sometió la celda a una prueba de tensión en la máquina de ensayos universal MTS 810,

donde se comparó el valor de carga sensado con la tipo S y el valor dado por la MTS 810, por medio de los siguientes dispositivos de ajuste:

- ✓ SIWAREX U
- ✓ LOADCELL II

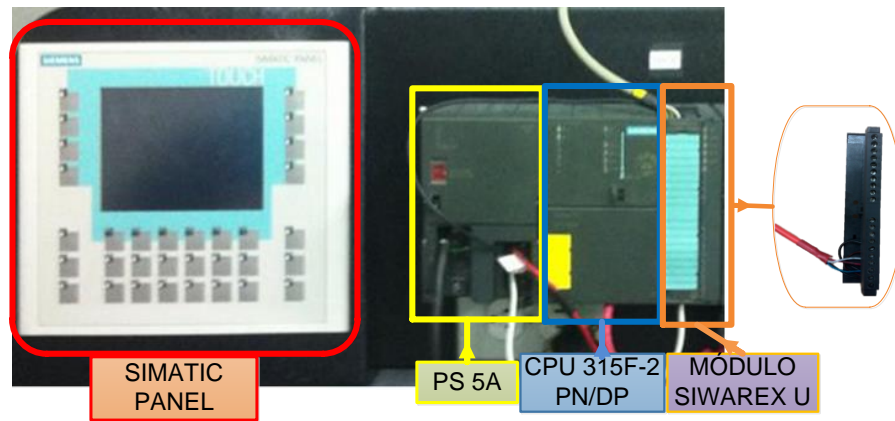
4.2.1. Siwarex U (módulo de pesaje). SIWAREX U, es un módulo de pesaje versátil para todas las tareas sencillas de pesaje y dinamometría. Se utiliza conectando de forma centralizada en un SIMATIC S7-300, un S7-400 o S5 que son controladores de la marca Siemens, además también pueden ser utilizados por controladores de otros fabricantes.

En cualquier lugar donde se realicen mediciones con sensores como celdas de carga, sensores dinamométricos o medidores de par, SIWAREX U es la mejor solución. Por ejemplo, para el control del nivel en silos y depósitos, en la vigilancia de cargas de una grúa. Esto significa, que en cualquier proceso industrial donde se deba detectar pesos, una de las opciones para realizar mediciones con celdas de carga es el SIWAREX U.

Para este proyecto se utilizó una CPU 315F-2 PN/DP, ésta es una de tipo compacta, en la cual viene incorporado el módulo de pesaje SIWAREX U. Para las respectivas conexiones entre el SIWAREX U y la celda de carga se realizaron mediante las recomendaciones que se encontraron en el manual del SIWAREX U.

Para visualizar el valor obtenido por la celda de carga y el SIWAREX U, se utilizó el panel Simatic de siemens, en la figura 20 se muestra el montaje de los elementos del autómatas, que fueron necesarios para poder ajustar y visualizar la carga

Figura 20. Montaje del autómata S7 300



4.2.1.1. Comparación de carga MTS 810 vs Tipo S mediante SIWAREX U

Figura 21. Montaje de la celda tipo S en el Siwarex U y la MTS 810

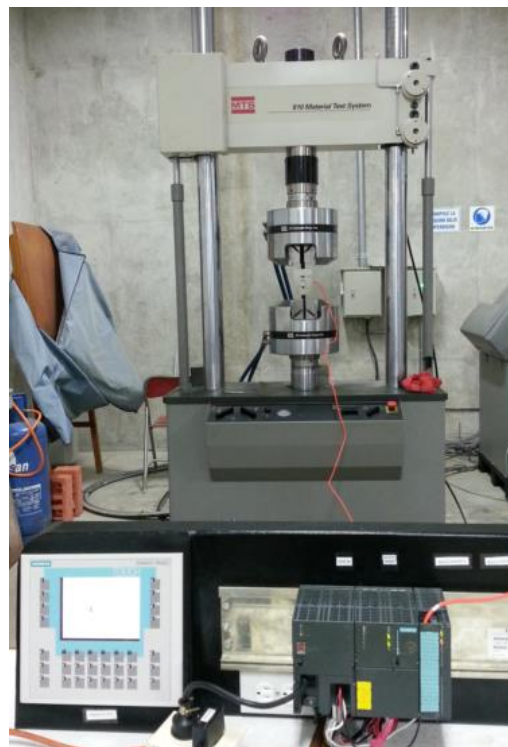
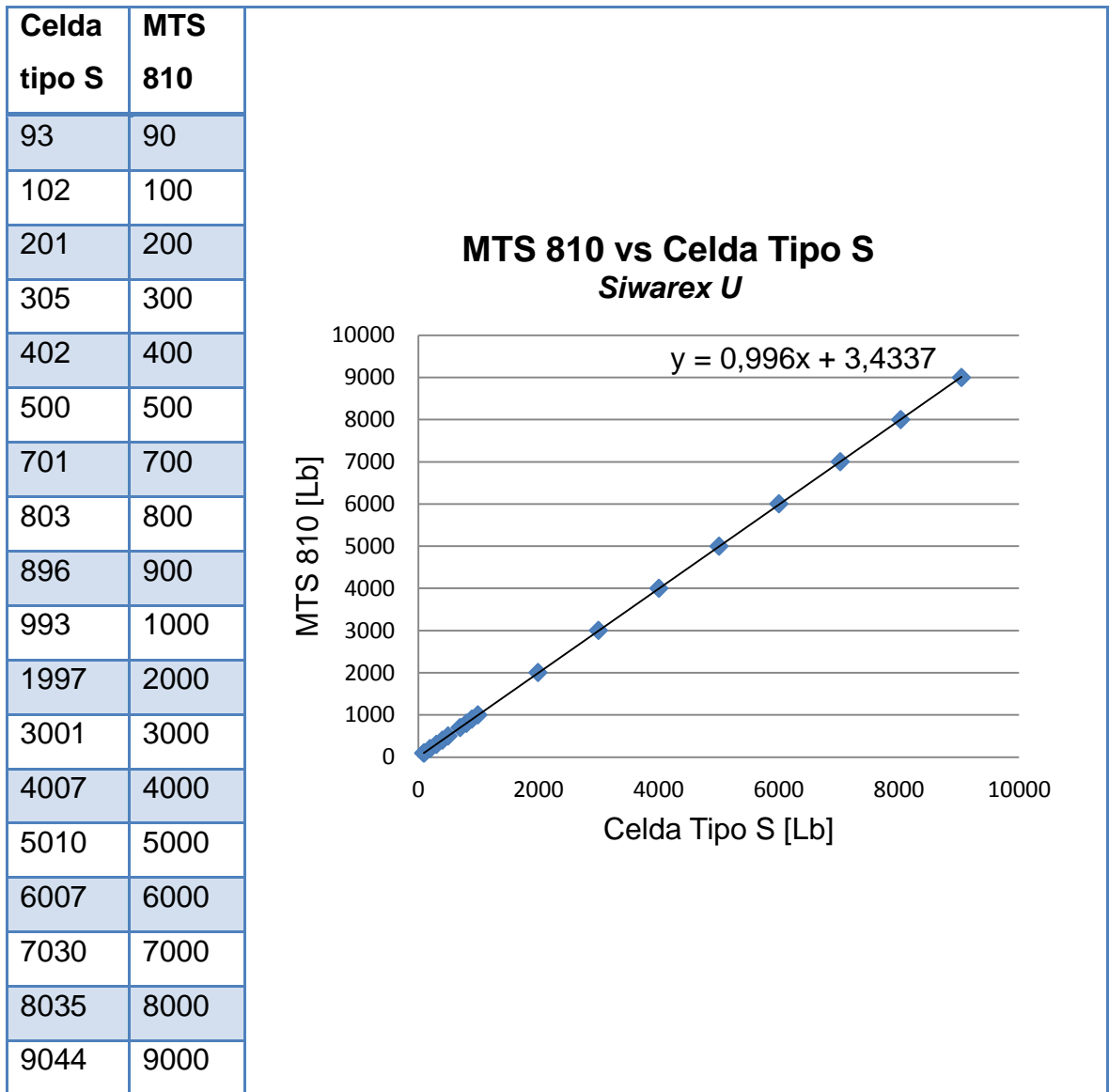
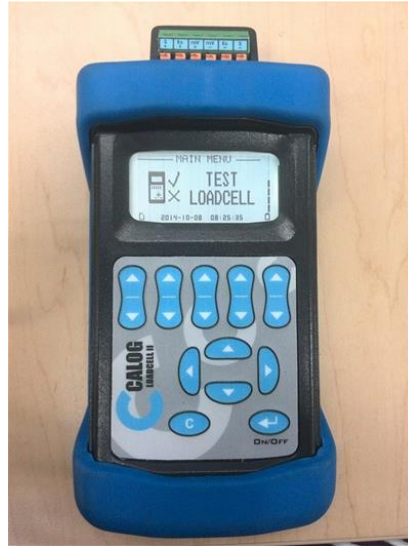


Tabla 9. Comparación de la carga de la MTS 810 vs Tipo S



4.2.2. Loadcell II (CALOG- LCII). El Calog LOADCELL II figura 22, es un instrumento de ajuste de celdas de carga, en el cual se pueden introducir las características técnicas dadas por el fabricante y visualizar el valor de la carga que se está sensando. Este instrumento posee una ventaja mayor que el Siwarex U, debido a que es portable y de rápida conexión la celda de carga tipo S.

Figura 22. Calog LOADCELL II

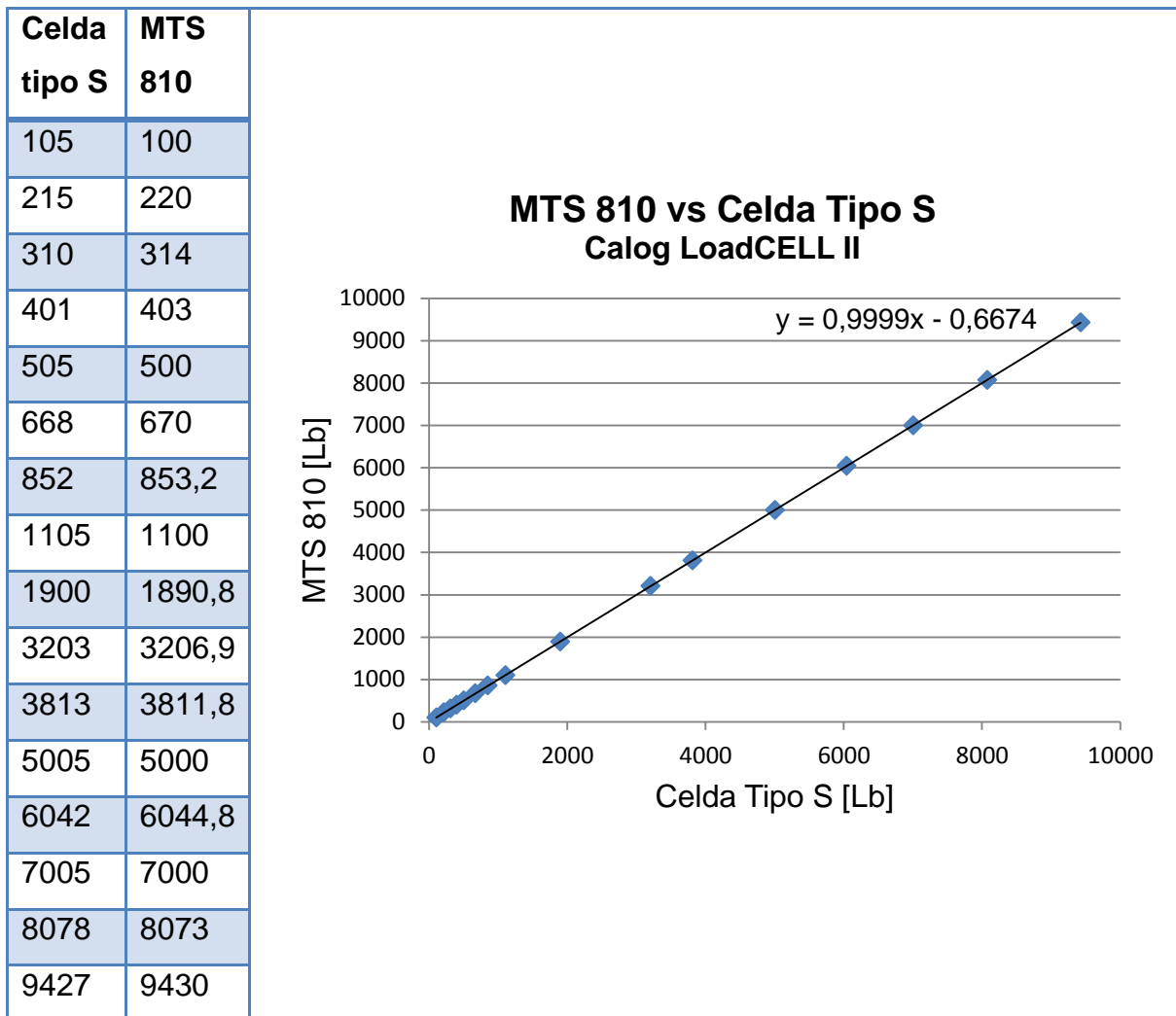


4.2.2.1. Comparación de carga MTS 810 vs Tipo S mediante Calog Ladcell II

Figura 23. Montaje celda tipo S con el LOADCELL II en la MTS 810



Tabla 10. Valores obtenidos de la MTS 810 y los valores de la celda tipo S mediante el CALOG LCII



Al obtener los datos de la MTS 810 y los valores la celda tipo S mediante el LOADCELL II y el SIWAREX U, se verifica que tan confiable son los valores de la tipo S y según los datos que se observan en las figuras anteriores, la variación de unos datos respecto a los otros, considerando las altas cargas que se sensaron, no es tan considerable, por lo tanto se establece que la celda de carga tipo S, es un sensor muy fiable.

Tabla 11. Comparación entre Siwarex u y Loadcell II

DESCRIPCIÓN	LOADCELL II	SIWAREX U
Programación	El loadcell II posee una programación didáctica y de fácil manejo.	Su programación no es tan sencilla como lo es en el loadcell II, ya que con el SIWAREX U hay que realizar un programa en el autómata y hacer la interface entre el programa step 7 y el siwatool U (El siwatool es un programa para el ajuste de celdas de carga)
Portabilidad	Es un instrumento de medición que posee una facilidad para ser transportado por el usuario, esto debido a su pequeño volumen y peso.	La portabilidad es una de los problemas que posee el SIWAREX U, ya que para utilizar el módulo del autómata hay que tener la CPU para cargar el programa y la PS para su alimentación de energía, además se debe realizar el programa en una computadora.
Costo	Tiene un costo relativamente considerable respecto a su funcionalidad.	Su costo está por encima del LOADCELL II
Operación	Fácil operación	Fácil operación
Conexiones	Posee una gran facilidad y comodidad para realizar sus respectivas conexiones.	Posee la misma facilidad y comodidad para las conexiones que el LOADCELL II.

5. ACONDICIONAMIENTO DE LA CELDA DE CARGA TIPO COLUMNA DE 10000 LB PARA LAS PRÁCTICAS

En el proyecto de grado DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CELDA DE CARGA PARA UN SISTEMA DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL DE CRUDO DE CAMPO ESCUELA COLORADO, se hace un estudio detallado sobre la fabricación de celdas de carga tipo columna sometidas a compresión. En el usaron 4 tipos de materiales (AISI 420, SAE 1045, SAE 4340 y Alumold 500) y dos tipos de strain gages de la serie N2A y N2K en una configuración de puente completo.

Para el proceso de diseño de la celda los autores tuvieron en cuenta algunas características como, el tipo de material debe ser resistente a condiciones ambientales y a la carga que será sometida generando suficiente deformación, cumpliendo con los requerimiento de las strain gages (1500 Microstrain) y la compatibilidad del material con el tipo de galga (Creep Code).

Las celdas SAE 1045 y 4340 por ser materiales corrosivos en el medio ambiente afectaban el funcionamiento de las strain gages, eligiéndose al final la celda AISI 420 con propiedades inoxidables y con strain gages de la serie N2K que obtuvieron la mayor compatibilidad con respecto al Alumold 500 y a las galgas de la serie N2A.

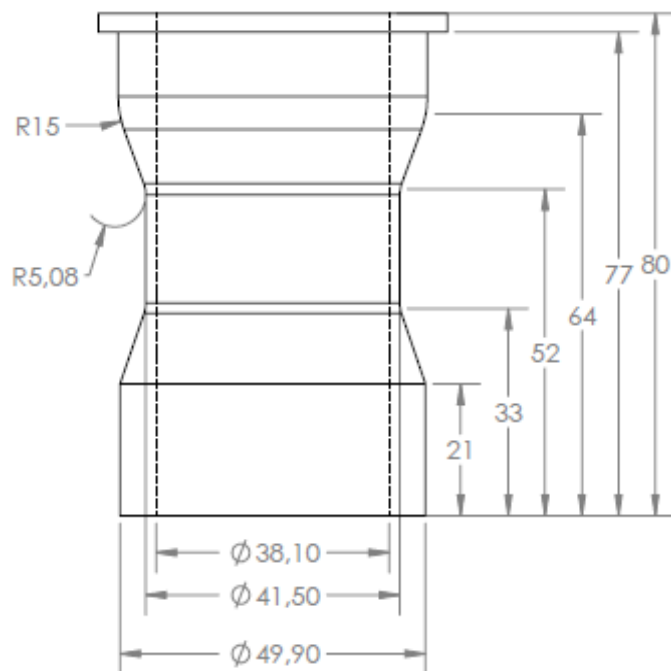
Una vez estudiado el proyecto anterior se obtiene un conocimiento sobre celdas de carga tipo columna, por esta razón se decide seguir con la investigación sobre este tema y utilizar el mismo tipo de celda configurada por los tres tipos de puente completo, medio y un cuarto.

5.1. GEOMETRÍA DE LA CELDA

El material empleado para la celda de carga fue el AISI 420, recomendado por la empresa Vishay Precisión Group proveedores de las galgas extensiométricas. La celda tiene forma circular con reducción del diámetro en la parte central donde se adhieren las strain gages.

En el diseño de la celda tipo columna, se tuvo en cuenta que al momento de aplicarse la carga por parte de los cilindros hidráulicos, se garantiza que lo primero que se deforme en la celda tipo columna es el lugar donde se adhirieron las galgas extensiométricas, es por esta razón que a medida que se llega al centro de ella hay una disminución en su diámetro figura 24.


Figura 24. Geometría de la celda de carga



5.2. TIPO DE STRAIN GAGES

Se utilizaron strain gages de la serie N2K biaxiales figura 25, las cuales después de un proceso de compatibilidad con el material se encontraron variaciones de voltaje muy pequeñas cuando están adheridas al AISI 420.

Figura 25. Especificación de galga extensiométrica biaxial

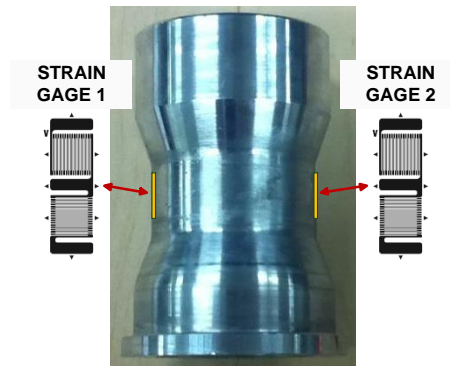
GAGE PATTERN				GAGE DESIGNATION See Note 1	RES. IN OHMS	STANDARD CREEP CODE	ENCAPSULATION OPTION AVAILABLE
DIMENSIONS							
				Often used on column transducers.			
GAGE LENGTH	OVERALL LENGTH	GRID WIDTH	OVERALL WIDTH				
0.100	0.415	0.130	0.130				
2.54	10.54	3.30	3.30				
MATRIX SIZE	0.48 L x 0.19 W	12.2 L x 4.8 W		N2K-XX-S165V-10C/DP	1000 ± 0.2%	V	E2

Fuente: Catalogo de galas extensiométricas Vishay precisión Group

5.3. MONTAJE DEL STRAIN GAGES EN LA CELDA

Para el montaje de las strain gages sobre la celda, se usaron dos strain gages de la misma serie (N2K), cada una distanciada en un ángulo de 180 grados y alineadas con el eje central de la celda figura 26.

Figura 26. Montaje de la galga extensiométrica



Las configuraciones para el puente Wheatstone son completo, medio y cuarto en la celda, esto se logra con la utilización de un pac, el cual también es adherido a la pieza con la galga extensiométrica facilitando las configuración de los diferentes puentes figura 27.

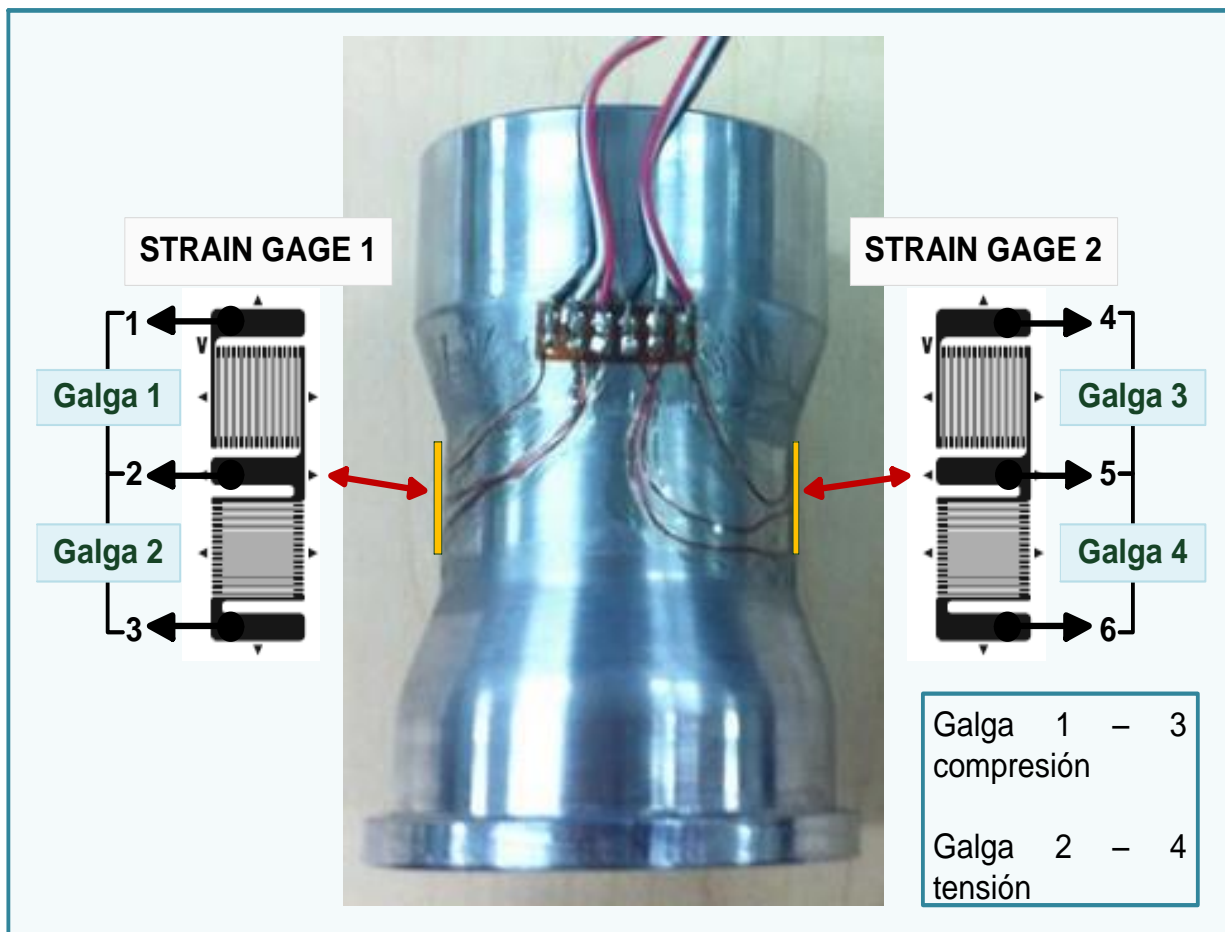
Figura 27. Pegado de la galga y cableado



5.4. CONFIGURACIÓN PARA OBTENER LOS DIFERENTES PUENTES DE WHEATSTONE

Debido a que se propuso trabajar con los tres tipos de puentes de Wheatstone completo, medio y un cuarto en la celda tipo columna, se realizó el montaje para cada configuración del puente de Wheatstone, para esto se decidió enumerar cada galga e ilustrar como se encontrara en la celda de prácticas.

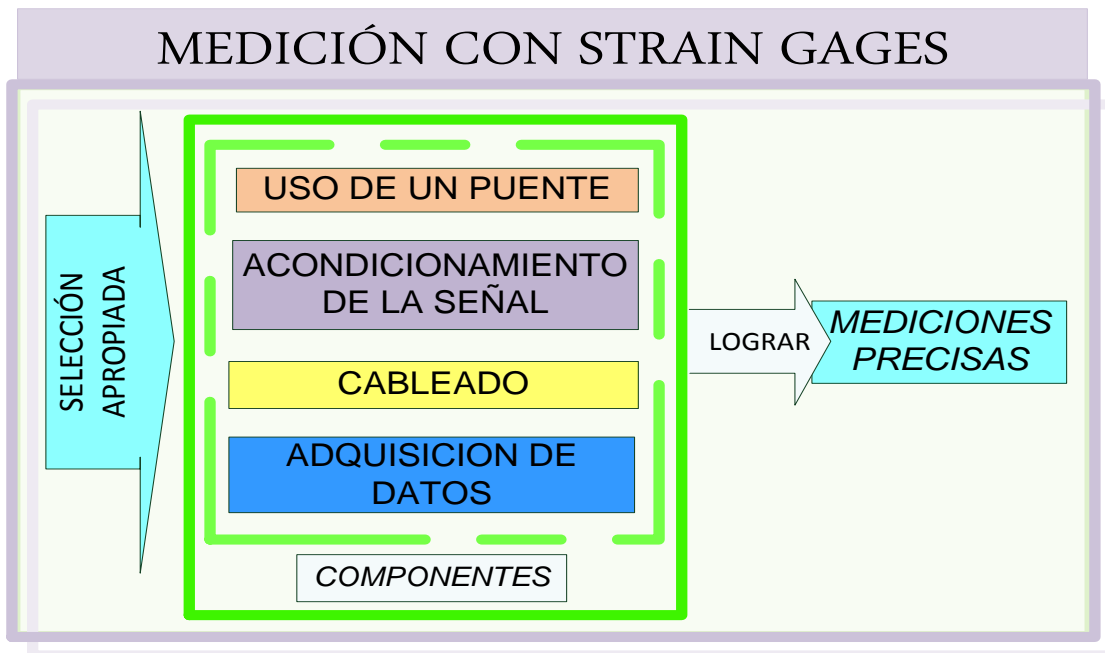
Figura 28. Selección de galgas para configuración de puente



5.5. ADECUACIÓN DE LA CELDA TIPO COLUMNA PARA PRÁCTICAS

El diseño y elaboración de las celdas de carga tipo columna se realizó mediante strain gages (medidor de deformación), en donde la señal a la salida de dichos elementos son muy sensibles a vibraciones, efectos de temperatura y ruido ocasionado por las conexiones, es por esta razón que se debe tener en cuenta una selección apropiada de algunos componentes para lograr mediciones más precisas figura 29.

Figura 29. Componentes para medición con galgas extensiométricas

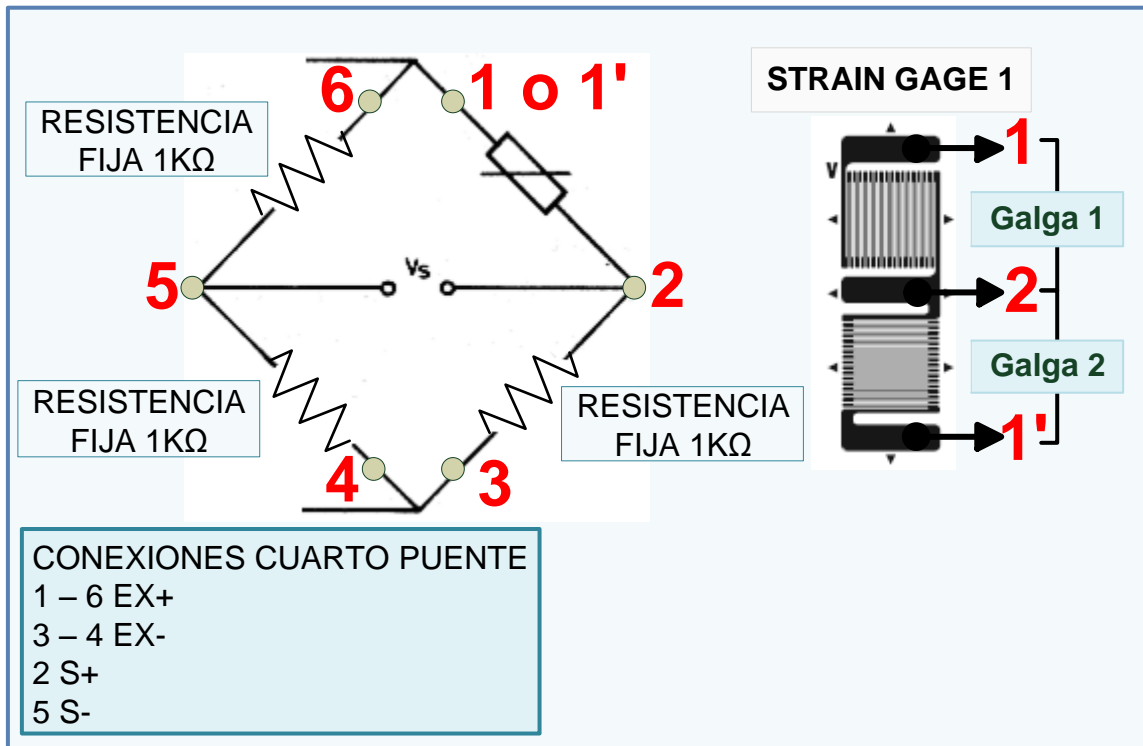


Empresas como National Instruments mencionan algunos componentes requeridos en el acondicionamiento para señales de galgas extensiométricas los cuales se tuvieron en cuenta para el desarrollo de la celda tipo columna como:

5.5.1. Completar el puente

5.5.1.1. Cuarto de puente. Para la realización del cuarto de puente se debe cambiar una de las resistencias fijas del puente de Wheatstone por una resistencia variable, en este caso una strain gage o galga extensiométrica biaxial (90°). Cuando se produce una variación en la resistencia de la galga extensiométrica, esta desbalancea el puente y genera un cambio en la tensión a la salida del puente de Wheatstone. Se puede utilizar la galga 1 si se quiere una señal a tensión o la galga 2 si se quiere una señal a compresión, donde cualquiera de las dos galgas se debe conectar como se muestra en la figura 30 a tres resistencias fijas del mismo valor de la galga extensiométrica en este caso de $1\text{ k}\Omega$.

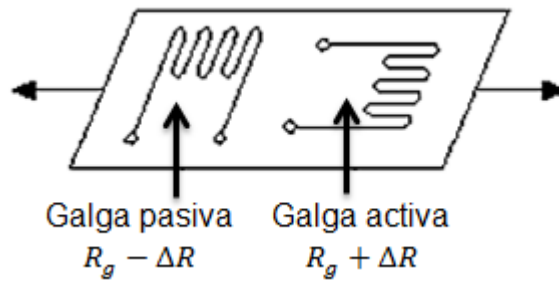
Figura 30. Configuración cuarto de puente



En esta configuración de cuarto de puente al emplearse solo una galga, presenta un comportamiento lineal únicamente para deformaciones pequeñas, por lo que solo se usa cuando los rangos de deformación son pequeños. Se caracteriza por tener una baja sensibilidad y no realizar compensación de temperatura.

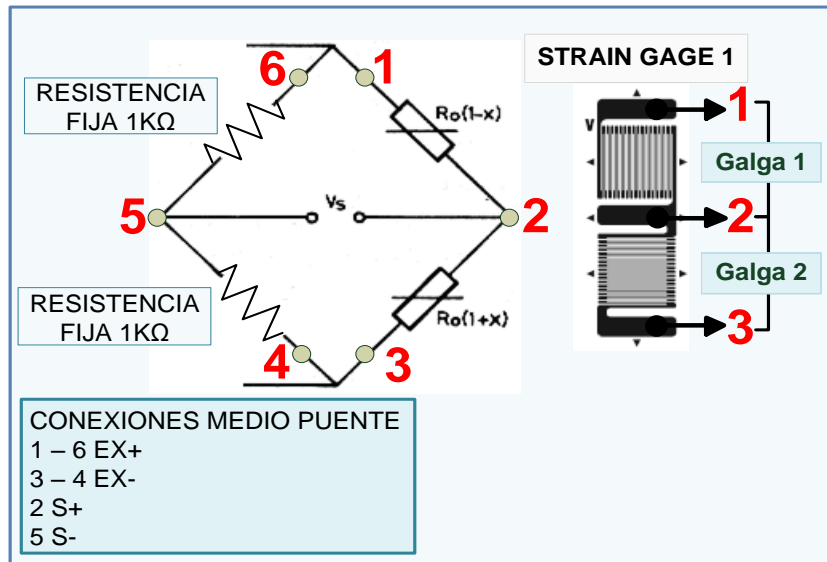
5.5.1.2. Medio puente. En este caso el puente consta de dos galgas extensiométricas, las cuales sufren la misma deformación pero en sentidos opuestos, esta configuración puede minimizar los efectos producidos por la temperatura, pero no los puede compensar por completo, esto se consigue colocando una galga con la misma orientación de la carga y la otra transversal a esta misma figura 31.

Figura 31. Montaje para la compensación de temperatura



En la figura 32, se observa el montaje de medio puente con dos galgas, una colocada a tensión y la otra a compresión junto a dos resistencias fijas del mismo valor de la galga al puente de Wheatstone.

Figura 32. Configuración medio puente

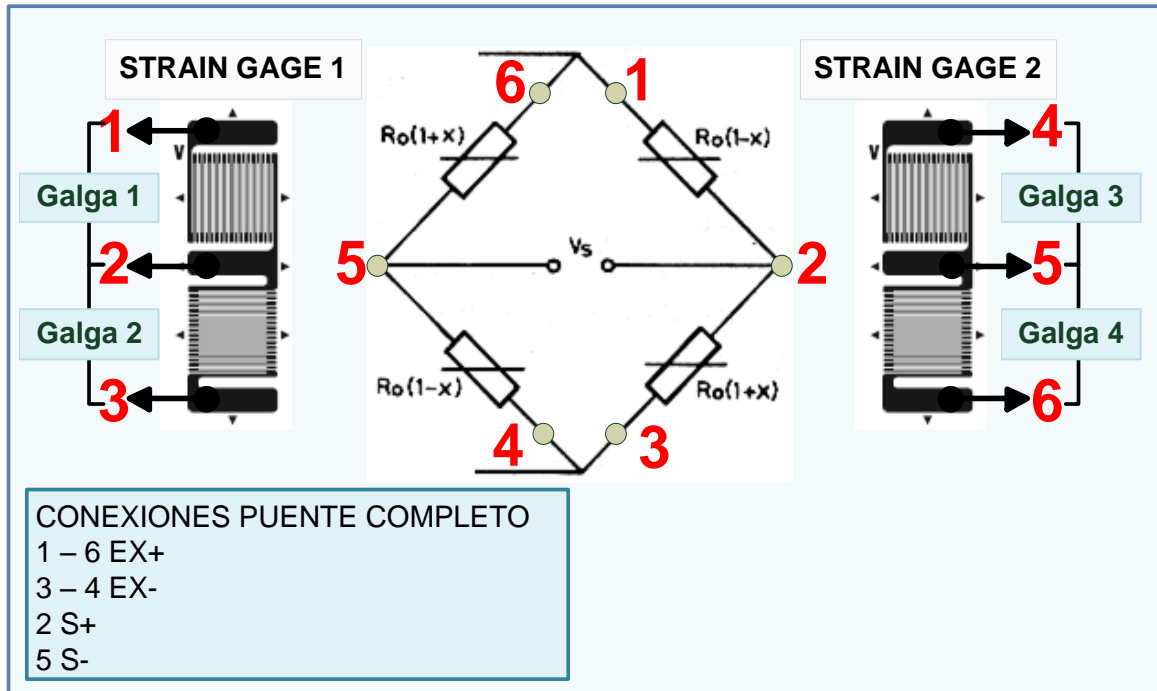


En esta configuración de puente se puede duplicar la sensibilidad cuando ambas galgas se encuentran activas y producir un voltaje de salida que es lineal y aproximadamente el doble de la salida del circuito de un cuarto de puente

5.5.1.3. Puente completo. En el puente completo figura 33, se puede mejorar aún más la sensibilidad del circuito colocando las cuatro galgas extensiométricas cada una en un

brazo del puente de Wheatstone, el uso de este circuito proporciona muchas ventajas, incluyendo una mejor relación señal a ruido, compensación de fluencia y efectos térmicos.

Figura 33. Configuración puente completo



El puente completo es el recomendado por los fabricantes de celdas de carga para la utilización en diferentes aplicaciones por tener una mayor sensibilidad, también se debe tener en cuenta que las galgas extensiométricas no poseen polaridad, aunque, dependiendo de cuál de las tres configuraciones anteriores se emplee.

Excitación del puente

En la industria, no hay un nivel de voltaje estándar para energizar el puente de Wheatstone, ya que solo se maneja voltajes de excitación entre los 3 V y 10 V más comunes. A medida que el voltaje de excitación sea mayor genera proporcionalmente un voltaje de salida mayor, y a mayor voltaje puede causar errores debido al sobrecalentamiento en los instrumentos de medición.

Para la mayoría de celdas de carga se utiliza un voltaje de 5 voltios en DC, esto con el propósito de alimentar las galgas extensiométricas en el voltaje establecido por sus fabricantes, para esto se puede utilizar la fuente de alimentación de la línea GW Instek modelo GPS-3303 figura 34.

Figura 34. Fuente de alimentación

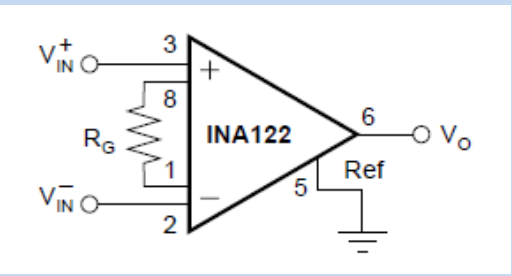


5.5.2. Amplificación de señal. Las salidas de voltajes en una celda de carga, son relativamente pequeñas y deben ser amplificadas para su correcta visualización. La mayoría de los puentes con galgas extensiométricas tienen salidas menores a los 10 mV/V (10 mV de salida por volt de voltaje de excitación). Algunos instrumentos de medición de baja resolución no son capaces de detectar este valor, es por eso que se debe utilizar un amplificador para aumentar el nivel de la señal, incrementar la resolución de la medición y mejorar la relación de señal - ruido.

Para amplificar la señal proveniente de la galga extensiométricas se utilizó un amplificador de instrumentación de referencia INA122, el cual contiene características favorables para la implementación tales como su bajo offset, polarización singular y sus ganancias altas. Se toma la señal de entrada que viene de la galga según corresponda su configuración (puente completo, puente medio, puente cuarto) y la amplifica hasta un

valor de tensión el cual pueda ser medida usando el ADC^1 del Arduino o del módulo del PLC. Para el montaje del amplificador y cálculo de ganancia tabla 12.


Tabla 12. Montaje del amplificador

AMPLIFICADOR INSTRUMENTAL INA 122	
	
<u>DATOS</u>	
Parámetro	Ecuación
<i>Ganancia</i>	$G = 5 + \frac{200\text{ K}\Omega}{R_g}$
<i>Voltaje de salida</i>	$V_o = (V_{in}^+ - V_{in}^-) * G$
<u>CONEXIONES</u>	
Parámetro	Número
<i>Resistencia de ajuste para ganancia</i>	1-8
<i>Entrada de voltaje diferencia</i>	2-3
<i>Voltaje de salida amplificado</i>	5-6

Para ajustar la ganancia dentro del amplificador y obtener un voltaje amplificado a la salida a partir de las ecuaciones de la tabla anterior, es necesario utilizar una resistencia variable de alta precisión para ello se utilizó un potenciómetro trimmer con el cual podemos conseguir las ganancias que se muestran en la tabla 13

¹ Analog to Digital Converter

Tabla 13. Ajuste de la ganancia

POTENCIÓMETRO TRIMMER	VALORES DE GANANCIA																																						
	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="740 415 967 495">DESIRED GAIN (V/V)</th> <th data-bbox="971 415 1084 495">R_G (Ω)</th> <th data-bbox="1088 415 1304 495">NEAREST 1% R_G VALUE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>5</td><td>NC</td><td>NC</td></tr> <tr><td>10</td><td>40k</td><td>40.2k</td></tr> <tr><td>20</td><td>13.33k</td><td>13.3k</td></tr> <tr><td>50</td><td>4444</td><td>4420</td></tr> <tr><td>100</td><td>2105</td><td>2100</td></tr> <tr><td>200</td><td>1026</td><td>1020</td></tr> <tr><td>500</td><td>404</td><td>402</td></tr> <tr><td>1000</td><td>201</td><td>200</td></tr> <tr><td>2000</td><td>100.3</td><td>100</td></tr> <tr><td>5000</td><td>40</td><td>40.2</td></tr> <tr><td>10000</td><td>20</td><td>20</td></tr> </tbody> </table>			DESIRED GAIN (V/V)	R_G (Ω)	NEAREST 1% R_G VALUE	5	NC	NC	10	40k	40.2k	20	13.33k	13.3k	50	4444	4420	100	2105	2100	200	1026	1020	500	404	402	1000	201	200	2000	100.3	100	5000	40	40.2	10000	20	20
DESIRED GAIN (V/V)	R_G (Ω)	NEAREST 1% R_G VALUE																																					
5	NC	NC																																					
10	40k	40.2k																																					
20	13.33k	13.3k																																					
50	4444	4420																																					
100	2105	2100																																					
200	1026	1020																																					
500	404	402																																					
1000	201	200																																					
2000	100.3	100																																					
5000	40	40.2																																					
10000	20	20																																					
<u>Conexiones</u>	NC: No Connection.																																						
1 – 2 Resistencia variable																																							
1 – 3 Resistencia fija																																							

5.5.3. Balance de puente, eliminación de Offset. Debido a la tolerancia en la resistencia de las galgas y a los cambios de resistencias adicionales producidas durante la instalación (pegado), el circuito del puente esta desbalanceado cuando se conecta por primera vez.

Es por eso que el puente no puede genere exactamente 0 volts cuando no hay ninguna carga aplicada. Algunas variaciones pequeñas en la resistencia de los brazos y puntas del puente dan algún voltaje de offset inicial. Hay algunas maneras de que el sistema pueda manejar este error de offset:

- Compensación por Software
- Circuito para Eliminar el Offset
- Eliminación de Offset por Buffer

Se decidió hacer la compensación del error de offset a la celda tipo columna por medio de software ya que se cuentan con los sistemas de hardware de adquisición. En él se toma una medición inicial antes de que la carga sea aplicada, este voltaje es usado en las ecuaciones de carga. Este método es simple, rápido y no requiere de ajustes manuales.

La desventaja de este método es que el offset del puente no se remueve. Si el offset es lo suficientemente grande, va a limitar la ganancia del amplificador que se pueda aplicar al voltaje de salida, así también limitando el rango dinámico de la medición.

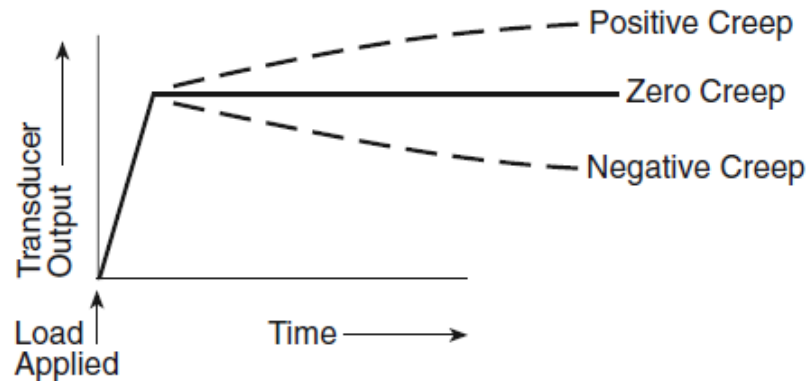
5.5.4. Calibración de Shunt. El procedimiento normal para verificar la salida de un sistema de medición de galgas a una entrada mecánica predeterminada se llama calibración shunt o shunt calibration. Shunt calibration involucra simular la entrada de una presión cambiando la resistencia de uno de los brazos del puente una cantidad conocida. Esto se logra al conectar una resistencia grande de valor conocido a lo largo de uno de los brazos del puente. La salida del puente entonces puede ser medida y comparada con el valor esperado de voltaje.

5.5.5. CREEP. Una vez se tienen adheridas las strain gages a la pieza, se debe comprobar el Creep code propio de cada celda. Este parámetro hace referencia a la compatibilidad entre el strain gages y el material de la pieza, esto con el propósito de evitar errores en las mediciones con celdas de carga.

Esta prueba consiste en realizar mediciones de voltaje a la salida del puente de Wheatstone durante veinte minutos o más, sometiendo la celda a una carga constante. Lo que se busca en esta prueba, es obtener la mejor compatibilidad entre la galga y el material con el cual es hecha la celda de carga. Para tener datos cuantificables de esto se mide las variaciones de voltaje a la salida del puente en la celda, si las variaciones de voltaje tiende a cero, quiere decir que el Creep Code para esta celda es bueno.

En la figura 35 se muestra una gráfica con las variaciones posibles del Creep Code en una celda de carga, puede ser positiva cuando la salida del puente aumenta y negativa cuando la salida disminuye a lo largo del tiempo.

Figura 35. Creep



Fuente: Catalogo galgas extensiométricas

Para lograr obtener el mejor Creep code del transductor se deben tener en cuenta algunas variables como el material de la celda de carga, los tratamientos térmicos, el campo de esfuerzo al que se someterá la galga y el tipo de adhesivo; así se tenga en cuenta todos estos factores es imposible predecir una buena selección de una galga con la compensación adecuada para lograr el mejor resultado de Creep, es por eso que los fabricantes recomiendan probar diferentes galgas con diferentes Creep compensation para encontrar experimentalmente el mejor resultado .

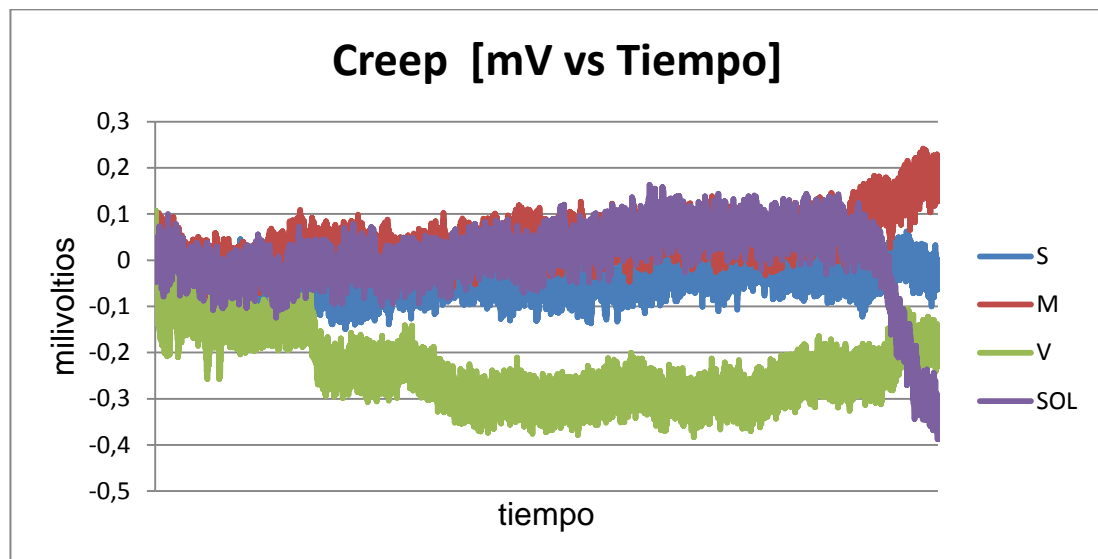
5.5.5.1. Pruebas de Creep Compensation. La prueba de Creep Code se realizó a la celda de carga que se implementará para las prácticas y se comparó con 3 celdas de carga ya diseñadas y probadas anteriormente por medio del módulo NI 9237 de National Instruments que cuenta con 4 canales para la adquisición de la medición, donde se estableció un patrón de referencia para comparar los valores obtenidos de las demás celdas de carga.

Las celdas que se utilizaron son:

- Celda de carga tipo S (Patrón de referencia)
- Celda de carga tipo columna (Galga N2K con material de la celda AISI 420), utilizada para las practicas
- Celda de carga tipo columna (Galga N2K con material de la celda Aluminio)
- Celda de carga tipo columna (Galga N2K con material de la celda AISI 420)

En la figura 35 se observara la prueba del Crep Code para cada celda de carga donde S es la celda tipo S, M la celda tipo columna para prácticas, V celda AISI 420 y SOL celda de Alumold 500:

Figura 36. Prueba de Crep Code



De la figura anterior se observa como es el comportamiento de cada una de las celdas en el tiempo frente a una carga constante de 0 libras, para la celda tipo S que es una celda comercial dada por un fabricante se tiene el mejor Creep ya que esta se mantiene estable durante el tiempo con variaciones no mayores a 0,1 mV, convirtiéndola en un buen patrón de referencia para corroborar el diseño de la celda de carga tipo columna para prácticas.

6. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

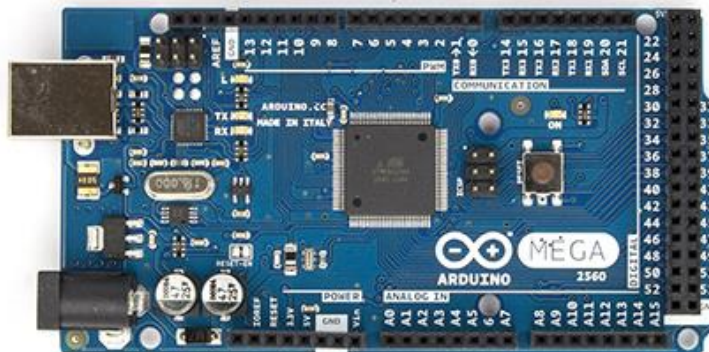
Para la realización de las practicas con celdas se escogió el arduino y PLC instrumentos de medición que se utilizan en cada una de las materias donde se va implementar, además se cuenta común instrumento especializado el modulo NI 9237 de National Instruments a continuación se describe los instrumento de medición tanto el componente hardware como software.

6.1. HARDWARE DE MEDICIÓN

La precisión de la prueba depende tanto de los sensores como de la eficiencia del equipo que se escoge para realizar la adquisición de datos, es por esta razón que se seleccionó los tres tipos de hardware con las siguientes características:

6.1.1. Arduino. El primer hardware de adquisición seleccionado fue el arduino MEGA 2560 figura 37, el cual contiene un convertor A/D en las 16 entradas analógicas cada una con resolución de 10 bits, también se puede utilizar cualquier referencia de arduino ya que cada uno de ellos cuenta con su propio convertor analógico-digital.

Figura 37. Arduino



6.1.2. PLC (*Programmable Logic Controller*)

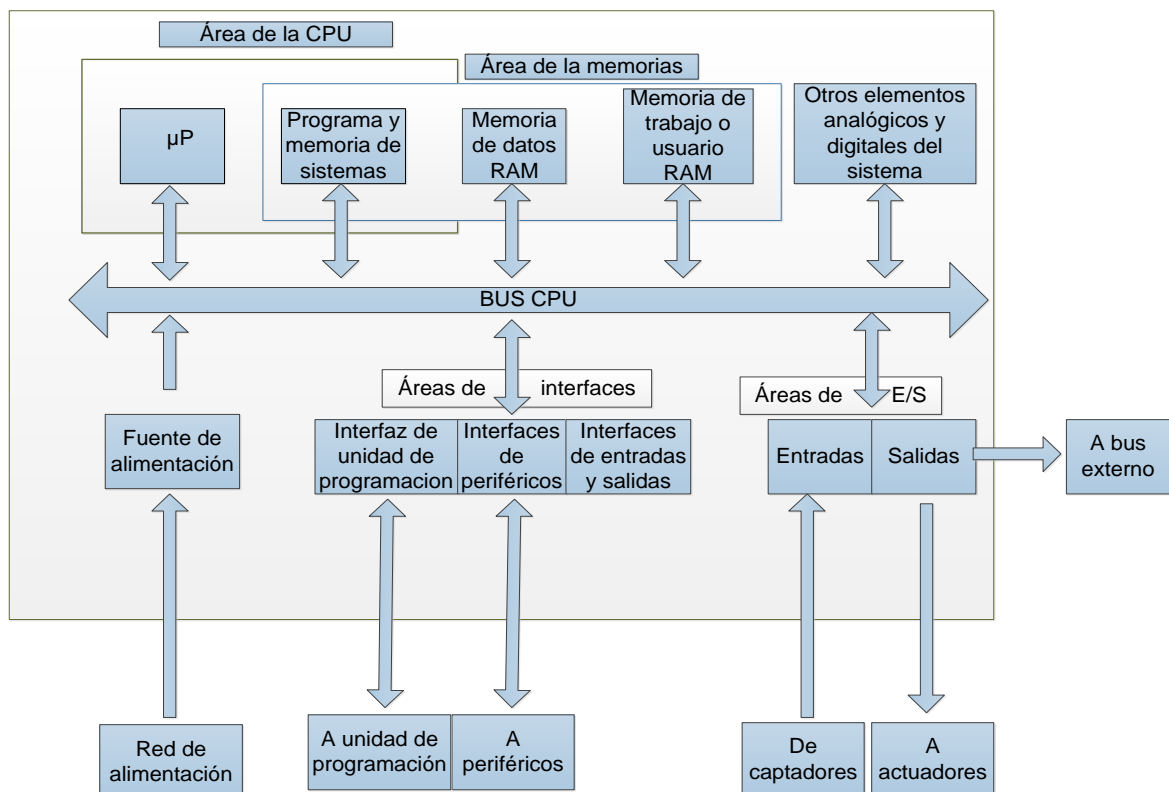
Autómata s7 300

Los autómatas programables son equipos electrónicos diseñados para controlar procesos, en tiempo real. Además cuenta con otra ventaja respecto a la lógica cableada, la cual consiste en hacer las configuraciones de los procesos mediante la programación y no se toca la parte física de las conexiones.

Estructura del autómata programable S7 314IFM

En la siguiente figura se observa la estructura general de autómata programable S7 314IFM.

Figura 38. Estructura de un autómata programable



CPU 314IFM de PLC

Con la CPU 314IFM compacta de referencia 314-5AE02-0AB0, se busca que el estudiante se familiarice con autómatas que poseen la lectura de señales tanto analógicas como digitales, posee las siguientes características:

- Entrada MPI
- 16 ED Y 16 SD (Entrada digitales y salidas digitales)
- 4 EA Y 1 SA (Entradas analógicas y salidas analógicas)
- Memoria central de 32 Kbyte
- Fuente de alimentación integrada de 24 V DC

Figura 39. CPU 314IFM



PS 5 AMPERS

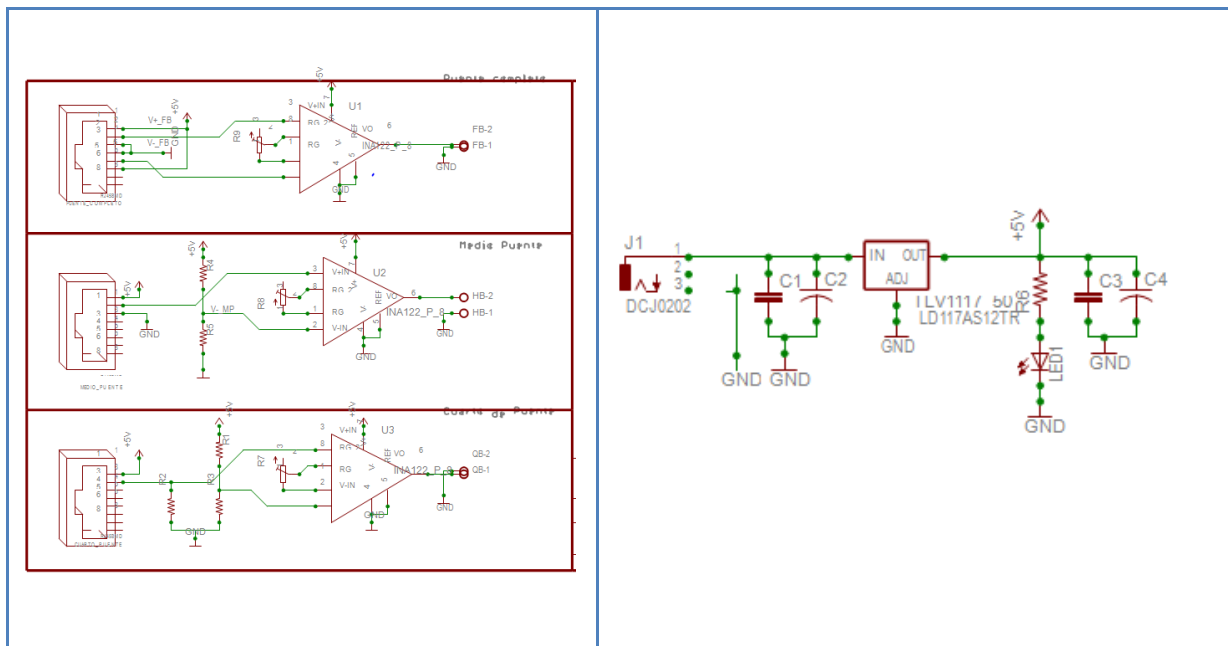
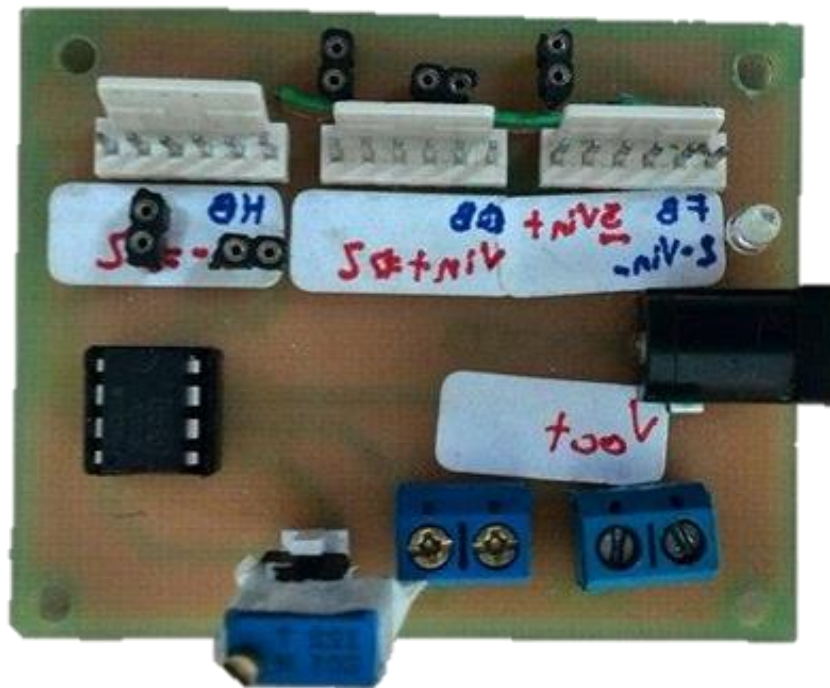
La PS de 5 amperes de referencia 307-1EA01-0AA0, es la encargada de alimentar la CPU compacta 314IFM a 24 V DC.

Figura 40. PS 5A



6.1.3. Hardware de amplificación. Se realizó un circuito impreso de amplificación (PCB), este es utilizado debido a que la señal proveniente de las galgas extensiométricas es de bajo voltaje (mV), lo cual hace que sea difícil que los sistemas de hardware de adquisición como arduino y PLC puedan amplificar esta señal. Para el sistema de National instruments no se necesita un sistema de amplificación externo ya que el módulo lo trae incorporado. El esquemático y el diseño impreso que se realizó se puede ver en la figura 40 respectivamente, cuyas características son que posee conectores para la entrada de la celda de carga, plug de alimentación de 5 V, amplificador instrumental INA 122, resistencia variable para ajustar la ganancia y conector para la salida de los datos amplificados.

Figura 41. Tarjeta de amplificación



6.1.4. Sistema CompactDAQ de NI. Por último se eligió el chasis NI 917-4 de la compañía National Instruments mostrado en la figura 42, el cual posee una resolución de 32 bits y está diseñado con 4 ranuras para incorporar otros módulos dependiendo de la

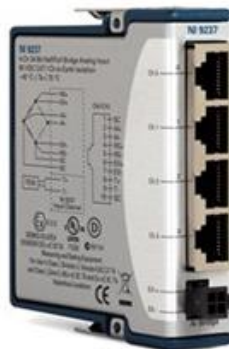
aplicación que se desea. Además permite crear sistemas personalizados de señal mixta con un solo cable USB al PC.

Figura 42. Modulo NI cDAQ 917-4



Para este chasis se eligió el modulo NI 9237 mostrado en la figura 43, el cual está especializado para realizar mediciones de alta precisión con celdas de carga, con una máxima velocidad de muestreo de 50 Ks/s por canal, rango de entrada de $\pm 25\text{ mV/V}$ y resolución de 24 bits con terminación programable de medio puente y puente completo con hasta 10 V de excitación interna.

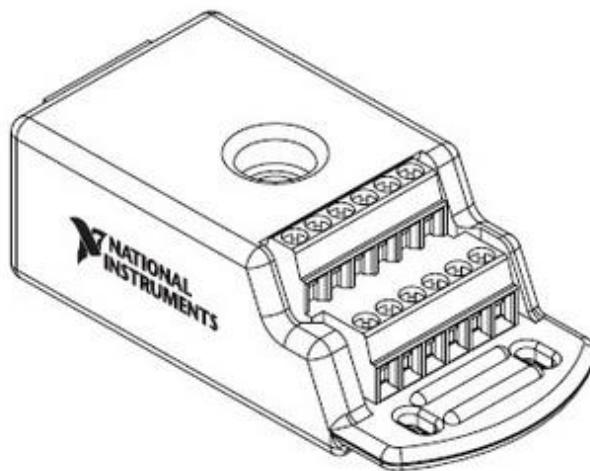
Figura 43. Modulo NI 9237



6.1.5. Sistema de conexiones. Para la conexión del NI 9237, se necesitan los accesorios proporcionados por National Instruments debido a que no se cuenta con una conectividad directa entre el sensor y el dispositivo esto para que funcione adecuadamente la interfaz.

6.1.5.1. NI 9949. El NI 9949 figura 44 es un adaptador de RJ50 hembra a terminal de tornillo de 10 pines. Es estrictamente un accesorio de conectividad y no contiene terminación de puente. La terminación de medio puente y puente completo es proporcionada por el módulo de puente simultáneo NI 9237.

Figura 44. Modulo NI 9949



6.1.5.2. Cable RJ-50. Los conectores RJ50 figura 44 estándar en el USB-9237 y de tipo cable, es el encargado de conectar el modulo NI 9949 y el modulo NI 9237 para transmitir la señal entre dispositivos.

Figura 45. Cable RJ50



6.2. SOFTWARE DE MEDICIÓN

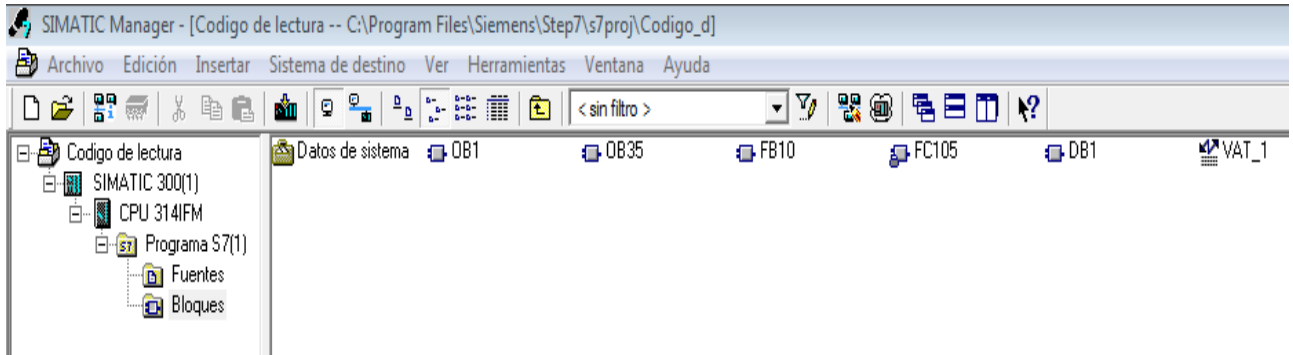
Para la selección adecuada de cada software, se decido tomar las recomendaciones dadas por los fabricantes de cada hardware utilizando en este proyecto los siguientes:

6.2.1. Arduino. Para programar la tarjeta de arduino existen distintos software, pero por conveniencia se utiliza el software que arduino recomienda, ya que su lenguaje de programación es mucho más fácil y práctico al momento de programarlo, para la medición de la celda tipo columna en arduino se desarrolló un vector que toma la señal analógica y la promedia esto para filtrar los datos de entrada y reducir el ruido para luego mostrar una señal digital la cual nos brindara información para caracterizar la celda.

6.2.2. Autómata S7 300. La compañía siemens trabaja su propio software de programación (STEP 7), el cual cuenta con distintos lenguajes de programación (FUP, KOP, SCL Y AWL), que hacen más cómoda y practica la programación del autómata.

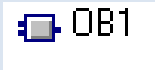
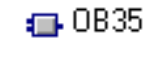


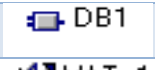
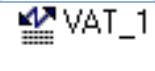
La parte central del programa que se utilizó para la adquisición de datos por medio del autómat se puede observar en la figura 46.

Figura 46. Panel frontal en STEP 7



Para la programación en el step 7, fue necesaria la utilización de los siguientes bloques descritos en la tabla 14:

Tabla 14. Bloques de programación en PLC

Componente	Esquema	Descripción
OB1	 OB1	El OB1 es llamado por el sistema operativo cíclicamente permitiendo la ejecución cíclica del programa de usuario.
OB35	 OB35	El OB35 es el bloque de las alarmas cíclicas, que permite la ejecución del programa controlado por tiempo, interrumpe la ejecución cíclica del programa a intervalos determinados
FB10	 FB10	Es un bloque predefinido que no requiere ser programado y se encuentra integrado dentro de la CPU S7
FC105	 FC105	Al igual que el bloque FB10, no requiere ser programado y también se encuentra integrado en la CPU S7
DB1	 DB1	Es el bloque que contiene datos de usuario.
VAT	 VAT_1	Es el bloque que permite mostrar en una tabla, las variables que entra al sistema.

En la figura 47, se podrá observar la programación y visualización de cada una de las variables programadas en el autómata:

Figura 47. Programación OB35 mediante el lenguaje FUP

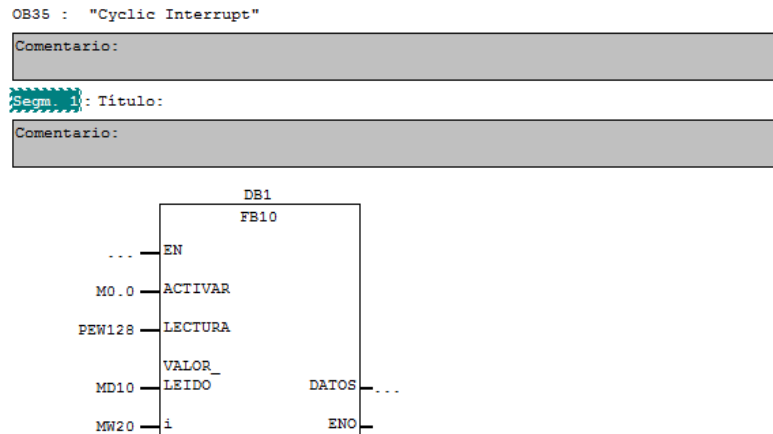


Figura 48. Tabla de variables

	Operando	Símbolo	Formato de visualización	Valor de estado	Valor de forzado
1	M 0.0		BOOL		true
2	PEW 128		DEC		
3	MD 10		REAL		
4	MW 20		DEC		
5					

6.2.3. Chasis NI cDAQ-9174 y modulo NI 9237. National Instruments dentro de su paquete de adquisición de datos incorpora el software LabVIEW el cual se eligió para tomar los datos provenientes de las dos celdas de carga (tipo S y columna), este posee un lenguaje de programación grafico de alto nivel y sencilla elaboración con una interfaz gráfica amigable sin la necesidad de tener experiencia en su entorno.

El programa utilizado para la medición de ambos tipos de celda de carga es el mostrado en la figura 49 panel frontal y figura 49 diagrama de bloques y sus componentes en la tabla 15.

Figura 49. Panel frontal en LabVIEW

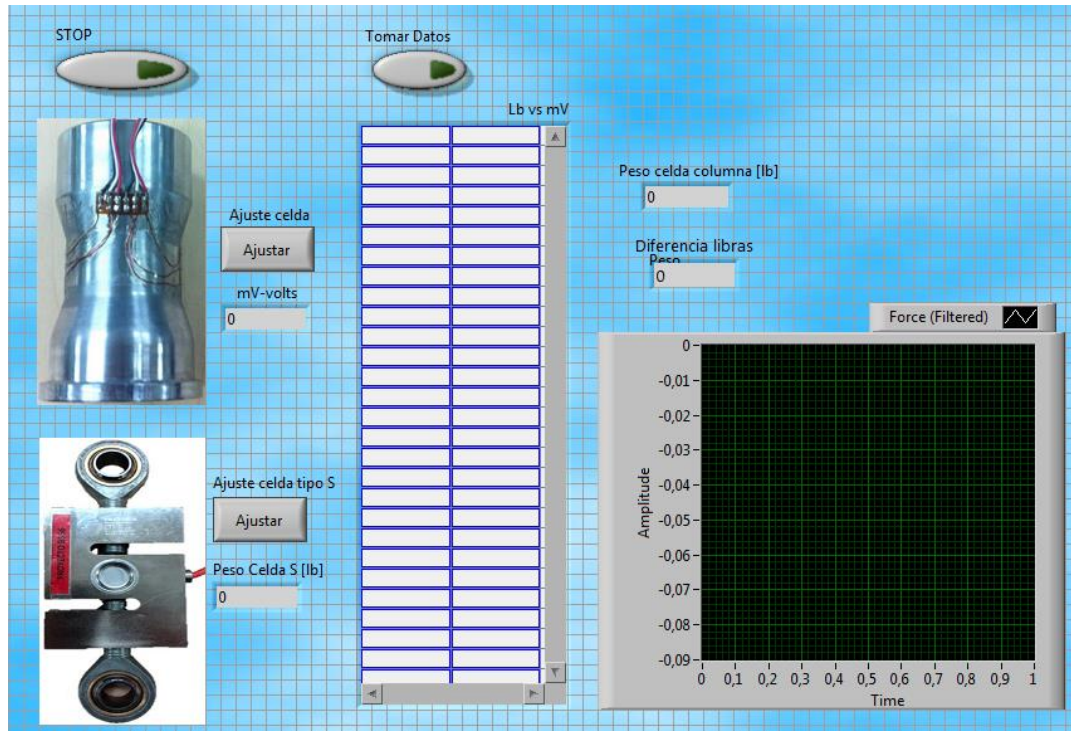


Figura 50. Diagrama de bloques en LabVIEW

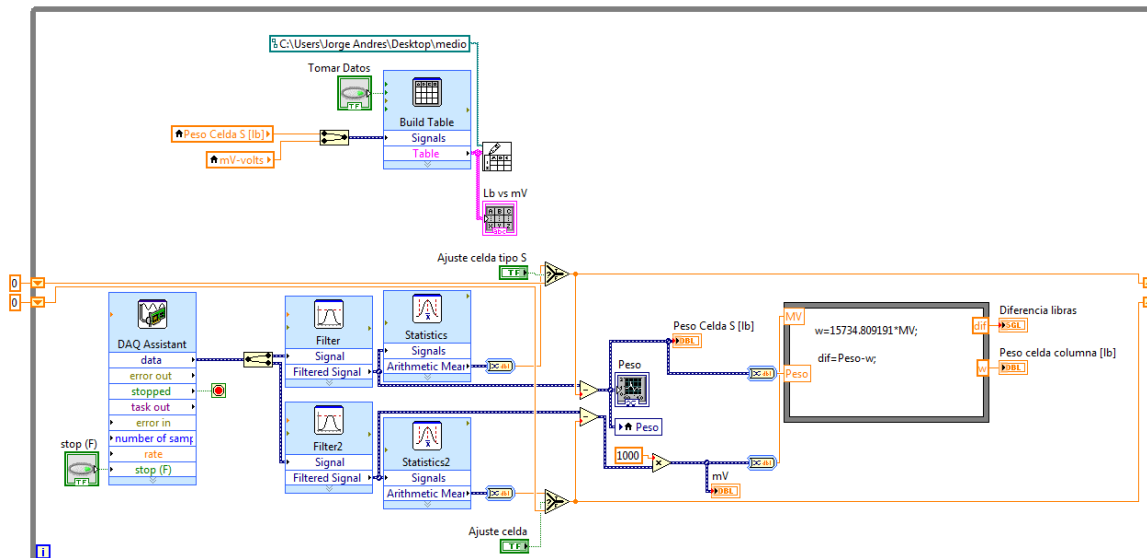


Tabla 15. Componentes del programa de adquisición

Componente	Esquema	Descripción
DAQ Assistant		Asistente para configurar y medir la señal de entrada proveniente del módulo a una velocidad de muestreo de 50 Ks/s.
Filter		Filtro del tipo pasa bajos para corte de alta frecuencia
Statistics		Promedio la señal de entrada para luego dar un ajuste
Build table		Para crear, almacenar y tomar datos en una tabla en tiempo real
Lb vs mV		Guardo los datos en una tabla donde se visualizan las Lb y mV
Waveform Chart		Grafico los datos en tiempo real

7. ANALISIS DE RESULTADOS

Para las prácticas con celdas de carga tipo columna de 10000 Lb se hace necesario la caracterización de la misma y así tener una referencia para otras mediciones. Esta caracterización se hace por medio de una celda de carga tipo S de 10000 Lb que es el patrón de referencia anteriormente calibrada y ubicada en el banco de pruebas, en ella se obtiene el valor de fuerza ejercido sobre la celda tipo columna para después obtener una señal de salida en mV dado por la tipo columna donde cada mV se asocia a un valor de carga; estas mediciones se hicieron por medio de 3 instrumentos de medición arduino, PLC y módulo National Instruments.

A continuación se mostrara el proceso de caracterización por medio de cada uno de los instrumentos de medición y el número de pruebas realizadas, donde se ratifica conceptos como:

- Linealidad o error de no linealidad
- Repetibilidad
- Resolución
- Sensibilidad
- Error de cero
- Corrimiento del cero

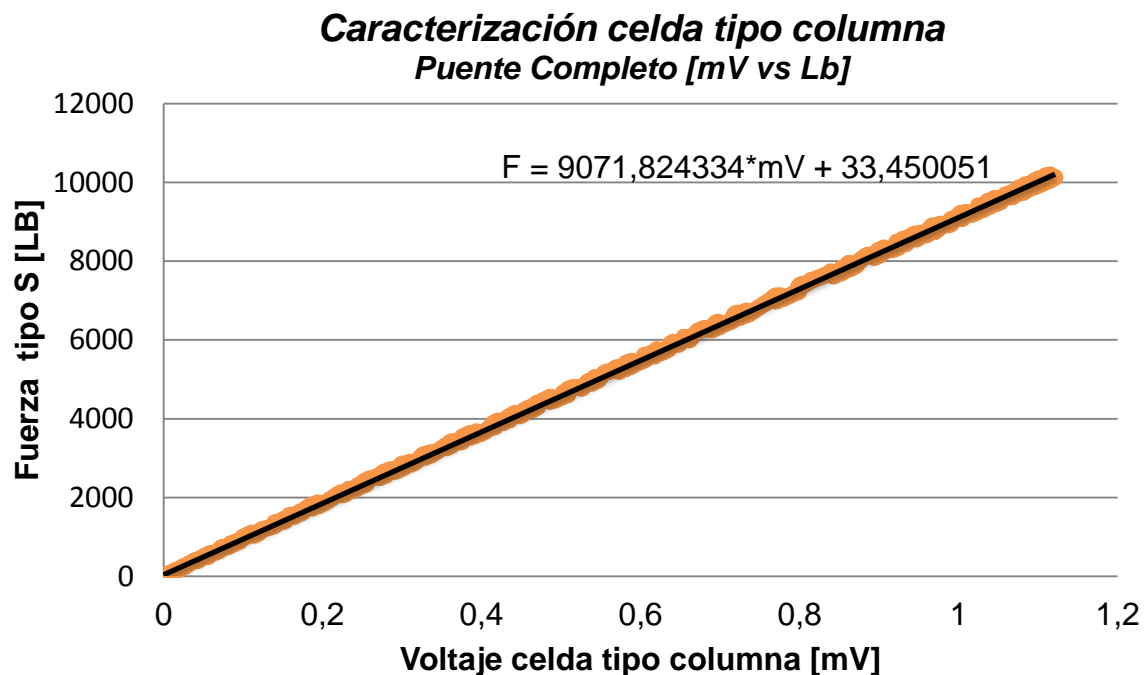
7.1. CARACTERIZACIÓN DE LA CELDA DE CARGA POR MEDIO DE MODULO NI 9237 DE NATION INSTRUMENTS

7.1.1. Análisis de puente completo. Para la medición de puente completo con cuatro galgas extensiométricas y compensadas por temperatura se hizo por medio del módulo

NI 9237, donde uno de los canales se conectó la celda tipo S para sensar la carga y a otro canal la celda tipo columna para sensar el voltaje de salida de las galgas.

Cabe resaltar que para puente completo se hace un ajuste del error de cero (offset del voltaje inicial) por medio de software y luego se toman datos llevándose las celdas desde un valor inicial de 0 lb donde se obtiene un valor aproximado de 0 mV hasta 10000 lb con un voltaje máximo de 1,1 mV. Se realizaron un paquete de 12 pruebas y todas se ordenaron de manera consecutiva para ser graficadas donde se obtiene una sola ecuación que las caracteriza figura 51

Figura 51. Caracterización puente completo

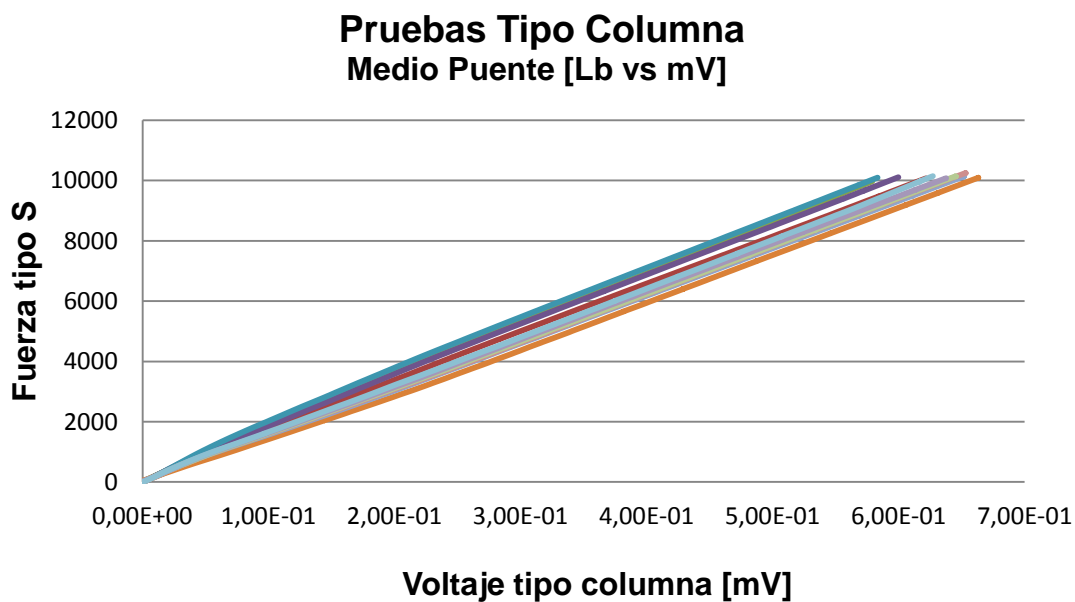


Se puede observar de la figura anterior todos los datos obtenidos tienen un comportamiento lineal, pero cuando se comparan los resultados de la curva caracterizada con los valores reales se encuentran diferencias máximas de 100 lb lo cual corresponde al 1% aproximadamente siendo esto bueno para un sistema de pesaje de 10000 lb, este pequeño error se puede dar por que la repetibilidad en la galga no se mantiene por completo y también se presenta un corrimiento de cero cada vez que se daba el ajuste del offset inicial.

7.1.2. Análisis de medio puente. Para medio puente se utilizan dos galgas extensiométricas con compensación de temperatura y se configura el modulo NI 9237 para lograr esto, en la figura 52 se aprecia las rectas para un paquete de 12 pruebas en las cuales se observa que la repetibilidad no se mantiene en sucesivas ocasiones cuando se llegaba a las 10000 lb, cada recta iniciaba de cero y a medida que se hacían las pruebas la pendiente iba cambiando.

Para la caracterización de medio puente se ajusta el error de cero por medio de software y se hace la toma de datos; se puede apreciar el rango de voltaje para medio puente se reduce a la mitad de la de puente completo siendo 0,6 mV a 10000 lb.

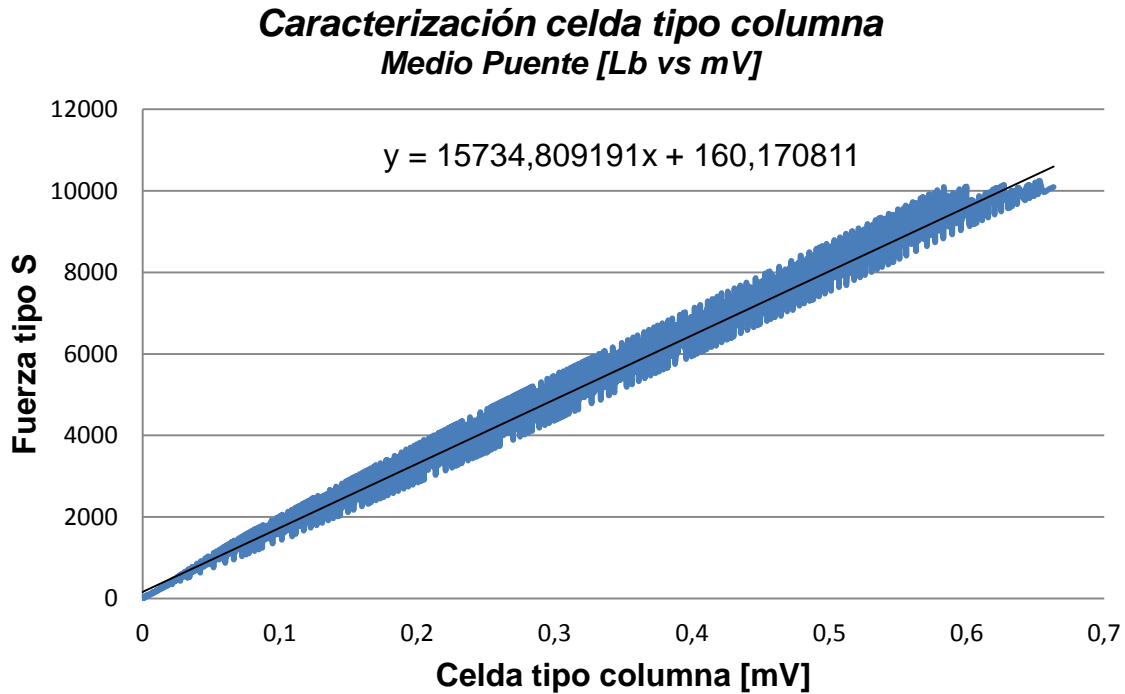
Figura 52. Pruebas tipo columna



Para la caracterización de la celda tipo columna de medio puente, se tomaron cada uno de los datos, se agruparon para obtener una sola gráfica y así sacar una ecuación que caracterice todas las rectas, esto se puede observar en la figura 53. Cuando se comparan los resultados de la curva caracterizada con los valores reales se encuentran diferencias bastantes grandes en el trayecto de la curva con un error en la carga casi de 800 lb lo cual corresponde a un 8%, esto se presenta debido a que la linealidad en las

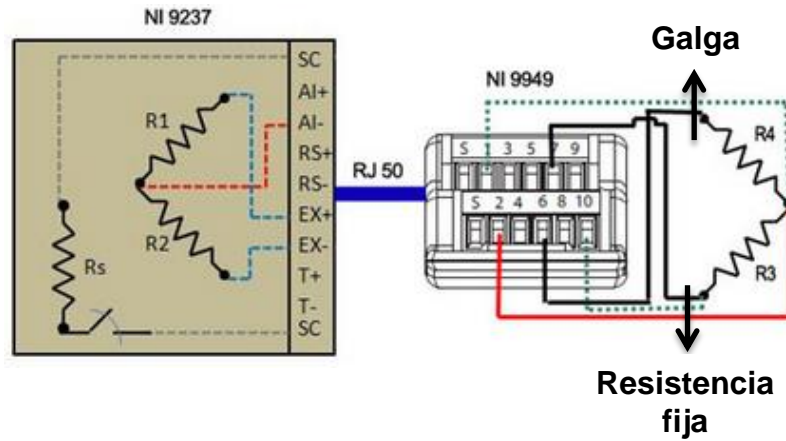
galgas no se conserva, siendo este sistema de pesaje no muy confiable respecto al de puente completo.

Figura 53. Caracterización medio puente



7.1.3. Análisis de cuarto de puente. Para las mediciones de cuarto de puente por medio de LabVIEW, se encuentra un problema, el modulo NI 9237 solo funciona para configuraciones de medio y puente completo, para cuarto se necesita otro conector especializado. Para lograr la medición por medio de LabVIEW en cuarto puente se realizó la solución mostrada en la figura 54, donde se conecta una resistencia fija externamente al conector NI 9949 junto a la galga.

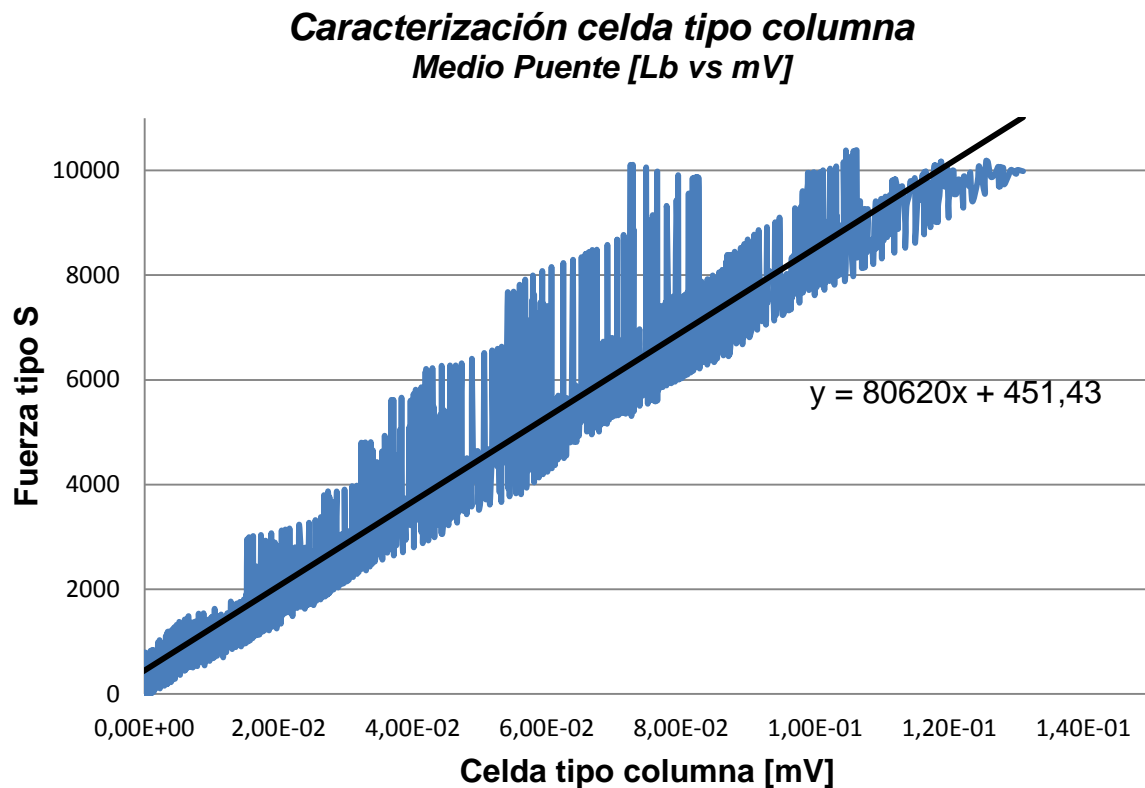
Figura 54. Conexión cuarto de puente



Para la caracterización de la celda con una sola galga y sin compensación de temperatura, una vez implementada la solución de la figura anterior, se configura el DAQ Assistant en LabVIEW para cuarto de puente, se hace el ajuste de cero por software y se aplica una carga de 10000 lb. Se realizó un paquete de 12 pruebas las cuales se graficaron en la figura 55, donde se observa que los datos no conservan la linealidad presentando un error en la carga de 3815 lb lo cual corresponde al 38% siendo este el sistema de pesaje con el mayor error.

Esto puede deberse a que no se cuenta con la instrumentación adecuada para la medición de cuarto de puente, la resistencia fija que se colocó no es de alta precisión y puede generarle gran cantidad de ruido al sistema, no hay una compensación en temperatura lo que puede aumentar el error.

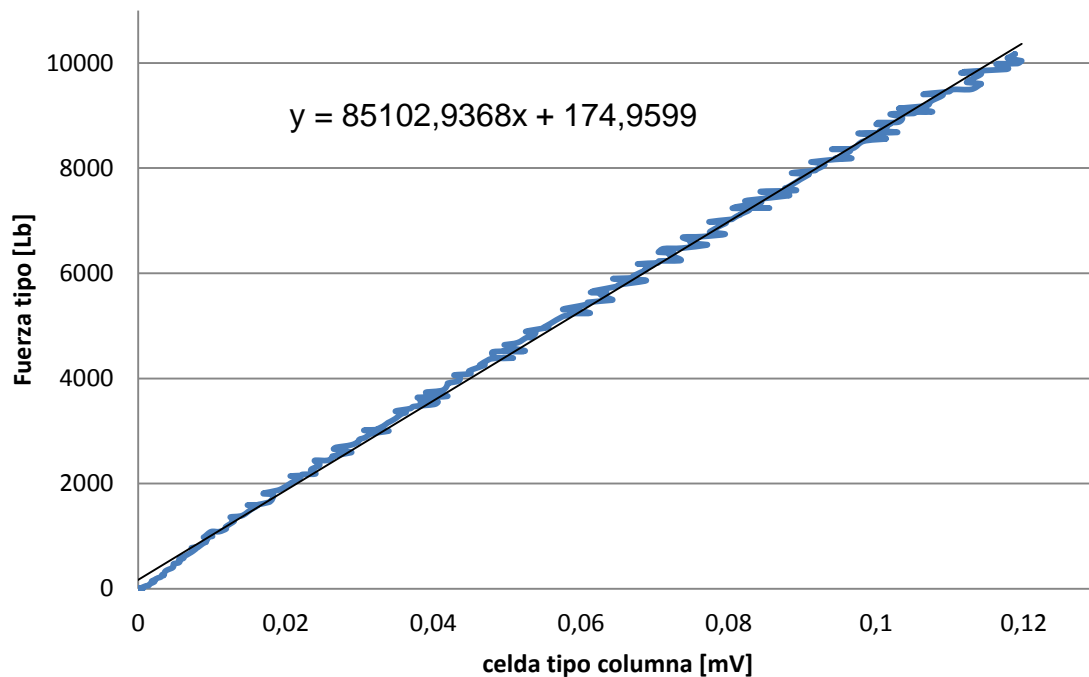
Figura 55. Caracterización cuarto de puente



De los datos de la figura anterior se volvieron a graficar de manera independiente y se buscaron las gráficas que mantuvieran una linealidad. Para un paquete de 12 pruebas solo 4 cumplieron con este requisito y nuevamente se graficaron en la figura 56.

Esta nueva grafica solo se ha caracterizado para 4 curvas, la cual genera una ecuación que solo servirá para las pruebas que se encuentre dentro del rango de ella, es por eso que en sistemas de pesajes con un cuarto de galga se genera un mayor error, siendo este tipo de puente no utilizado para mediciones.

Figura 56. Caracterización de 4 rectas



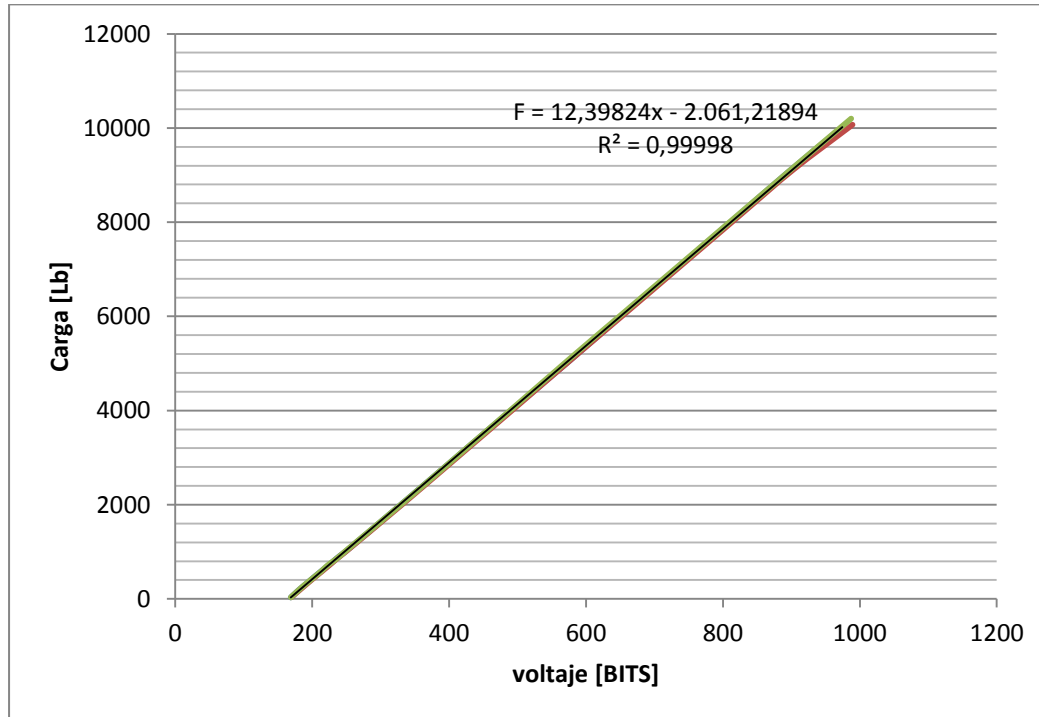
En esta configuración de cuarto de puente al emplearse solo una galga, presenta un comportamiento lineal únicamente para deformaciones pequeñas, por lo que solo se usa cuando los rangos de deformación son pequeños. Se caracteriza por tener una baja sensibilidad y no realizar compensación de temperatura

7.2. CARACTERIZACIÓN DE LA CELDA DE CARGA POR MEDIO DE ARDUINO

7.2.1. Análisis de puente completo. Para la medición de puente completo con cuatro galgas extensiométricas se realizó por medio de la tarjeta Arduino, se conectó la celda de carga tipo S al ajustador de carga LOAD CELL II para sensar el valor de carga y la celda tipo columna a la tarjeta de amplificación, donde la salida del amplificador va a la entrada analógica A_0 del arduino para medir la salida de voltaje en la configuración de puente completo.

En la figura 57 se puede observar la caracterización de la celda de carga tipo columna mediante la utilización de ARDUINO para puente completo:

Figura 57. Caracterización de la celda de carga tipo columna Puente completo

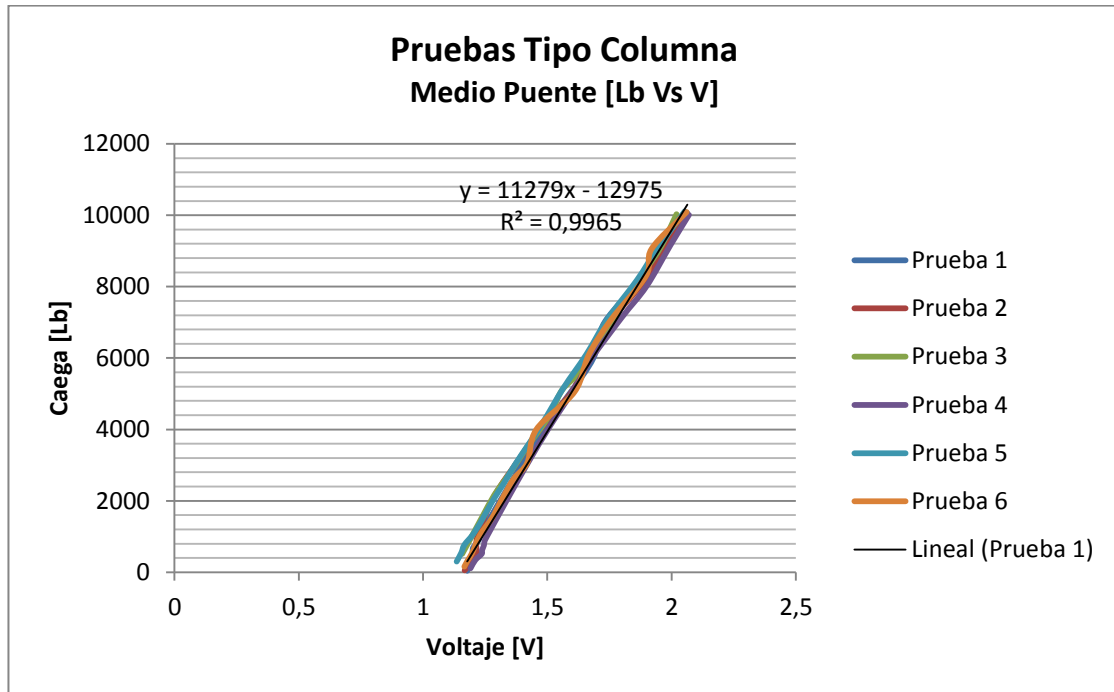


De la figura anterior se puede apreciar que la relación existente entre la carga y el voltaje de salida de la celda tipo columna es lineal, lo cual era de esperarse ya que concuerda con la teoría, además se aprecia la existencia de un offset inicial en el voltaje el cual puede deberse a diversos factores como, el pegado de la galga o la resistencia de las galgas no son iguales, éste error es normal en estos sensores, el cual se puede eliminar de forma programada, ya sea tomando el voltaje que aparece cuando no se aplica carga y restándoselo a la señal que se está leyendo u otro forma de eliminarlo es tomar la ecuación que caracteriza la recta y eliminar el intersección con el eje, logrando que la recta pase por el origen.

7.2.2. Análisis de medio puente. Para la configuración de medio puente, se utilizaron dos galgas extensiométricas y una configuración en la tarjeta de amplificación con dos resistencias fijas para completar el puente de wheasthorne. En la figura 58 se puede

apreciar las rectas para un paquete de 6 pruebas en las cuales se observa que la Repetibilidad no se mantiene cada vez que se llegaba a las 10000 lb, presentándose un error de no linealidad.

Figura 58. Paquete de pruebas con medio puente de Arduino



La ganancia necesaria para que el arduino leyera los datos de las deformaciones de la celda de carga tipo columna, se halla de la siguiente manera:

$$G = \frac{Voltaje_{salida}}{Voltaje_{entrada}}$$

Donde $Voltaje_{salida} = 1.16 [V]$ y $Voltaje_{entrada} = 3.08 [mV]$

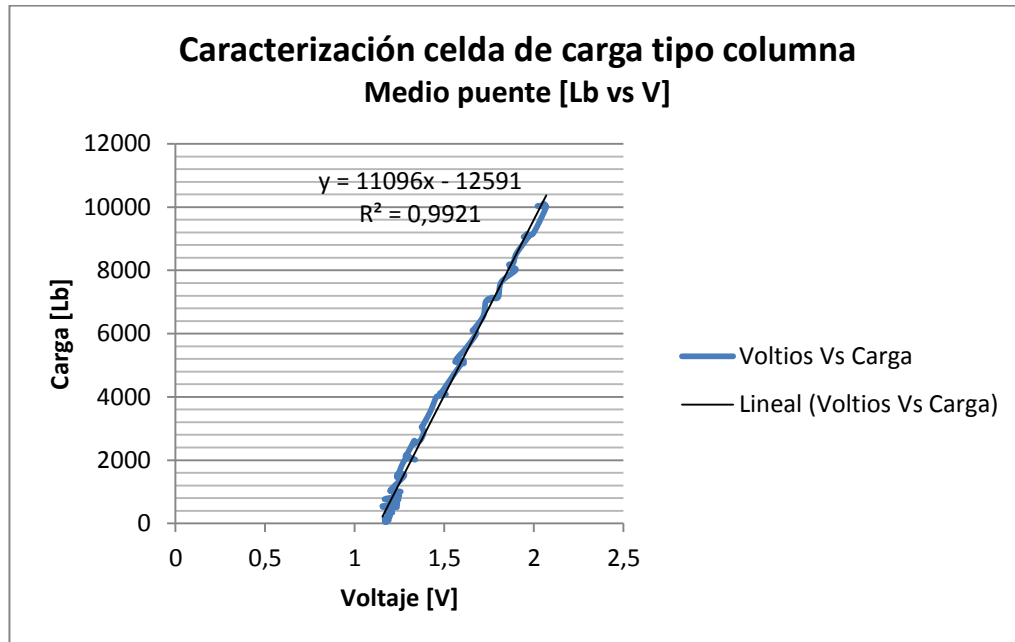
De ahí se obtiene el valor de la ganancia:

$$G = \frac{1.16}{0.00308}$$

$$G = 376.36$$

Para la caracterización de la celda tipo columna de medio puente, se tomaron cada uno de los datos, se agruparon para obtener una sola gráfica y así sacar una ecuación que caracterice todas las rectas, esto se puede observar en la figura 59.

Figura 59. Caracterización de la celda de carga medio puente con Arduino



En el medio puente con mediciones por medio de arduino se encuentran errores en el sensado de la carga casi de 1000 lb entre 10000 para la ecuación que caracteriza la celda tipo columna, siendo este valor considerable, esto puede deberse a la resolución que tiene el arduino y que el sensado de la carga antes de la caracterización se hace por otro instrumento diferente. En esta grafica también se puede observar el error de offset en el voltaje inicial el cual puede eliminarse por medio de la programación ya establecida.

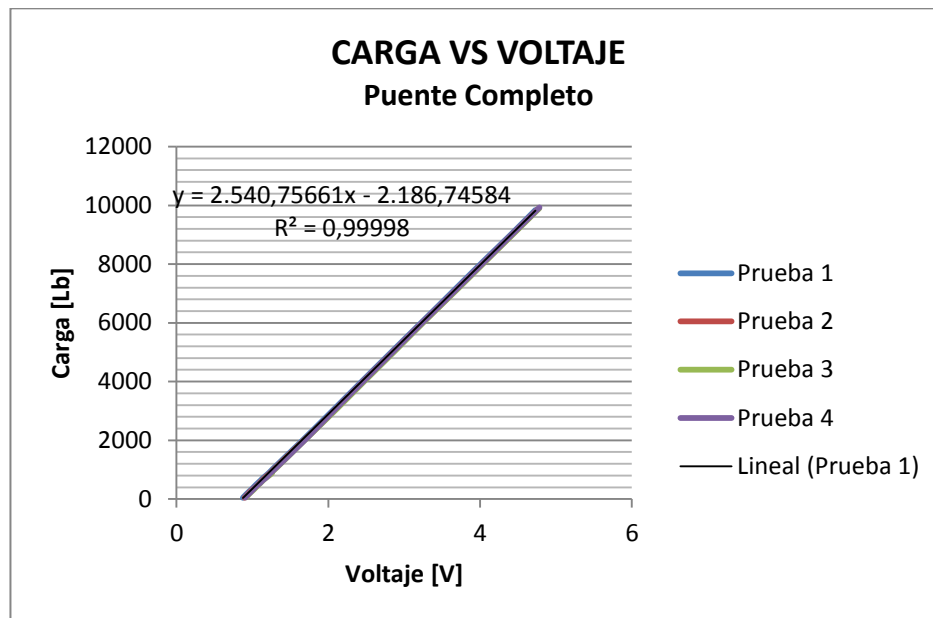
7.3. CARACTERIZACIÓN DE LA CELDA DE CARGA POR MEDIO PLC

7.3.1. Análisis de puente completo. Para la medición de puente completo con cuatro galgas extensiométricas por medio del autómatas programable S7 300, se conectó la

celda de carga tipo S al ajustador de carga SIWAREX U para sensor el valor de la carga y se conectó la salida de la tarjeta de amplificación a la entrada analógica 128 al módulo A/D que está incorporado en la CPU 314IFM para medir la salida de voltaje en configuración de puente completo de Wheatstone.

En la figura 60 se puede observar la caracterización de la celda de carga tipo columna mediante la utilización de ARDUINO para puente completo.

Figura 60. Caracterización de la celda de carga tipo columna puente completo PLC

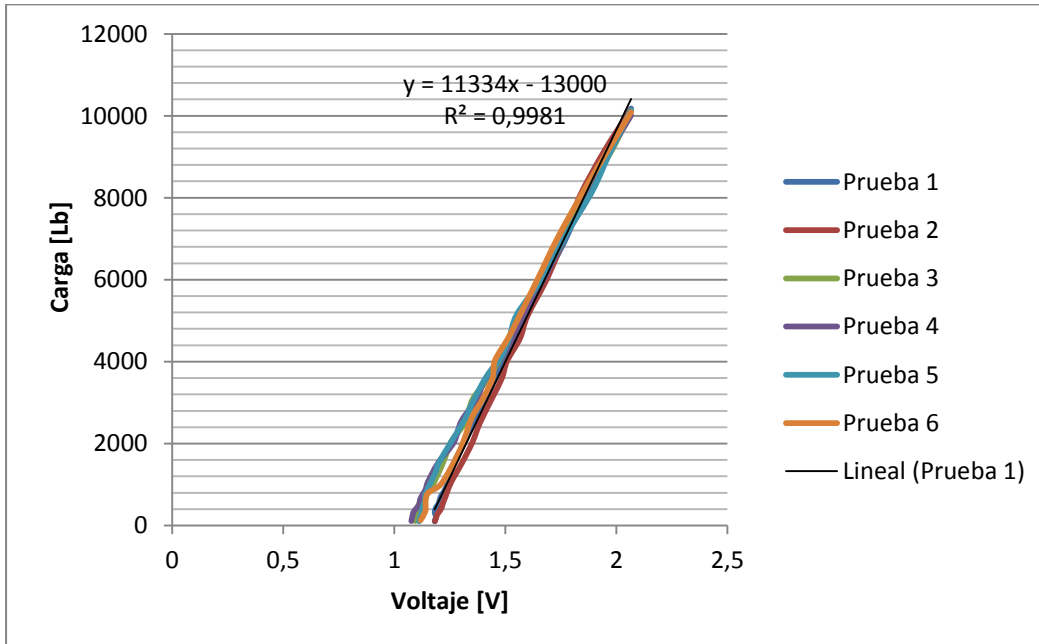


Se observa de la anterior figura que los datos obtenidos de la celda de carga tipo columna tienen un comportamiento lineal, pero al momento de comparar los resultados la curva caracterizada con los valores reales se encuentran diferencias máximas de 130 lb, lo cual corresponde a 1% aproximadamente, esto se debe a que la Repetibilidad no se mantiene por completo.

7.3.2. Análisis de medio puente. Para la configuración de medio puente, se utilizaron dos galgas extensiométricas con compensación de temperatura y una configuración en la tarjeta de amplificación para completar el puente de Wheatstone, en la figura 60 se

puede apreciar las rectas para un paquete de 6 pruebas en las cuales se observa que la repetibilidad no se mantiene cada vez que se llegaba a las 10000 lb.

Figura 1. Paquete de pruebas con el autómata programable S7 300 para una configuración de medio puente.



La ganancia necesaria para que el autómata leyera los datos de las deformaciones de la celda de carga tipo columna, se halla de la siguiente manera:

$$G = \frac{Voltaje_{salida}}{Voltaje_{entrada}}$$

Donde $Voltaje_{salida} = 1.180555 [V]$ y $Voltaje_{entrada} = 3.136771 [mV]$

De ahí se obtiene el valor de la ganancia:

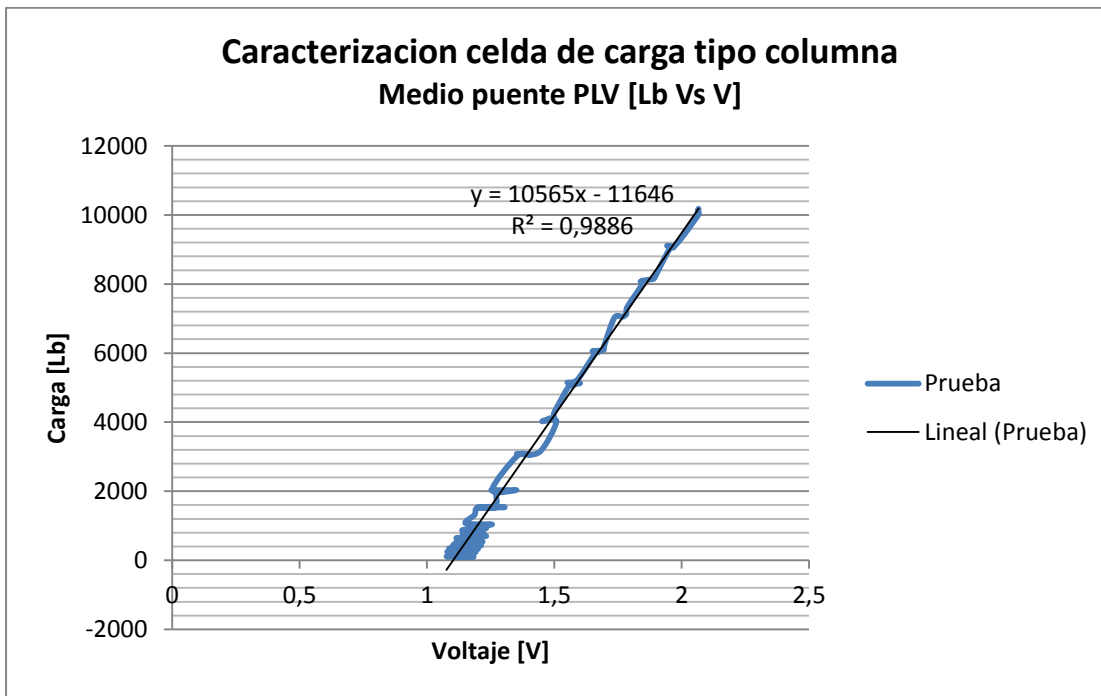
$$G = \frac{1.180555}{0.003136771}$$

$$G = 372.68$$

Para la caracterización de la celda tipo columna de medio puente, se tomaron cada uno de los datos, se agruparon para obtener una sola gráfica y así sacar una ecuación que caracterice todas las rectas, esto se puede observar en la figura 61. Cuando se comparan los resultados de la curva caracterizada con los valores reales se encuentran diferencias bastantes grandes en el trayecto de la curva con un error en la carga casi de 900 lb lo cual corresponde a un 9%, esto se presenta debido a que la linealidad en las

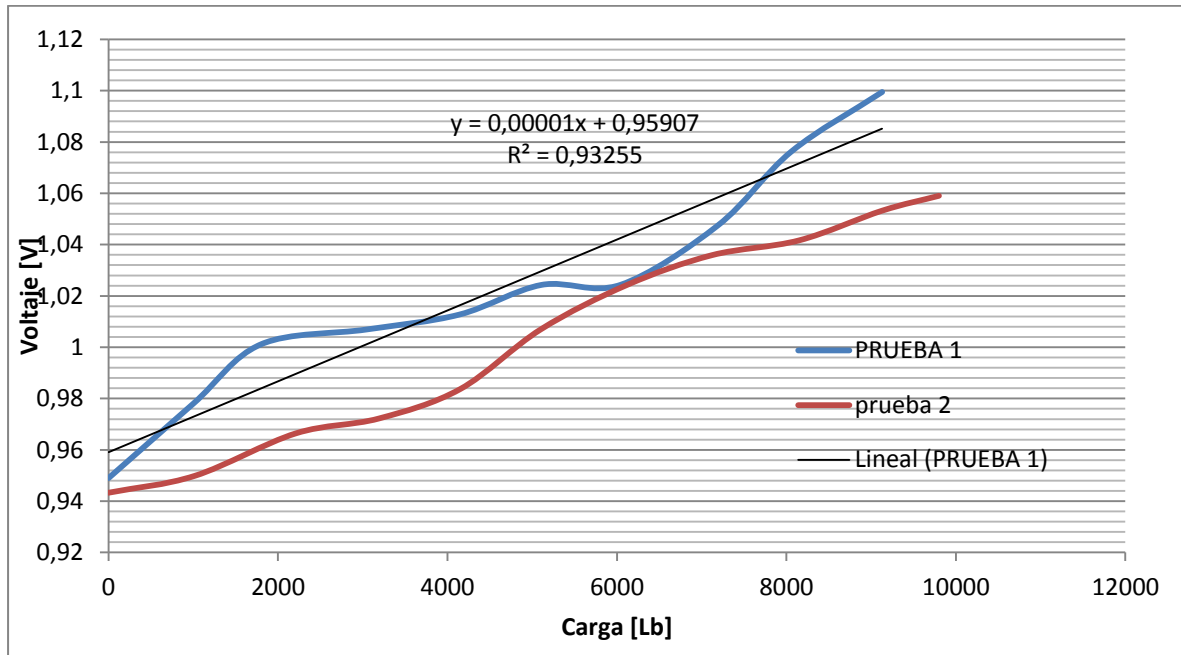
galgas no se conserva y siendo este sistema de pesaje no muy confiable. El error de offset se elimina por medio de programación una vez caracterizada la celda tipo columna.

Figura 2. Caracterización de la celda de carga tipo columna para medio puente mediante el autómatas S7300



7.3.3. Análisis de cuarto de puente. Para la configuración de cuarto de puente, se utilizó una galga extensiométrica sin compensación de temperatura y una configuración con tres resistencias fijas en la tarjeta de amplificación para completar el puente de wheasthorne, en la figura 63 se puede apreciar las rectas para un paquete de 2 pruebas en las cuales se observa que la Repetibilidad no se mantiene cada vez que se llegaba a las 10000 lb. En esta configuración de puente el rango de medición es muy pequeño generando una gran cantidad de error en la medición debido a la baja resolución que tiene el módulo ADC del PLC.

Figura 61. Paquete de pruebas con cuarto de puente para el autómatas S7 300



La ganancia necesaria para que el autómatas leyera los datos de las deformaciones de la celda de carga tipo columna, se halló de la siguiente manera:

$$G = \frac{Voltaje_{salida}}{Voltaje_{entrada}}$$

Donde $Voltaje_{salida} = 1.08[V]$ y $Voltaje_{entrada} = 5.7 [mV]$

De ahí se obtiene el valor de la ganancia:

$$G = \frac{1.08}{0.0057}$$

$$G = 189.4736$$

Para un cuarto de puente no es recomendable hacer mediciones por medio del PLC o arduino ya que posee un rango muy bajo lo cual solo se pueden medir deformaciones pequeñas y con estos instrumentos de medición no se puede lograr por su baja resolución.

7.4. COMPARACIÓN DEL TIPO DE PUENTE Y EL INSTRUMENTO DE MEDICIÓN

		INSTRUMENTO DE MEDICIÓN		
		<i>Arduino</i>	<i>PLC</i>	<i>NI 9237</i>
TIPO DE PUENTE	<i>Puente Completo</i>	Bueno	Bueno	Excelente
	<i>Medio Puente</i>	Regular	Regular	Bueno
	<i>Cuarto Puente</i>	Malo	Malo	Bueno

- En la medición de puente completo, la mayor fiabilidad para la caracterización de la celda de carga tipo columna, fue la que se hizo con el módulo especializado de National Instruments. Esto se corrobora comparando los valores de la carga obtenida de la tipo columna con la tipo S, mientras que con el Arduino y PLC los errores eran cada vez mayor debido a su baja resolución, pero en las tres medidas se conserva la linealidad en la celda tipo columna ratificando que la mejor forma de fabricar un sistema de pesaje es por medio de un puente completo.
- En la medición de medio puente, la fiabilidad para la caracterización de la celda de carga tipo columna no es recomendable, ya que a medida que la resolución del instrumento disminuya el porcentaje de error será aún mayor.
- En el cuarto de puente, no es recomendable la caracterización de la celda de carga, ya que el porcentaje de error aumenta mucho más que cuando se tiene una configuración de medio puente en función de la resolución del instrumento utilizado, esto debido a que el cuarto puente solo funciona para pequeños rangos de medición, necesitándose instrumentos con una alta resolución.

8. PROPÓSITO DE LAS PRÁCTICAS

MANUAL DE USUARIO

Con la finalidad de mejorar las capacidades intelectuales y prácticas para con los estudiantes de ingeniería mecánica, en las áreas de la mecatrónica y la automatización industrial. Se propuso el proyecto de “DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN BANCO DE PRUEBAS CON CELDAS DE CARGA”, con el objetivo de que los estudiantes, pudieran fomentar los conocimientos teóricos vistos en clase y a su vez realizar prácticas con éste tipo de sensor. Para esto, se diseñaron manuales de usuario, donde se puede encontrar los conceptos teóricos y prácticos para el desarrollo de las prácticas de laboratorio con celdas de carga. Para el diseño de los manuales, se decidió dividirlo en dos partes:

- Manual teórico
- Manual práctico

8.1. MANUAL TEÓRICO

Este manual, consta de las particularidades mecánicas y electrónicas de gran importancia para obtener una buena precisión en las mediciones con celdas de carga, las cuales se establecieron de la siguiente manera:

- Compatibilidad entre los elementos que componen una celda de carga
- Diseño de celdas de cargas mediante distintas configuraciones del puente wheasthone
- Amplificación de la señal a la salida de cualquier tipo celda de carga
- Comparar la resolución con la cual es tomada la señal a la salida de una celda de carga
- Efectos con la temperatura

- Métodos de ajuste y calibración de celdas de carga
- Hardware y software de adquisición de datos

8.2. MANUAL PRÁCTICO

Se ha estructurado con la siguiente guía de orientación con el propósito de permitir la verificación del trabajo antes y durante la práctica:

- **Título**
Nombre de la práctica que se va a realizar.
- **Objetivo**
Delimita el alcance de la práctica.
- **Fundamentación previa al laboratorio**
Es un marco teórico del tema que es necesario para llevar al estudiante a tener un conocimiento básico antes de realizar la práctica.
- **Ejemplo de aplicación**
Son ejemplos encontrados en la industria del tema relacionado.
- **Descripción básica del elemento principal**
Se tendrá un concepto básico del elemento principal, para reafirmar la lectura previa.
- **Procedimiento de Montaje**
La estructura me permite tener dos manejos manuales que me llevaran a disponer el banco para la puesta en marcha, estos son: la ubicación del lente Sensor y el panel de control. Aquí especificaremos las instrucciones junto con las maniobras y los riesgos para un buen funcionamiento de las prácticas.
- **Manejos**
El banco dispone de alternativas de manejo; aquí especificamos el seleccionado para la práctica.
- **Elaboración del programa**
Se brinda un paso a paso para la elaboración del programa y cargarlo al autómeta.

- **Evaluación**

Mide las competencias del estudiante después de finalizar la práctica y le permite hacer un análisis de los datos obtenidos.

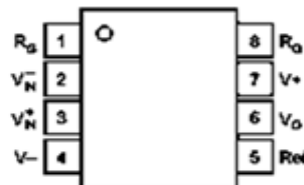
8.2.1. Práctica de amplificación de señal

Descripción general de una de las prácticas

1.4 Descripción del elemento principal

Amplificador instrumental INA 122

El INA 122 es un amplificador de instrumentación de precisión, para la adquisición precisa de una señal diferencial de bajo ruido.



1.5 Proceso de montaje y conexiones

Procedimiento

- I. Conecte los pines 4 y 7 a la fuente de voltaje GPS 3303 DC 5 [V] [V^- y V^+]
- II. Conecte el potenciómetro trimmer a los pines 1 y 8 [R_G]

De la ganancia para que el amplificador instrumental Sé satura

3. Con un mismo valor de la ganancia grafique la señal de salida para distintos voltajes de entrada al amplificador

4. Analice los resultados obtenidos

1. Ajuste los valores de la resistencia en el potenciómetro trimmer

2. Identifique el valor de la ganancia para distintos valores de voltaje el valor

9. CONCLUSIONES

- Se construyó una nueva barra en la cual se eliminó la grapa, debido a que ésta generaba un deslizamiento que afectaba las mediciones cuando se llegaba hasta las 10000 lb, ésta nueva barra se diseñó y construyó dentro de una zona elástica y de bajo ciclos para vida finita, el material empleado un acero SAE 4140 bonificado.
- Se realizó el pegado de dos galgas extensiométricas orientada cada una 180° a un celda tipo columna de 10000 lb, en la cual se desarrolló una configuración que permitió medir cada uno de los puentes completo, medio y un cuarto en una sola celda.
- La prueba de Creep Code se realizó para 4 celdas de diferentes materiales, cada una se comparó con la celda tipo S la cual presento el menor Creep ya que es una celda comercial garantizada por el fabricante, mientras las otras dos celdas una de Alumold 500 y una celda AISI 420 con galgas de la serie N2K tuvieron un mayor Creep, la celda AISI 420 con galgas N2K utilizada para las prácticas tuvo variaciones alrededor de 0,13 mV estando este valor cerca a la celda tipo S y siendo confiable para las mediciones, estos valores dependen del tipo de adhesivo y la temperatura del ensayo.
- Para la medición por medio de arduino y PLC, se diseñó un sistema de amplificación PCB necesario, que cuenta con un amplificador instrumental INA 122, que recibe una señal baja en mV proveniente de la celda tipo columna y la amplifica para que nuestro instrumento de medición sea capaz de percibirla ya que por su baja resolución no lo lograría.
- Al obtener los datos de la MTS 810 y los valores de la celda tipo S mediante el SIWAREX U y el CALOG, se verifica que tan confiable son los resultados en la tipo S

y según los datos la variación es muy pequeña, considerando las altas cargas que se sensoraron, por lo tanto se establece que la celda de carga tipo S y los instrumentos de ajustes son muy fiables.

- En las mediciones para puente completo realizadas por medio del módulo NI 9237, entrada analógica del arduino y módulo ADC del PLC, se apreció que las galgas tenían un comportamiento bastante bueno conservando en cada una de las pruebas su linealidad, demostrando que el puente completo es la mejor forma de configurar celdas de carga. El modulo NI 9237 por ser un sensor especializado mostro un bajo error en la carga medida y fácil eliminación del offset de manera programada.
- En mediciones de medio puente por medio de los tres instrumentos de medición, se observó que este tipo de puente no es recomendable para la medición de celdas de carga, ya que en las diferentes pruebas se produjo un error por linealidad y la repetibilidad entre mediciones no se conserva. Se comprobó la teoría donde el voltaje de medio puente disminuye a la mitad con respecto del puente completo.
- Debido a los resultados obtenidos, el cuarto puente no es la configuración adecuada para la medición de celdas de carga, por tener un comportamiento lineal únicamente para deformaciones pequeñas. Se caracterizó para demostrar su baja sensibilidad y no realizar compensación de temperatura, lo que produce un alto error en la medición de carga siendo este el peor sistema de pesaje.
- Todo lo realizado en este proyecto se recopiló en manuales para prácticos de laboratorio, con el propósito de ayudar al estudiante en su formación académica sobre el tema de celdas de carga.

10. RECOMENDACIONES

- Antes de manipular los sistemas de ajuste y calibración como Siwarex U y Calog Loadcell II, se debe leer cada uno de los manuales para tener conocimientos previos de estos sistemas y lograr una manipulación adecuada.
- Para la medición de un cuarto de puente, es necesaria la adquisición de un módulo especializado que nos garantice un correcto funcionamiento de este tipo de configuración con la celda.
- Antes de la realización de cada práctica, es necesario leer los manuales teórico-prácticos para tener una idea más clara y lograr la manipulación de la celda de carga tipo columna sin ningún inconveniente.
- Eliminar o disminuir la influencia del ruido tanto en el sistema de amplificación o en los instrumentos de medición.
- Realizar más pruebas con el objetivo de buscar una mejor ecuación que caracterice el comportamiento de los diferentes puentes
- Si se quiere seguir trabajando con galgas extensiométricas tener presente el tiempo adquisición, ya que en Colombia no se consiguen con tanta facilidad y en algunas empresas extranjeras como Vishay se tardan varios meses en hacer el envío.

BIBLIOGRAFÍA

- AK Steel Company. Aceros inoxidables para celda de carga internacionales. "[en línea] [Recuperado de internet el 15 de Febrero de 2013] Disponible en: http://www.aksteel.com/markets_products/stainless_precipitation.aspx
- BEER, Ferdinand P; E RUSSELLI, Johnston; DEWOLF, John T. Mecánica de Materiales. Tercera Edición, Mc Graw Hill, México, 2004.
- Compañía General de Aceros. Proveedores de material e información de cada acero para celdas de carga.[en línea] [Recuperado de internet 4 Diciembre de 2012] Disponible en: http://www.cga.com.co/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=41&&Itemid=186
- HIBBELER, R. C. Mecánica de Materiales. Tercera Edición, México, 1997.
- NORTON, Robert L..Diseño de Máquinas. 1080 p Prentice Hall, México, 1999.
- PARADA CORRALES, Alfredo. Fatiga. Fisura progresiva. Primera Edición, Bucaramanga, Colombia, 1990.
- SHIGLEY, Joseph Edward; Diseño en Ingeniería Mecánica. 1514 p. Octava Edición, McGraw Hill.

ANEXOS

Anexo A. Calibración de celdas de carga

- **Módulo de pesaje SIWAREX U**



SIWAREX U es un módulo de pesaje versátil para todas las tareas sencillas de pesaje y dinamometría. Se utiliza conectado bien de forma centralizada en un SIMATIC S7-300, bien de forma descentralizada vía PROFIBUS DP con S7-400, SIMATIC S5 o incluso con controladores de otros fabricantes.

En cualquier lugar donde se realicen mediciones con sensores como células de carga, sensores dinamométricos o medidores de par, SIWAREX U es la mejor solución. Por ejemplo, para el control del nivel en silos y depósitos, en la vigilancia de cargas de una

grúa, en la medición de la carga de cintas transportadoras o como protección contra sobrecarga en ascensores industriales o trenes de laminación. Esto significa en cualquier lugar donde deban detectarse pesos para suministrarse al sistema de automatización de la forma más rápida posible, no falseada y sin interfaces adicionales para su postprocesamiento.

Con SIWAREX U y otros componentes estándar de la gama de productos SIMATIC, le ofrecemos el entorno óptimo de hardware y software. Con este entorno podrá realizar sus tareas de pesaje de forma económica y de forma individualizada y adaptada a su instalación. Si, por ejemplo, se utiliza un SIWAREX de 1 ó 2 canales con el SIMATIC CPU 312 C, se obtiene un sistema de pesaje extraordinariamente económico y de libre programación con un total de 10 entradas digitales y 6 salidas digitales.

- **Calog-LC II Loadcell Calibrator**



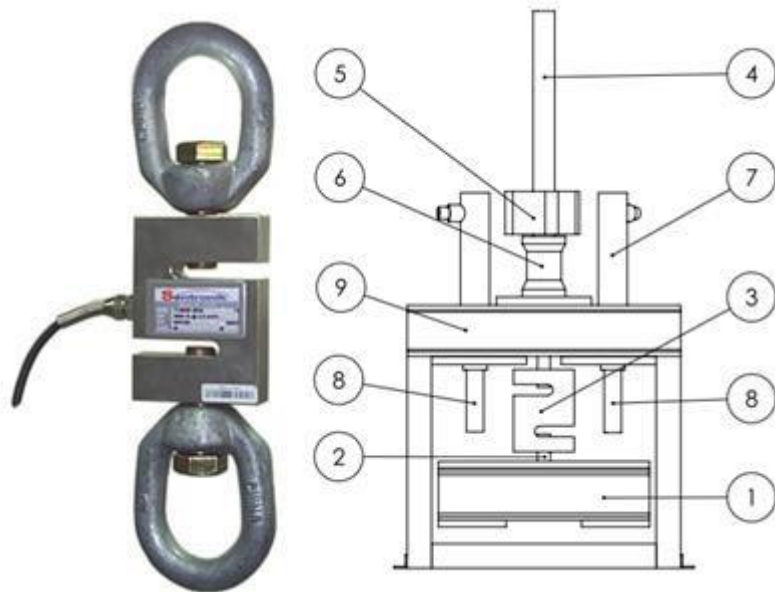
The Calog Loadcell II Calibrator is ideal for testing 4 and 6 wire loadcells, checking insulation breakdown, weighing system calibration and simulation. It can test a loadcells' zero balance, input resistance, output resistance, bridge balance, 50V DC insulation test from bridge to shield bridge to housing and shield to housing.

The Calog Loadcell II Calibrator is a hand-held precision calibrator specifically designed for load cell testing, including insulation breakdown and weighing system calibration or simulation. Simply connect a strain-guage load cell to the spring terminals and press "TEST LOADCELL". The backlit graphics will display four or six wire, zero balance, input or output resistance and bridge balance. It can then carry out a 50 VDC insulation test from bridge to shield, bridge to housing and shield to housing.

For system testing and calibration the Calog Loadcell II Calibrator can simultaneously measure mV (with mass display), excitation voltage and mA. In source mode, used for load cell amplifier pre-calibration testing, it can source mV (with mass display), measure excitation and measure mA. In simulate mode it sources a mA signal to the control room or SCADA. The display can be in mA, mA and mass or mass and mA.

Calibración de una celda de carga por medio de un patrón de referencia:

- Utilizando celda de carga tipo S, conectada a cada uno de los instrumentos de calibración, instrumentación y medición (siwarex u y calog), aplicando una carga por medio de dos cilindros hidráulicos enerpac.



- 1) Ensamble base celda
- 2) Tornillo de sujeción entre la celda de carga tipo S y el ensamble base
- 3) Celda de carga electrónica para tensión tipo S
- 4) "barra Pulida"
- 5) Grapa
- 6) Celda de carga a evaluar
- 7) Actuadores hidráulicos
- 8) Pistón actuador hidráulico
- 9) Marco del banco

Por medio de pesos muertos calibrados y conocido su valor, que se cuelgan a la celda de carga tipo s, tensión-compresión

SIWAREX[®] U

Device manual

Version: 06/2008

For modules with order number 7MH4950-1AA01 and 7MH4950-2AA01



Safety instructions

This manual contains instructions which you must observe for your own safety and to avoid material damage. The instructions are signaled by a warning triangle and are presented as follows according to the degree of danger:

Danger

Means that failure to take the necessary safety precautions **will** result in death, serious injury or significant material damage.

! Warning

Means that failure to take the necessary safety precautions **can** result in death, serious injury or significant material damage.

! Caution

Means that failure to take the necessary safety precautions can result in a minor injury or material damage.

Caution

Means that failure to take the necessary safety precautions can result in material damage.

Attention

Refers to important information about the product, the handling of the product or the respective part of the documentation to which special attention should be given.

Qualified personnel

The commissioning and operation of a device may only be performed by **qualified personnel**. In the context of the safety instructions in this manual, qualified personnel means persons who have the authorization to commission, ground, and certify devices, systems, and power circuits in accordance with the applicable safety standards. Proper use

Warning

The device may only be used for the applications described in the catalog and the technical description and only in conjunction with external devices and modules that are approved or recommended by Siemens. Fault-free and safe operation of the product depends on proper transport, storage, assembly, and installation as well as careful operation and maintenance.

Brand names/Trademarks

SIWAREX®, SIMATIC®, SIMATIC HMI®, and SIMATIC NET® are trademarks of Siemens AG. The other designations in this text may be trademarks the use of which by third persons for their own purposes might infringe proprietor rights.

Copyright © Siemens AG 2007 All rights reserved

The circulation and reproduction of this document and the application and disclosure of its contents is not permitted unless expressly authorized. Offenders will be liable for damages. All rights reserved, including rights created by granting of patents or registration of a utility model or design.

Siemens AG
Automation & Drives Dept.
SIWAREX Weighing Systems
A&D SC PS1 WT
Östliche Rheinbrückenstr. 50
76187 Karlsruhe, Germany

Disclaimer

We have tested the contents of this document for compatibility with the hardware and software described. This does not exclude the possibility of discrepancies, in which case we do not guarantee the complete compatibility of this document. The information in this document is assessed regularly and any necessary corrections are included in the next revision. We are grateful for any suggestions for improvement.

© Siemens AG 2007

Subject to change without notice.

SIWAREX U

Universal weighing module for SIMATIC S7 300 and ET 200M

Technical manual for modules with order
number 7MH4950-1AA01 and 7MH4950-2AA01

Version 06/2008

A

<u>Safety instructions</u>	
<u>Table of contents</u>	
Preface	1
Scope of delivery	2
Product overview	3
Hardware configuration and installation	4
Weighing functions	5
Commands	6
Messages and diagnostics	7
Communication in SIMATIC S7	8
Communication with other systems	9
Remote display	10
Setting the scale – SIWATOOL U	11
Order numbers and accessories	12
Technical data	13
Index	14
Abbreviations	15

4.4 Connection and wiring

4.4.1 Connection areas of SIWAREX U

On the front side there is a 20-pin plug connector for load cell connection, RS232 and 24 V

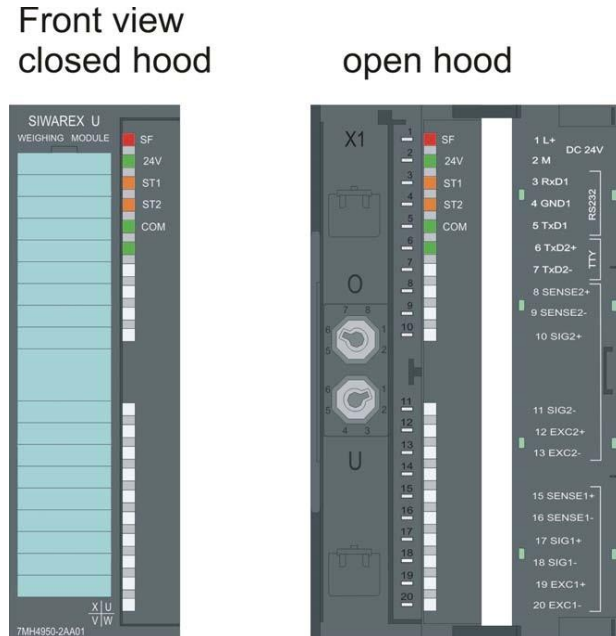


Figure 4-1 SIWAREX U front view, flap open

4.4.2 Shield connection

Special attention must be given to the shield support for the shielded lines. Only correct assembly ensures the interference immunity of the system.

A line is shielded in order to weaken the effect of magnetic, electric, and electromagnetic interference on the line. Interference on cable shielding is routed to ground through shield rails that are conductively connected with the housing.

To ensure that this interference does not in turn become a source of interference, a low impedance connection to ground is especially important.

Only use cables with mesh shielding. The cover density of the shield should be at least 80%.

To attach the mesh shielding, only use metal cable clips. The clips must envelop the shield extensively and make good contact.

The shield clamps must be ordered separately to the shield connection element. The size of the shield clamp is to be chosen according to the cable diameter.

To attach a cable with the shield clamp, approx. 1.5 cm of the cable insulation is to be cut out of the place which is to be laid. The bare shield is then to be pressed tight against the shield connection element with the shield clamp.

The following figure shows the mounting of the shield clamps:

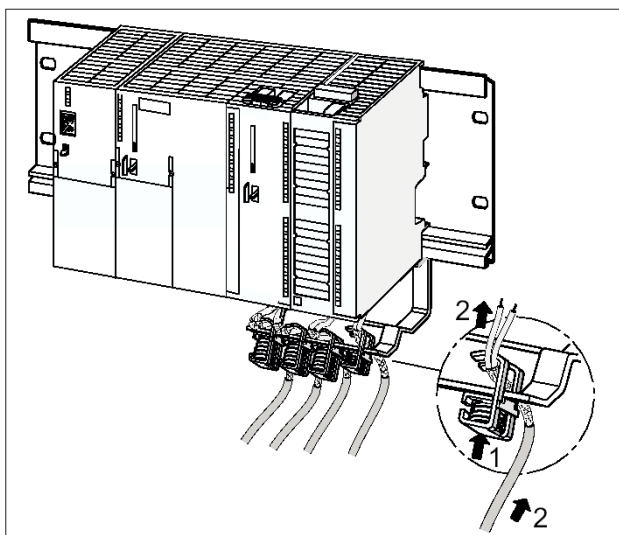


Figure 4-2 Installation diagram for the shield clamps

The shield should be pressed against the shield rail by means of the shield clamp.

4.4.3 Connections at the front connector

The SIMATIC set-up guidelines apply for the connection of the 20-pin connector.

You can use flexible lines with a cross-section of 0.25 to 1.5 mm². The stripping length is 6 mm, the lines should be provided with wire-end sleeves.

4.4.4 Connection of the 24 V power supply

Note

In the system S7 300 or ET200M, the SIMATIC CPU or IM 153 and SIWAREX U must be connected to the same 24 V power supply.

Use the 20-pin front connector to connect to the 24 V power supply.

Terminal	Signal name	Remarks
1 L+	24 V DC 1L+	Power supply +
2 M	24 V DC 1M	Power supply M

Table 4-2 Power supply connection

4.4.5 Load cell connection

Sensors which are equipped with strain gauges and meet the following conditions can be connected to SIWAREX U:

- Characteristic value 1.... 4 mV/V
- Supply voltage of 6 V is permissible

Use the 20-pin front connector to connect to the supply voltage. The connection should be made with the cable described in the chapter [Order numbers](#) and accessories. The cable was developed especially for the connection of load cells.

Terminal	Signal name	Remarks
15	SENSE1+	Channel 1: sensor line +
16	SENSE1-	Channel 1: sensor line -
17	SIG1+	Channel 1: measuring line +
18	SIG1-	Channel 1: measuring line -

Terminal	Signal name	Remarks
19	EXC1+	Channel 1: load cells supply voltage +
20	EXC1-	Channel 1: load cells supply voltage -

Table 4-3 Connection of load cells channel 1

Terminal	Signal name	Remarks
8	SENSE2+	Channel 2: sensor line +
9	SENSE2-	Channel 2: sensor line -
10	SIG2+	Channel 2: measuring line +
11	SIG2-	Channel 2: measuring line -
12	EXC2+	Channel 2: load cells supply
13	EXC2-	Channel 2: load cells supply

Table 4-4 Connection of load cells channel 2

The following rules are to be observed when connecting load cells (LC):

1. The use of a junction box (JB) becomes necessary when more than one LC is connected (the LCs must be connected in parallel).
2. If the distance between the LC and SIWAREX U is larger than the obtainable length of the LC connection cable, then you must use extension box (EB).
3. The cable shield is normally run on the cable guide supports of the junction box. Where there is a danger of potential equalization currents via the cable shield, a potential equalization conductor is to be laid parallel to the load cell cable or the shield clamp in the JB is to be used for the shield support. Using the potential equalization conductor is a preferable method as regards EMC (electromagnetic compatibility).

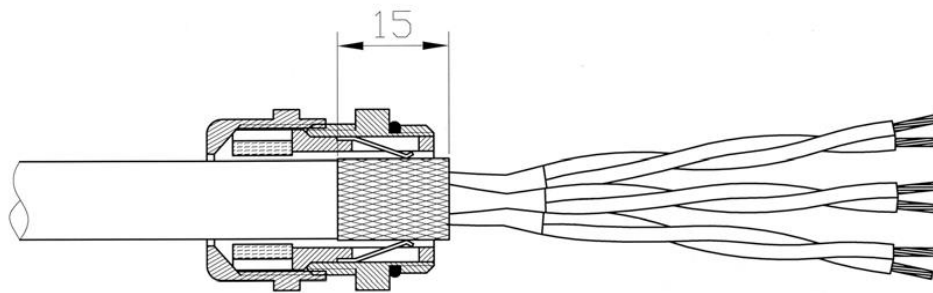


Figure 4-3 Shielding in the screw joint

3. Twisted pairs of conductors are necessary for the specified lines:
 - Sensor line (+) and (-)
 - Measurement voltage line (+) and (-)
 - Supply voltage line (+) and (-)

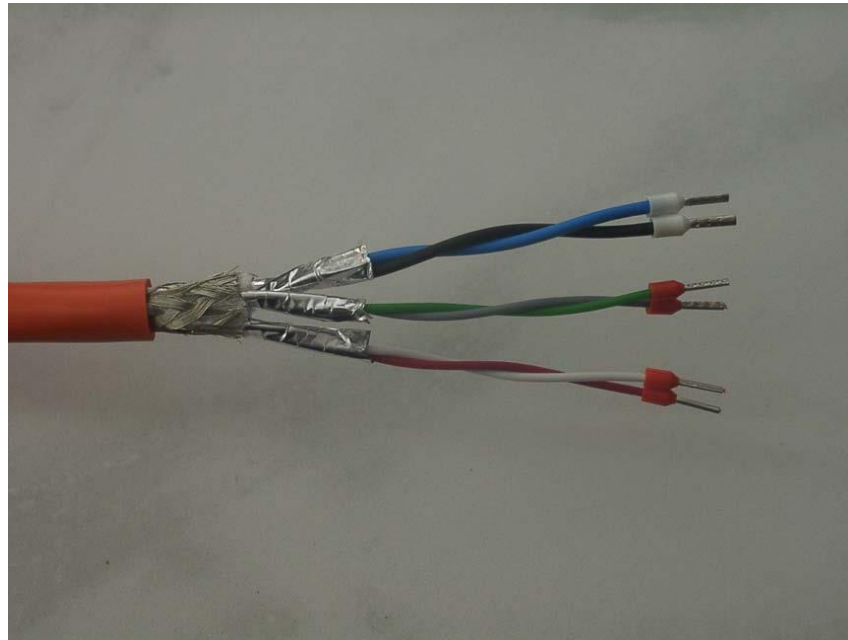


Figure 4-4 Pairs of conductors in the shielded cable

4. On SIWAREX U, the shield must be laid on the shield connection element.

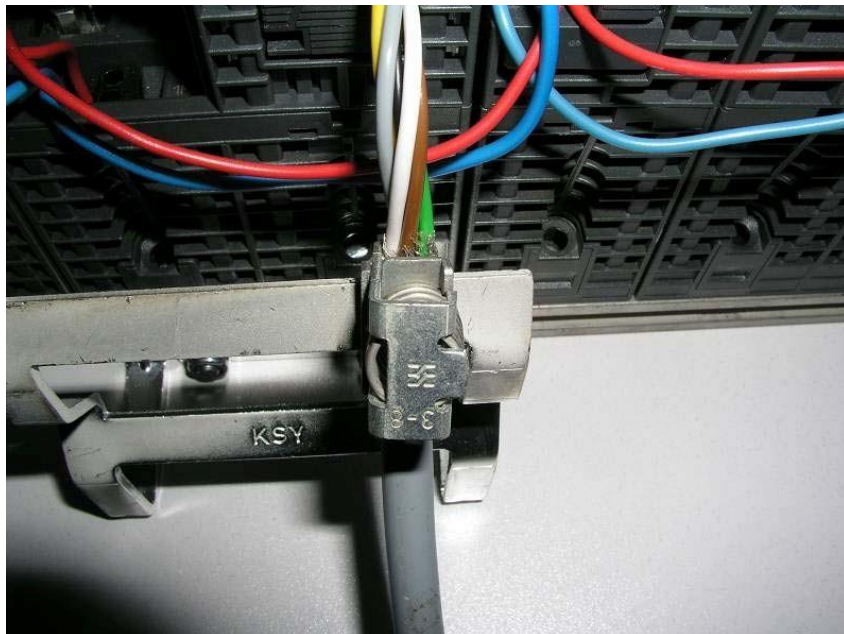


Figure 4-5 Example - Mounting of shield clamps on module

The following two diagrams show the load cell connection in the 4-wire and 6-wire systems.

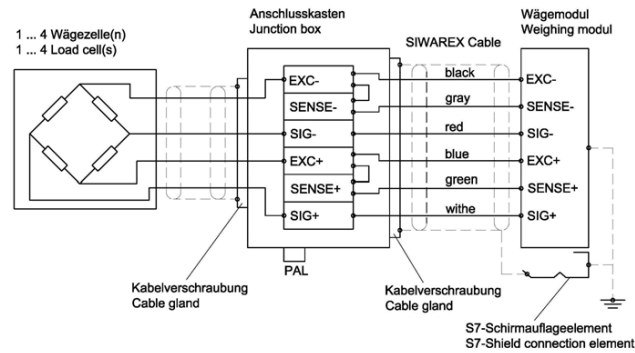
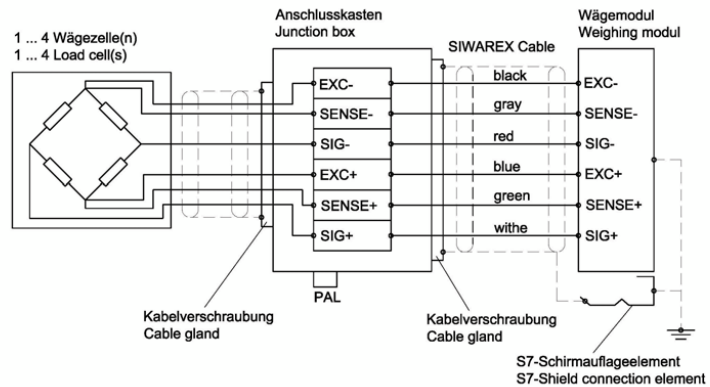


Figure 4-6 Load cell connection: 4-wire system



4.4.6 Connection of the Siebert digital remote display

The Siebert display Model S102 can be connected to the TTY port.

Connection in the terminal block	Signal name	Remarks
6	TXD2+	
7	TXD2-	

Figure 4-8 Connection of the Siebert S102 remote display

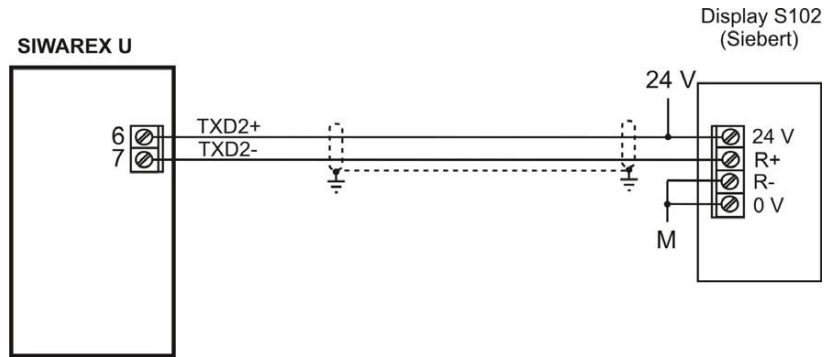


Figure 4-9 Connection of the S102 display

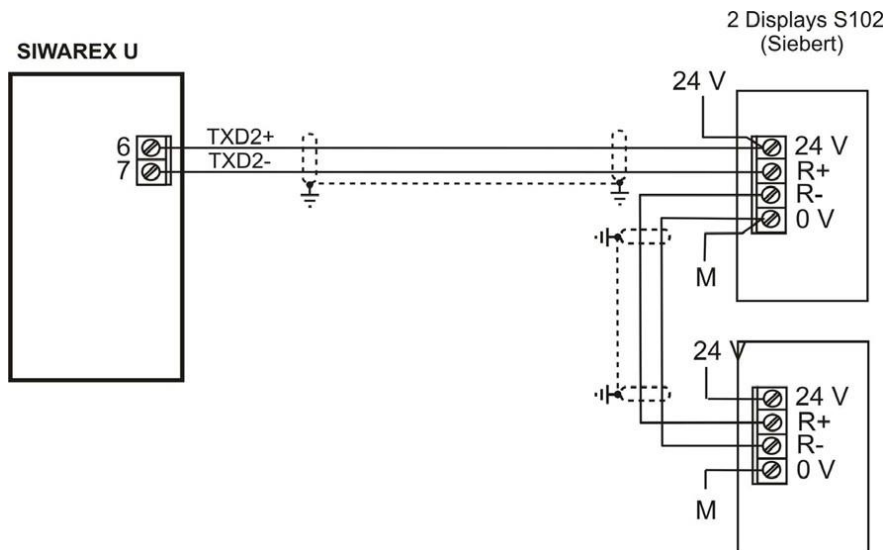


Figure 4-10 Connection of two S102 displays

4.4.7 Connection of the PC for SIWATOOL U

Connection in the terminal block	Signal name	Remarks
3	RXD1	When using the connecting line 7MH4 607-8CA: conductor name "RxD"
4	GND1	When using the connecting line 7MH4 607-8CA: conductor name "GND"
5	TXD1	When using the connecting line 7MH4 607-8CA: conductor name "TxD"

Table 4-5 Connection of the PC

Ready-made connecting cables are available for connecting the PC (see [Order numbers and accessories](#))

**SIWAREX U
RS 232C**

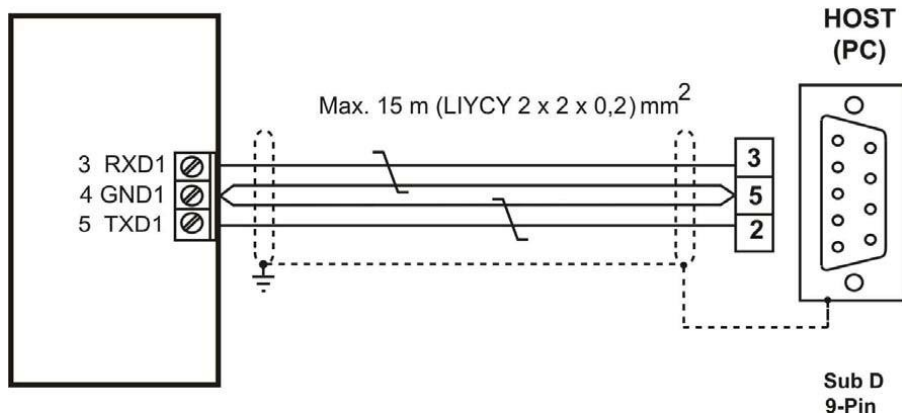
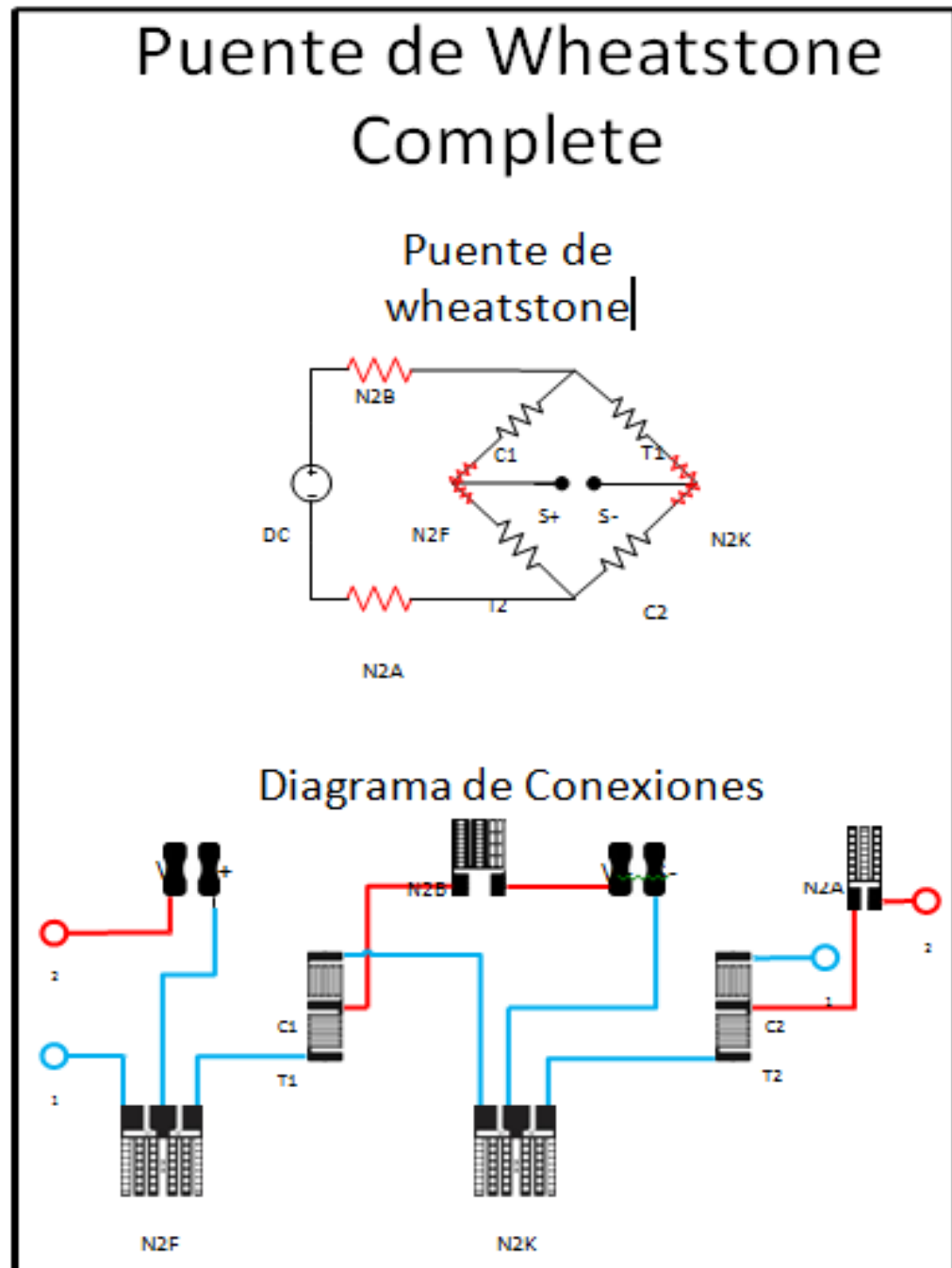


Figure 4-11

Connection of the PC

Anexo B. Puente De Wheasthone

- Diagrama de conexiones para el Puente de wheatstone con resistencias:



- Diagrama de conexiones del puente wheatstone sin resistencias:

Puente de Wheatstone Básico

Puente de wheasthone|

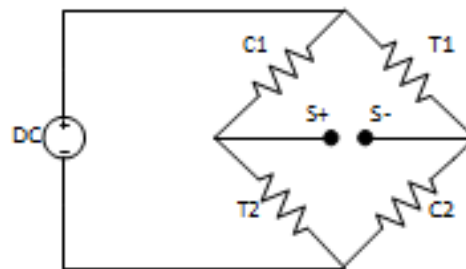
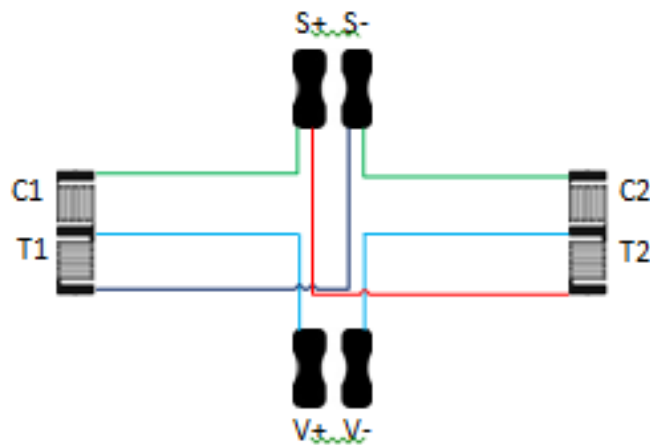
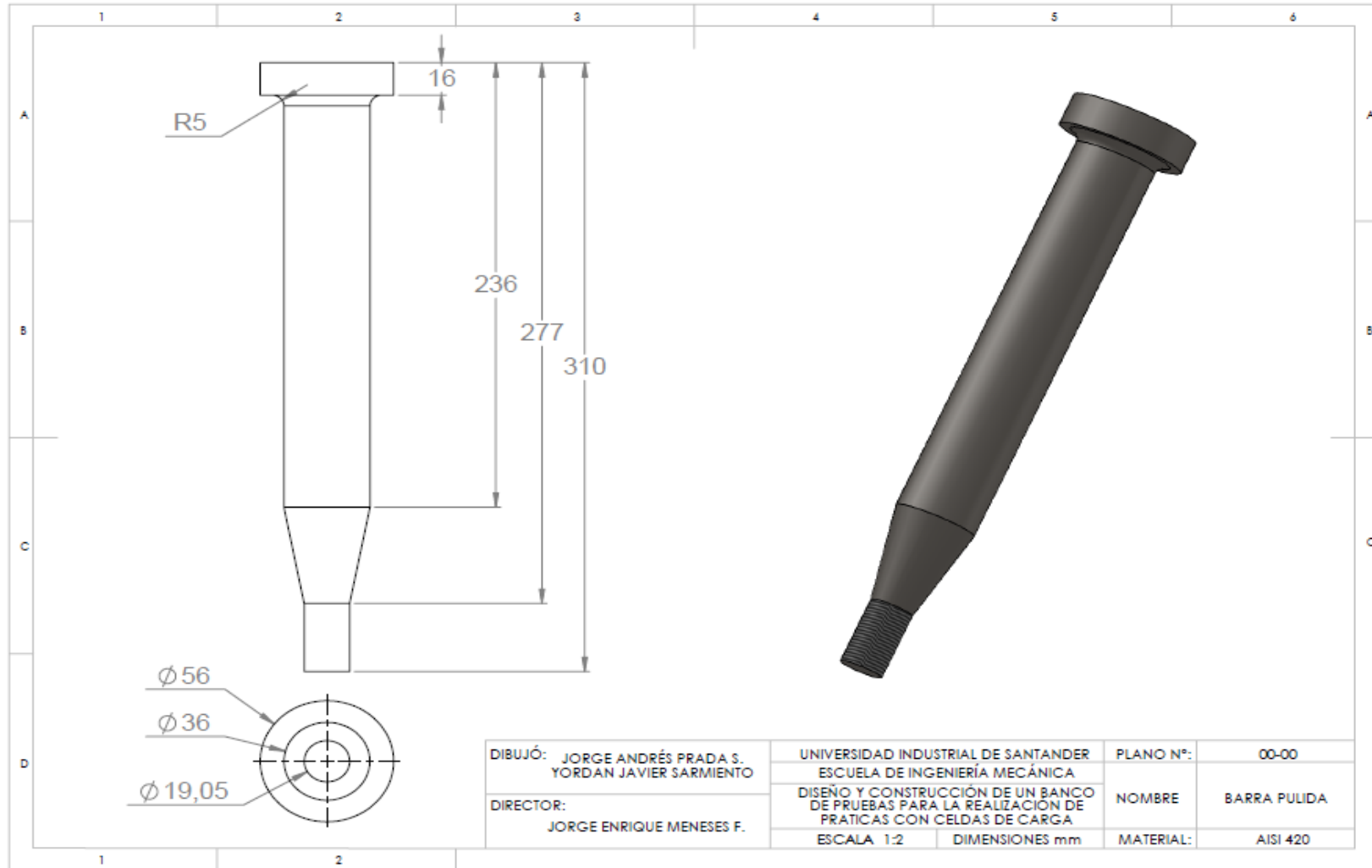
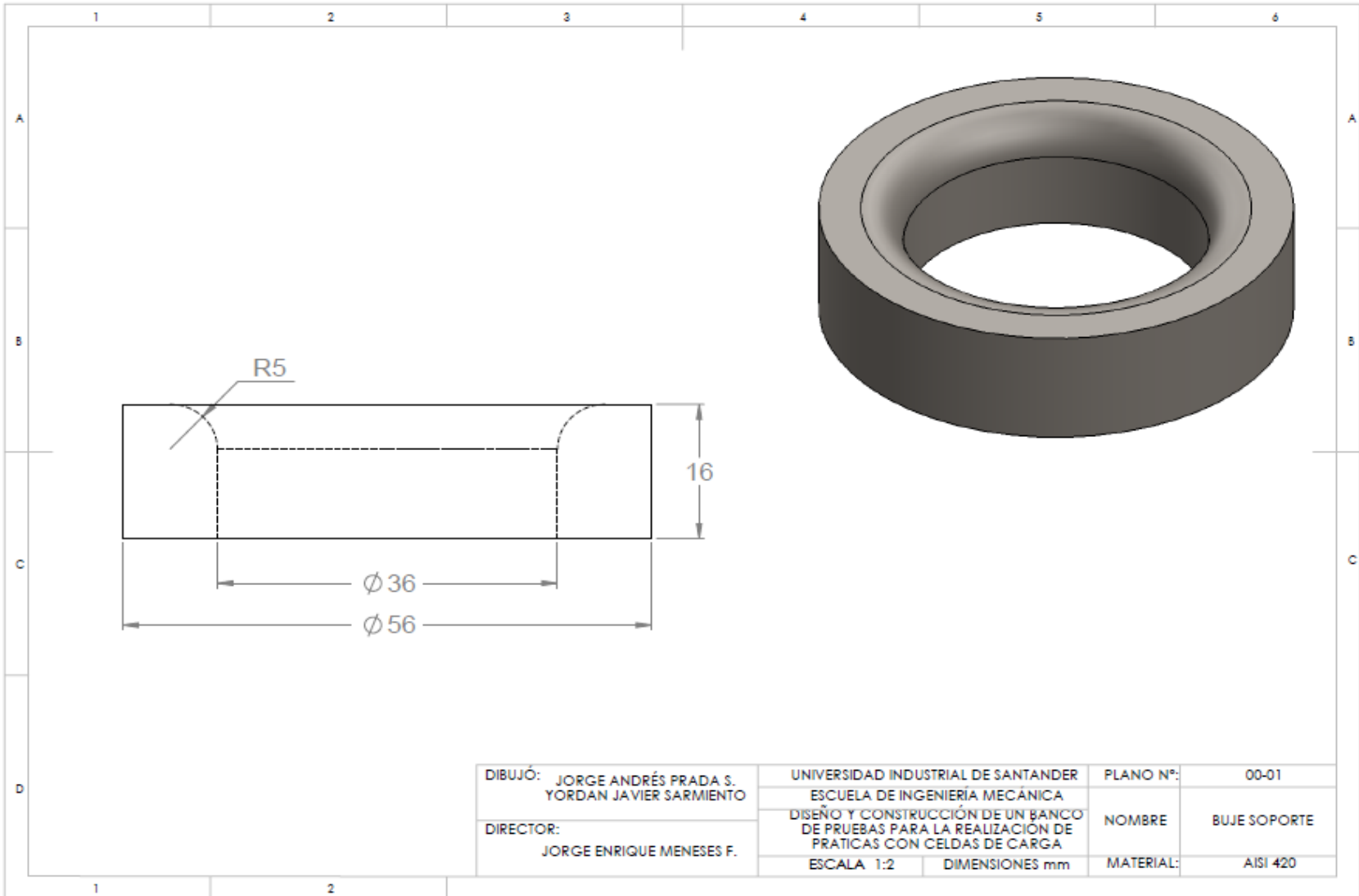


Diagrama de Conexiones



Anexo C. Planos barra banco de pruebas





DIBUJÓ:	JORGE ANDRÉS PRADA S. YORDAN JAVIER SARMIENTO	UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER	PLANO N°:	00-01
	DIRECTOR:	JORGE ENRIQUE MENESES F.	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	NOMBRE
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA LA REALIZACION DE PRATICAS CON CELDAS DE CARGA				
ESCALA 1:2			DIMENSIONES mm	MATERIAL: