

**CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UNA MESA ELEVADORA CON
CONTROL ELECTRÓNICO**

BIBLIOTECA - USTA
TUNJA

SONIA ALEJANDRA GONZÁLEZ DUARTE

SANDER FERNEY ZARATE SABOYÁ



**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
TUNJA
2013**

TIE
655co
2013

9114

**CONSTRUCCIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UNA MESA ELEVADORA CON
CONTROL ELECTRÓNICO**

SONIA ALEJANDRA GONZALEZ DUARTE

SANDER FERNEY ZARATE SABOYÁ

**Trabajo de Grado
Presentado para optar el título de
INGENIERO ELECTRÓNICO**

Tutor:

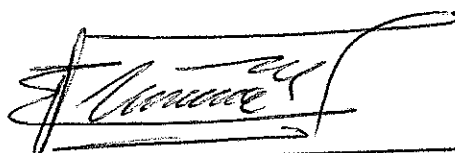
MSc Ing. OSCAR EDUARDO UMAÑA MENDEZ



**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
TUNJA
2013**

*Solamente los autores son responsables de
las ideas expuestas en el presente trabajo.*

Nota de aceptación:



Firma del Tutor



Firma del Jurado



Firma del Jurado

Tunja, Noviembre 25 de 2013

Dedicamos este esfuerzo en primera instancia a Dios Todo Poderoso por la sabiduría, paciencia y fortaleza que nos concede para que fuese posible el desarrollo de este trabajo, además queremos dar gracias a nuestros padres por su cariño y apoyo incondicional para alcanzar la meta propuesta en este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por habernos acompañado y guiado a lo largo de nuestra carrera, por ser nuestra fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarnos una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

Al mismo tiempo agradecemos a nuestros Padres, hermanos y demás allegados que nos han acompañado en el camino del saber, apoyándonos incondicionalmente durante nuestras vidas y nos han guiado para ser mejores personas inculcándonos los valores de un hogar.

Agradecemos al Ingeniero Oscar Eduardo Umaña Méndez, nuestro tutor, porque nos ha guiado y encaminado de la mejor forma brindándonos su apoyo incondicionalmente en el transcurrir de nuestros días como estudiantes universitarios. Dándonos algunos consejos para enfrentarnos a la próxima etapa de nuestras vidas, que es la laboral y cómo afrontar los diferentes obstáculos que se nos lleguen a presentar en nuestra vida profesional.

Agradecemos a nuestros compañeros ya que con sus aportes pudimos alcanzar esta meta y por compartir con nosotros momentos significativos en esta etapa universitaria.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	10
LISTA DE FIGURAS	11
GLOSARIO	14
RESUMEN	16
PRÓLOGO	17
1. INTRODUCCIÓN	18
2. JUSTIFICACIÓN	19
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	20
3.1. Formulación del problema:	20
3.2. Planteamiento del problema:	20
3.3. Descripción de problema:	20
4. OBJETIVOS	21
4.1. OBJETIVO GENERAL	21
4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS:	21
5. MARCO REFERENCIAL	22
5.1. MARCO HISTÓRICO:	22
5.2. MARCO TEÓRICO:	23
5.2.1. Mesa elevadora	23
5.2.2. Motor eléctrico:	26
5.2.3. Bomba hidráulica:	28
5.2.4. Pistón:	32
5.2.5. Celda de carga:	35
5.2.6. Válvulas Solenoides:	37
5.3. MARCO CONCEPTUAL:	39
6. DISEÑO METODOLÓGICO	43
7. RESULTADOS	44

7.1. Etapa 1: Diseño de la mesa y selección de los materiales adecuados para cumplir con las especificaciones de construcción del sistema con capacidad para soportar hasta 200 Kg de peso.....	44
7.2. Etapa 2: Acondicionamiento del motor eléctrico, la bomba hidráulica, el pistón y el tanque de almacenamiento en el prototipo.....	49
7.3. Etapa 3: Diseñar los circuitos electrónicos a implementar en la mesa para el control del sistema mecánico.....	54
7.4. Etapa 4: Implementar el sistema de seguridad y prevención, tanto de los circuitos como de la mesa elevadora.....	56
7.5. Etapa 5: Diseño e implementación de los circuitos electrónicos y obtención de la curva característica de los sensores.....	57
7.6. Etapa 6: Implementación de los circuitos diseñados y pruebas finales del prototipo.....	68
7.7. Etapa 7: Interfaz gráfica o tablero de mando en donde se instalen los visualizadores de potencia y de control.....	70
7.8. Modelamiento matemático del sistema electrónico, y selección del controlador.....	71
7.8.1. Modelamiento Matemático Sistema a Controlar. Descripción de variables y diagrama esquemático del sistema de control.....	71
7.8.2. Identificación de la función de transferencia del sistema a controlar (experimental en laboratorio por curva de reacción)	71
7.8.3. Discretización del modelo continuo. Selección del periodo de muestreo. Método de Tustin y ZOH en Matlab y concluir.....	76
7.8.4. Análisis de respuesta al escalón unitario tanto para el sistema continuo como para el sistema discreto a lazo abierto (Matlab y Simulink) con respectivos comentarios.....	77
7.8.5. Análisis de Estabilidad del Sistema en tiempo continuo (Routh Hurwitz, Rlocus, Bode, Nyquist). Análisis soportado con simulación en Workspace de Matlab. Conclusiones	80
7.8.6. Análisis de Estabilidad del Sistema en tiempo discreto (Jury, Rlocus, Bode, Nyquist). Análisis soportado con simulación en Workspace de Matlab. Conclusiones.....	82
7.8.7. Diseño de Controlador análogo y discreto PID, PD o PI. Definición de especificaciones del controlador en el dominio temporal. Justificación de la	

selección del mejor controlador (Desempeño en el dominio del Tiempo). Diseño analítico y soportado con simulación en Matlab, Simulink y sisotool. Conclusiones. Evaluación del desempeño del controlador	86
7.8.8. Diseño controlador en adelanto y en atraso análogo y discreto. Definición de especificaciones del controlador en el dominio frecuencial. Justificación de la selección del controlador (Desempeño en la frecuencia). Diseño analítico y soportado con simulación en Matlab, Simulink, Sisotool. <i>Conclusiones</i>	93
7.8.9. Diseño de controlador en Espacio de Estados del sistema. Análisis de Controlabilidad y Observabilidad. Diseño por realimentación de variables de estado. Diseño analítico y soportado con simulación en Matlab, Simulink y Sisotool. Conclusiones.	104
9. OTROS APORTES DERIVADOS DEL TRABAJO	108
9.1. Instrumento Virtual, para la variación del peso:	108
9.2. Proceso de calibración del sensor de corriente de efecto Hall:	115
9.3. Acondicionamiento del Sensor de Corriente de efecto hall:.....	117
9.4. Eventos de participación	118
CONCLUSIONES	120
BIBLIOGRAFÍA	122
ANEXOS	125

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Criterios de clasificación de las bombas	30
Tabla 2. Características eléctricas de la celda de carga ZEMIC L6E	50
Tabla 3. Relación del peso con el voltaje de la celda de carga	63
Tabla 4. Rangos de operación	65
Tabla 5. Constantes mediante curva de reacción Ziegler y Nichols.....	86
Tabla 6. Constantes mediante curva de reacción Ziegler y Nichols, del sistema ..	86
Tabla 7. Análisis de los cuatro controladores.....	91

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de montacargas	22
Figura 2. Mesa elevadora de tijera.....	23
Figura 3. Motor eléctrico internamente	28
Figura 4. Partes de una bomba hidráulica	31
Figura 5. Cilindro simple efecto de embolo	35
Figura 6. Tipos de celdas de carga.....	36
Figura 7. Básculas electrónicas para pesar camiones.....	37
Figura 8. Válvula solenoide normalmente cerrada.....	39
Figura 9. Motor eléctrico, bomba hidráulica y tanque de reserva utilizados.....	39
Figura 10. Pistón simple efecto utilizado.....	40
Figura 11. Celda de carga utilizada con ajuste para variaciones	41
Figura 12. Válvula solenoide.....	41
Figura 13. Tablero de mando.....	42
Figura 14. Diseño metodológico por etapas	43
Figura 15. Dimensiones de la mesa elevadora	45
Figura 16. Elemento metálico con acabado angular	47
Figura 17. Adecuación de las tijeras en la mesa elevadora	48
Figura 18. Implementación del cajón de la estructura terminada.....	49
Figura 19. Ajustes de la bomba hidráulica	51
Figura 20. Tanque de almacenamiento del aceite hidráulico	52
Figura 21. Conexión del motor y la bomba mediante poleas con la correa de repartición	52
Figura 22. Instalación de las dos válvulas de control.....	53
Figura 23. Circuito de control de fase implementado en protoboard.....	54
Figura 24. Implementación del circuito de acondicionamiento de la galga	55
Figura 25. Visualización de los gatos mecánicos y las llantas que permiten la estabilidad y movimiento de la mesa.	56
Figura 26. Circuito de potencia para la activación del motor	57
Figura 27. Dimensiones de la celda de carga utilizada	57
Figura 28. Puente de Wheatstone configurado en la celda de carga.....	58
Figura 29. Simulación del amplificador de instrumentación	59
Figura 30. Amplificador operacional, en configuración sumadora.....	59
Figura 31. Amplificador operacional en configuración no inversor.....	60
Figura 32. Implementación final del circuito de acondicionamiento para la celda de carga.....	61

Figura 33. Señales obtenidas a la entrada (señal roja) y la salida (señal azul) de la galga	61
Figura 34. Mediciones de voltajes de la celda de carga, multímetro negro (salida de la galga) y multímetro rojo (salida de la etapa de acondicionamiento)	62
Figura 35. Gráfica de comportamiento de la celda de carga.	64
Figura 36. Diagrama de bloques del funcionamiento del CI TCA 785	66
Figura 37. Ondas generadas por el CI TCA 785, en sus diferentes pines.	67
Figura 38. Conexión implementada del CI TCA 785.....	68
Figura 39. Diagrama de bloques hidráulico	68
Figura 40. Imagen de la mesa elevadora terminada.....	69
Figura 41. Diagrama de bloques eléctrico	69
Figura 42. Diagrama de bloques de los circuitos de potencia.....	70
Figura 43. Tablero de mando.....	70
Figura 45. Comportamiento del sistema a una entrada escalón.	72
Figura 46. Representación en Matlab, de la función de transferencia	73
Figura 47. Ubicación de t_0 , t_1 , y t_2 para hallar las constantes L y T.....	74
Figura 48. Verificamos el comportamiento de la función de transferencia, con tiempo muerto	75
Figura 49. Comportamiento obtenido de la simulación de la figura 48.	75
Figura 50. Respuesta escalón de la función de transferencia continua	78
Figura 51. Diagrama de bloques en Simulink	78
Figura 52. Respuesta obtenida de la simulación de la figura 51.....	78
Figura 53. Respuesta escalón de la función de transferencia discreta, usando TUSTIN y ZOH.....	79
Figura 54. Diagrama de bloques en Simulink	79
Figura 55. Respuesta obtenida de la simulación de la figura 54.....	79
Figura 56. Respuesta de la función, graficando los polos de la función.	80
Figura 57. Diagrama de bode de la función de transferencia continúa	81
Figura 58. Diagrama de Nyquist de la función continúa.....	81
Figura 59. Gráficas obtenidas en sisotool.....	82
Figura 60. Respuesta escalón de la función discreta.....	83
Figura 61. Respuesta escalón de la función discreta.....	84
Figura 62. Diagrama de bode de la función de transferencia discreta	84
Figura 63. Diagrama de Nyquist de la función de transferencia discreta	85
Figura 64. Respuestas obtenidas en sisotool.	85
Figura 65. Diagrama de Bloques del controlador P	87
Figura 66. Señal de salida, señal de error y señal de control del controlador P	87
Figura 67. Diagrama de Bloques del controlador PI	88
Figura 68. Señal de salida, señal de error y señal de control del controlador PI	88

Figura 69. Diagrama de Bloques del controlador PID.....	89
Figura 70. Señal de salida, señal de error y señal de control del controlador PID.....	89
Figura 71. Diagrama de Bloques del controlador PD.....	90
Figura 72. Señal de salida, señal de error y señal de control del controlador PD.....	90
Figura 73. Diagrama de bloques con el controlador digital.....	92
Figura 74. Señal de salida, señal de error y señal de control del controlador PI discreto.....	92
<i>Figura 75. Diagrama de bode del compensador en atraso normalizado.....</i>	<i>95</i>
<i>Figura 76. Respuesta escalón del compensador en atraso de fase.....</i>	<i>97</i>
Figura 77. Diagrama de bode del compensador en atraso de fase.....	98
Figura 78. Diagrama de bode del compensador en adelanto normalizado.....	100
Figura 79. Respuesta al escalón del compensador en adelanto de fase.....	103
Figura 80. Diagrama de bode del compensador en adelanto de fase.....	103
Figura 81. Ecuaciones de estado del sistema o planta.....	105
Figura 82. Diagrama de bloques al aplicar variables de estado.....	105
Figura 83. Respuesta obtenida en el osciloscopio, de las ecuaciones de estado.....	106
.....	106
Figura 84. Diagrama de bloques del procedimiento realizado.....	106
Figura 85. Bloque para la interacción con la tarjeta de adquisición.....	108
Figura 86. Configuración de parámetros de la tarjeta.....	109
Figura 87. Esquema de la conexión de la señal de entrada.....	110
Figura 88. Diagrama de bloques en Labview, para la adquisición y conversión del peso.....	111
Figura 89. Modificación de las propiedades del Enum.....	112
Figura 90. Interfaz gráfica de Labview o panel frontal.....	113
Figura 91. Interfaz gráfica de Labview o panel frontal en simulación.....	114
Figura 92. Indicador de báscula e indicadores numéricos.....	114
Figura 93. Circuito implementado para la obtención de datos.....	115
Figura 94. Comportamiento típico del sensor de corriente CS60.....	116
Figura 95. Amplificador de instrumentación para el sensor de corriente.....	117
Figura 96. Circuito de offset del sensor.....	118
Figura 97. Circuito implementado para el sensor de corriente.....	118

GLOSARIO

Acondicionamiento de señal: La señal de salida de un sistema de medición en general se debe procesar de una forma adecuada para la siguiente etapa de operación. La señal puede ser por ejemplo, demasiado pequeña y sería necesario amplificarla; podría contener interferencias que eliminar; ser no lineal y requerir linealización; etc.

Amperímetro: Dispositivo medidor de la intensidad de corriente eléctrica que recorre un circuito; se utiliza colocándolo en serie, al contrario de los que sucede con un voltímetro que se coloca en paralelo. Los amperímetros digitales tienen una resistencia interna despreciable, lo cual permite medir corrientes muy pequeñas sin modificar las características del circuito.

Automatización: Es una disciplina de la ingeniería que abarca la instrumentación industrial que incluye los sensores, los transmisores de campo, los sistemas de control y supervisión. Puede funcionar de forma independiente o semi-independiente del control humano.

Electrónica: Es la rama de la física que estudia y emplea sistemas cuyo funcionamiento se basa en la conducción y el control del flujo de los electrones u otras partículas cargadas eléctricamente, desde las válvulas termoiónicas hasta los semiconductores.

Filtro de aceite: Elemento colocado en el circuito hidráulico y que sirve para recoger las impurezas que están en suspensión en el aceite y que pueden ocasionar daños en las piezas asociadas. Se fabrican con papel a base de celulosa, algodón y materiales sintéticos. Por su bajo costo y los grandes beneficios que aporta se recomienda cambiarlo cada vez que se reemplaza el aceite.

Fusible: Dispositivo de seguridad, consistente en un hilo o chapa metálica, de fácil fusión, que se coloca en algunas partes de las instalaciones eléctricas, para que cuando la intensidad de corriente sea excesiva, la interrumpa fundiéndose.

Ganancia: Factor que indica el poder amplificador de un circuito. Es la relación entre una señal de entrada y la misma señal a la salida; puede ser de potencia, de tensión y de intensidad.

Hardware: Equipo utilizado para el funcionamiento de una computadora. El hardware se refiere a los componentes físicos de un sistema informático. La

función de estos componentes suele dividirse en tres categorías principales: entrada, salida y almacenamiento.

Hoja Técnica: Es un documento que resume el funcionamiento y otras características de un componente electrónico, con el suficiente detalle para ser utilizado por un ingeniero y diseñar el componente en un sistema, presenta información adicional sobre la conectividad de los dispositivos.

Instrumentación: La instrumentación electrónica se encarga de la detección y procesamiento de la información proveniente de variables físicas y químicas, a partir de las cuales se realiza el monitoreo, medida y control de procesos, empleando para ello tecnologías y dispositivos electrónicos.

Sensor: Es un dispositivo diseñado para recibir información de una magnitud del exterior y transformarla en otra magnitud, normalmente eléctrica, que se pueda cuantificar y manipular.

Software: Programas de computadoras. Son las instrucciones responsables de que el hardware realice su tarea. Como concepto general, el software puede dividirse en varias categorías basadas en el tipo de trabajo realizado.

Transductor: Es un dispositivo que proporciona una salida utilizable en respuesta a una magnitud física, propiedad o condición específica que se desea medir.

RESUMEN

El proyecto consiste en el diseño, construcción y automatización de una mesa elevadora la cual permite alcanzar diferentes alturas por medio de un control de mando ubicado en la plataforma superior, la estructura fue diseñada para un peso nominal de 200 kg. El prototipo se divide en tres secciones en forma de X, las cuales permiten el desplazamiento de la plataforma verticalmente en ambas direcciones, los elementos hidráulicos implementados para el correcto funcionamiento del prototipo son una bomba hidráulica activada por un motor eléctrico, que genera una presión que suministra al pistón anclado a las secciones en forma de X para lograr el movimiento, finalmente el desplazamiento se controla por medio de dos electroválvulas, una para el desplazamiento hacia arriba y la otra se encuentra en una ramificación del pistón hacia el retorno a tanque.

Los circuitos de potencia implementados en el prototipo se rigen por las normas establecidas en el RETIE para instalaciones eléctricas, en donde se establece el código de colores para las mismas y la forma en la cual se debe suministrar y adecuar la potencia generada por el circuito, que para este caso es el motor eléctrico que proporciona el movimiento de la bomba hidráulica; las conexiones se realizan desde la red trifásica, luego de esto se encuentran los elementos de protección como lo son los breakers, fines de corte y fusibles.

PRÓLOGO

La automatización industrial ha cubierto todos los campos de las actividades de la sociedad, es así como la iniciativa de optimizar los servicios ha llevado a la construcción de diferentes herramientas y dispositivos para facilitar la labor del hombre a la vez de cumplir con las normas de seguridad establecidas, para garantizar el cumplimiento de las labores encomendadas, preservando la integridad de los trabajadores ; atendiendo las anteriores consideraciones se desarrolló una plataforma elevadora con accionamiento hidráulico , control electrónico y un agregado que aporta seguridad al usuario, una celda de carga que facilitara al conocer el peso exacto de las cargas colocadas sobre la plataforma ,con el propósito de efectuar el uso racional y seguro para la elevación a una altura de cinco metros sobre el nivel del piso, al operario y los elementos facilitadores y necesarios para el cumplimiento de las labores encomendadas; esta herramienta de trabajo controlada, resulta una innovación al común de elementos similares puesto que el sistema de accionamiento se encuentra a disposición del operador, permitiendo el ascenso y descenso según la demanda de las funciones a realizar, con la seguridad que le brinda los fines de curso o recorrido con que cuenta la plataforma elevadora.

Es así como se convierte en un elemento de fácil manipulación y traslación por contar con llantas para su movilización, para la nivelación y estabilidad cuenta con gatos de tornillo de fácil accionamiento, que garantizan la funcionalidad. Si a todas estas cualidades se agregan las consideraciones económicas, se llega a que una herramienta como la construida puede ser considerada como una alternativa útil y al alcance de las posibilidades de los consumidores colombianos y por qué no en futuro de industriales externos.

1. INTRODUCCIÓN

Sabiendo que la labor de un ingeniero electrónico, es solucionar problemas de la cotidianidad, se desarrolló un proyecto con aplicaciones industriales que permite un control sobre el prototipo. La planta consta de dos partes una mecánica y otra electrónica, la primera se basa en una plataforma metálica muy resistente, en la cual se instala un motor eléctrico, una bomba hidráulica y un pistón; la segunda parte consta de los circuitos electrónicos necesarios para el control de la estructura desde un tablero de mando. Además se tendrá en cuenta la realización del proceso de calibración de cada uno de los sensores a utilizar, ya que este proceso es de vital importancia en una empresa para garantizar la calidad de los productos.

Una mesa elevadora es una plataforma a la cual se le puede variar su movimiento vertical (ascender y descender), teniendo control sobre la altura a la que se desea llegar, funciona como un andamio electromecánico y permite. Este prototipo puede ser usado en ambientes industriales para trabajos en las alturas o transporte de mercancía pesada.

2. JUSTIFICACIÓN

En las tareas diarias del hombre, una de las limitaciones es la de mover objetos que se encuentran en alturas superiores a su capacidad de alcance , y el uso de una escalera no es seguro, además de la cantidad de accidentes que se presentan diariamente debido a que las personas no tienen en cuenta las normas de seguridad industrial, la capacidad de carga teniendo en cuenta el peso y el volumen de los que quiere trasladar, es por eso que se ha enfocado el proyecto a la implementación de una mesa elevadora en la cual se tiene en cuenta las normas de seguridad, las alturas máximas permitidas y la facilidad de movilidad del prototipo. Sin embargo, es importante resaltar que a la estructura mecánica, se agrega una instrumentación electrónica por medio de la cual se controla dicho prototipo con el fin que sea más eficiente y eficaz, evitando de esta forma la mayor cantidad posible de accidentes, teniendo claro sus principales aplicaciones para de esta manera tener un control de todas las variables que intervienen directa e indirectamente en el proyecto.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Formulación del problema:

¿Se puede mediante el uso de una plataforma o mesa elevadora, evitar los accidentes en alturas y transportar elementos muy pesados? ¿Pueden la gestión de la ingeniería electrónica aportar a la prevención y control de riesgos cuando se efectúan trabajos en alturas?

3.2. Planteamiento del problema:

En los últimos años se ha hecho de vital importancia el control y automatización de sistemas industriales, por este motivo, se pretende implementar algunos parámetros de la mesa elevadora, al crear un entorno amigable con el usuario. El control de las alturas, permitirá parametrizar su valor máximo y mínimo hasta los cuales se tendrá acceso; el peso, controlado mediante una celda de carga dará indicios del máximo que la plataforma implementada podrá soportar; la presión del aceite en los diferentes puntos de la planta podrá ser medida mediante un instrumento.

Se desea vincular a un prototipo mecánico de una estructura robusta con un sistema netamente automatizado, con el fin de facilitar los trabajos en las alturas, siempre teniendo en cuenta las normas de seguridad industrial propuestas en el país; es por eso que se diseñará un tablero de mando en el que se tenga claridad, sobre la funcionalidad del control de la plataforma.

3.3. Descripción de problema:

Con este proyecto se pretende tecnificar y automatizar una mesa elevadora, los parámetros a tener en cuenta son: posicionamiento y el peso soportado por la plataforma, creando un control electrónico, sin dejar de lado la bomba hidráulica y el pistón que están mutuamente conectados. Los parámetros a controlar tales como: presión hidráulica y peso sobre la plataforma serán determinados mediante el uso de un sensor de presión incorporado al circuito hidráulico y una celda de carga colocada en la plataforma superior.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Acoplar un sistema mecánico y electrónico, a una mesa elevadora automatizada; que tenga una estructura para uso industrial, con el fin de facilitar las labores diarias de los trabajadores en alturas.

4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Implementar un sistema mecánico para uso industrial en el cual se tengan en cuenta las dimensiones y la calidad de los materiales.
- Realizar un prototipo que esté en condiciones de satisfacer las necesidades de trabajadores en las diferentes áreas de aplicación.
- Construir un sistema en el cual se controle la altura y los desplazamientos de la mesa elevadora.
- Diseñar un sistema de visualización de las variables controladas, en un tablero de mando, amigable para el usuario, garantizando el buen uso de la estructura.
- Tener en cuenta las medidas de seguridad reglamentarias con el fin de garantizar que en determinado momento la vida del ser humano que esté usando el dispositivo no se vaya a encontrar en riesgo.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1. MARCO HISTÓRICO:

En la antigüedad, las mesas elevadoras eran conocidas como montacargas por tal razón, se ha investigado sobre de sus inicios:

Un montacargas es un vehículo de uso industrial pesado el cual es de gran ayuda en diversas tareas, ya sea en empresas, bodegas, almacenes, entre otras; permite levantar cargas pesadas que una persona no sería capaz de soportar, así se aumenta la eficiencia, rapidez, y productividad en el trabajo. [2]

Su uso requiere una cierta capacitación y en algunas empresas exigen licencias especiales para el manejo de estas máquinas; este tipo de vehículos, ahorra horas de trabajo, puesto que traslada un peso considerable de una sola vez en lugar dividirlo por partes. [1]

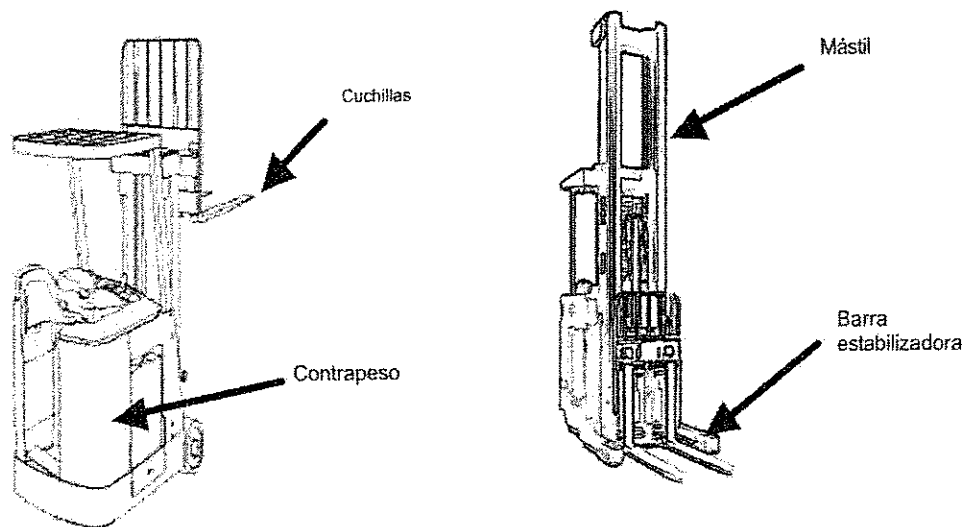


Figura 1. Tipos de montacargas

Fuente: http://www.illinoissha.com/PDF/Books/02%20Full%20Sp_Forklift.pdf

El primer prototipo de montacargas en la historia de los inventos humanos, era una plataforma unida a un cable utilizado para elevarla, ése fue creado por Waterman en 1851. Este modelo ayudó a Otis para que creara un elevador con un

sistema dentado, el cual iba poco a poco amortiguando la caída del mismo en caso de que el cable se quebrará. [1]

Los montacargas son técnicamente vehículos pesados de metal o de acero, están constituidos por una plataforma deslizante por una guía rígida lateral o vertical o bien por dos guías rígidas paralelas, ambas unidas a la estructura, y se utilizan para subir o bajar materiales pesados. [1]

5.2. MARCO TEÓRICO:

5.2.1. Mesa elevadora

Una mesa elevadora es lo que su nombre indica. En su forma más simple, es una plataforma que puede ser elevada o bajada a cualquier altura en un movimiento vertical. [3]

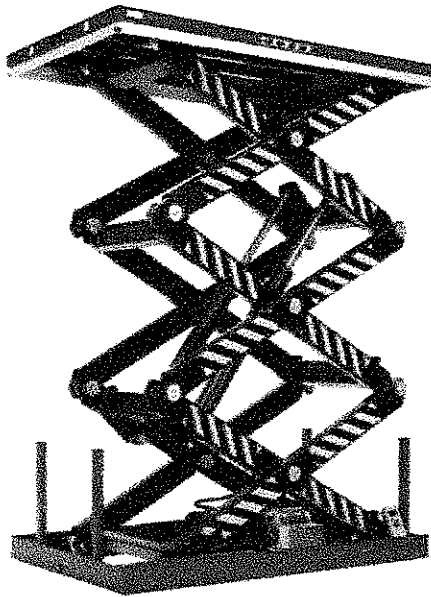


Figura 2. Mesa elevadora de tijera

Fuente: <http://www.logismarket.cl/dissert-odiseo/mesa-elevadora-de-tijera-simple/2934626791-1441915800-p.html>

5.2.1.1. Partes básicas de una mesa elevadora:

- *La base:* La base soporta el resto del montaje. Debe ser fuerte, rígida y estable. En la mayoría de los casos es diseñada para ser ubicada en el suelo, pero también puede ser instalada en un foso o suministrada con ruedas o con reforzamiento del chasis. [3]
- *Las tijeras:* Las tijeras proporcionan un movimiento vertical preciso mientras soportan la plataforma. Cada par de tijeras están conectadas mediante ejes en el punto central de unión y en los extremos superior e inferior. [3]
- *La plataforma:* La plataforma puede ser de cualquier tamaño siempre que sea compatible con la base y las tijeras. En concreto, la plataforma no puede ser menor que la longitud o anchura de las tijeras / base. La plataforma puede ser equipada con una amplia gama de accesorios como caminos de rodillos, plataformas giratorias, plataformas basculantes o plataformas equipadas para diferentes aplicaciones especiales. [3]
- *El grupo hidráulico:* El grupo hidráulico (normalmente electro-hidráulico) consiste en un motor eléctrico, una bomba hidráulica, un tanque hidráulico, cilindro hidráulico, tuberías, válvulas y un sistema eléctrico de control. Cuando se pulsa el botón subir, la bomba empuja el fluido del tanque a los cilindros provocando que el pistón se mueva. El pistón está mecánicamente unido a las tijeras causando la elevación de la plataforma. La válvula de seguridad ubicada en el circuito hidráulico entre la bomba y el cilindro evita que el fluido retroceda para que de esa forma la plataforma se mantenga a la altura en la que se encuentre cuando el botón subir se libera.

Cuando el botón bajar es presionado, la electroválvula se abre, permitiendo así que el fluido retorne al tanque. El motor no funciona cuando la plataforma está en descenso. El peso de la plataforma combinado con la gravedad genera presión en el cilindro retornando el fluido al tanque. La válvula de control de flujo puede ser ajustada para proporcionar la velocidad de descenso deseada. Cuando el botón bajar se libera, la válvula de seguridad se cierra y la mesa se mantiene a esa altura. El sistema de válvulas evita que la mesa se baje en caso de fallo de la energía. [3]

5.2.1.2. *Beneficios de las mesas elevadoras:*

En todos los sectores industriales hay una continua necesidad de elevar y posicionar piezas y materiales. Si se pide al trabajador que las levante y posicione sin la ayuda de un equipamiento mecánico, el resultado puede variar de la fatiga y baja productividad a graves accidentes de trabajo. Entre estos dos extremos como consecuencia del levantamiento repetitivo de pesos y las posturas incómodas están lesiones como los dolores lumbares y el síndrome del túnel carpiano. [3]

Las mesas elevadoras son la solución ideal para los problemas de levantamiento y posicionamiento de cargas por los siguientes motivos:

- *Plataforma estable:* A diferencia de los polipastos, pescantes o manipuladores, las mesas elevadoras proporcionan una plataforma estable para elevar y descender materiales. La probabilidad de caída de cargas es mucho menor y se evita el riesgo de accidentes causados por el balanceo de cargas suspendidas. [3]
- *Ajuste limitado de alturas:* Una mesa elevadora es diseñada para subir o bajar suavemente a la altura deseada y para mantener esa altura en caso de fallo del suministro eléctrico. [3]
- *Versatilidad:* Las mesas elevadoras pueden ser equipadas con un amplio rango de opciones como camino de rodillos, plataformas basculantes, y plataformas con accesorios específicos como topes y centradores de carga. [3]
- *Movimientos automatizados:* Los movimientos pueden ser automatizados y las mesas pueden ser integradas en sistemas especiales de manipulación. [3]
- *Portabilidad:* Las mesas elevadoras pueden ser preparadas con configuraciones portátiles usando ruedas o con configuraciones semiportátiles. [3]
- *Amplio rango vertical:* Las mesas elevadoras pueden ser instaladas en fosos para que el nivel cero de bajada de la mesa sea el nivel del suelo, montadas a nivel de suelo o equipadas con múltiples tijeras para conseguir una altura de

elevación mayor. Otra opción son las mesas de perfil bajo. Debido a la reducida altura plegada, estas mesas no necesitan la instalación en foso, ya que pueden ser instaladas directamente en el suelo. [3]

- *Bajo mantenimiento:* Las mesas elevadoras son sólidas, muy resistentes y diseñadas para proporcionar años de servicio fiable con un mínimo mantenimiento. [3]

5.2.2. Motor eléctrico:

Un motor eléctrico es una máquina eléctrica rotativa que transforma energía eléctrica en energía mecánica. En diversas circunstancias presenta muchas ventajas respecto a los motores de combustión, su economía, limpieza, comodidad y seguridad de funcionamiento. [4]

Todo empezó gracias al científico Hans Christian Oersted que comprobó cómo colocando una espira alrededor de una brújula, si hacía pasar una corriente por la espira, la aguja de la brújula (el imán) se movía. Demostró así, la relación que había entre la electricidad y el magnetismo. Con este experimento se demostró que la espira al ser atravesada por una corriente generaba un campo magnético (fuerzas magnéticas) que interactuaban con la fuerza magnética de la aguja imantada, produciendo en esta un giro. Por lo tanto, si se hace pasar corriente por unas espiras (bobinado) y en su interior tenemos un imán que puede girar sobre un eje (rotor) se ha conseguido un motor eléctrico, ya que el eje del imán se movería y se ha convertido la energía eléctrica en energía mecánica reflejada en el movimiento del eje. [4]

En magnetismo se conoce la existencia de dos polos: polo norte (N) y polo sur (S), que son las regiones donde se concentran las líneas de fuerza de un imán. Un motor para funcionar se vale de las fuerzas de atracción y repulsión que existen entre los polos. De acuerdo con esto, todo motor tiene que estar formado con polos alternados entre el estator y el rotor, ya que los polos magnéticos iguales se repelen, y polos magnéticos diferentes se atraen, produciendo así el movimiento de rotación. [4]

Este fenómeno, también sucede al contrario, se construyen realmente los motores eléctricos. Si un conductor por el que circula una corriente eléctrica se encuentra dentro de un campo magnético (el de un imán), el conductor se desplaza

perpendicularmente al campo magnético (se mueve). Si el campo magnético es horizontal el conductor sube o baja (depende del sentido de la corriente por el conductor). Si en lugar de un conductor se tiene una espira por la que circula corriente, un lado de la espira sube y el otro baja, ya que por un lado la corriente entra y por el otro lado de la espira la corriente sale, produciéndose un giro de la espira. [4]

5.2.2.1. Componentes de los motores eléctricos:

- La carcasa o caja que envuelve las partes eléctricas del motor, es la parte externa. [5]
- El inductor, llamado estator cuando se trata de motores de corriente alterna, consta de un apilado de chapas magnéticas y sobre ellas está enrollado el bobinado estático, que es una parte fija y unida a la carcasa. [5]
- El inducido, llamado rotor cuando se trata de motores de corriente alterna, consta de un apilado de chapas magnéticas y sobre ellas está enrollado el bobinado rotórico, que constituye la parte móvil del motor y resulta ser la salida o eje del motor. [5]

5.2.2.2. Los motores eléctricos se pueden clasificar de varias formas:

Por su velocidad de giro

- a. Asíncronos. Un motor se considera asíncrono cuando la velocidad del campo magnético generado por el estator supera a la velocidad de giro del rotor. [5]
- b. Síncronos. Un motor se considera síncrono cuando la velocidad del campo magnético del estator es igual a la velocidad de giro del rotor. Cabe recordar que el rotor es la parte móvil del motor. [5] Dentro de los motores síncronos, se tiene una sub clasificación:
 - Motores síncronos trifásicos.
 - Motores asíncronos sincronizados.
 - Motores con un rotor de imán permanente.

Por el tipo de rotor

- Motores de anillos rozantes.
- Motores con colector.
- Motores de jaula de ardilla.

Por su número de fases de alimentación.

- Motores monofásicos.
- Motores bifásicos.
- Motores trifásicos.
- Motores con arranque auxiliar bobinado.
- Motores con arranque auxiliar bobinado y con condensador. [5]

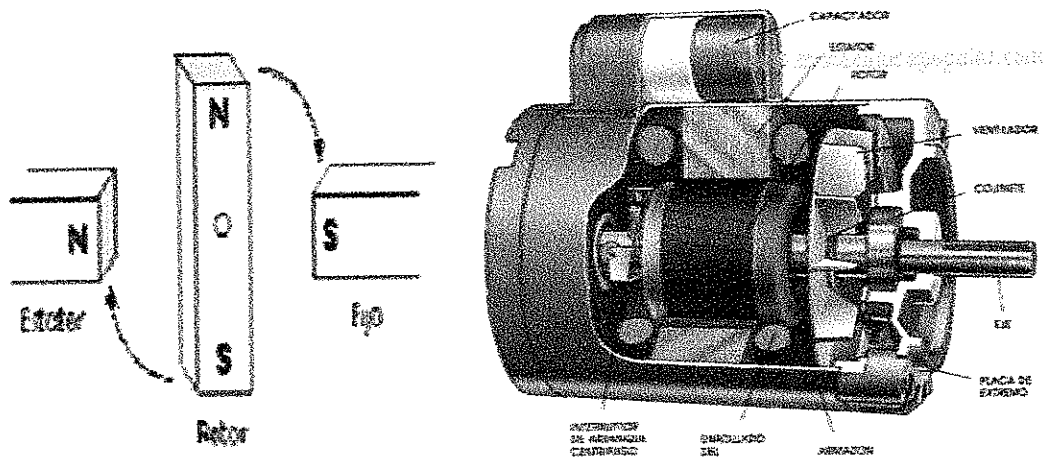


Figura 3. Motor eléctrico internamente

Fuente: <http://raagarcialuevanofernando.blogspot.com/2010/11/tipos-de-motores-electricos.html>

5.2.3. Bomba hidráulica:

La ciencia de la hidráulica se ha considerado desde los primeros días de la civilización humana. A pesar de su antigüedad, la hidráulica se constituye en una de las ramas de la ingeniería civil con mayor influencia en el desarrollo de las sociedades, porque a diario su utilización es vital para vencer distintos obstáculos

o para desarrollar diferentes actividades, sin importar que todavía presente algún grado de incertidumbre. [6]

Una bomba hidráulica es una máquina generadora que transforma la energía (generalmente energía mecánica) con la que es accionada en energía hidráulica del fluido incompresible que mueve. [6]

Cuando se pretende desarrollar una clasificación de los diferentes tipos de bombas hidráulicas se debe tener claridad en algunos términos para así poder evaluar los méritos de un tipo de bomba sobre otro. Dichos términos son: [6]

- *Amplitud de presión:* Se constituye en los límites máximos de presión con los cuales una bomba puede funcionar adecuadamente. Las unidades comunes son (psi). [6]
- *Volumen:* La cantidad de fluido que una bomba es capaz de entregar a la presión de operación. Las unidades son gal/min. [6]
- *Amplitud de la velocidad:* Se constituye en los límites máximo y mínimo en los cuales las condiciones a la entrada y soporte de la carga permitirán a la bomba funcionar satisfactoriamente. Las unidades son r.p.m. [6]
- *Eficiencia mecánica:* Se puede determinar mediante la relación entre la potencia teórica a la entrada, necesaria para un volumen específico con una presión específica y la potencia real a la entrada necesaria para el volumen específico a la presión específica. [6]
- *Eficiencia volumétrica:* Se puede determinar mediante la relación entre el volumen teórico de salida a 0 (psi) y el volumen real a cualquier presión asignada. [6]
- *Eficiencia total:* Se puede determinar mediante el producto entre la eficiencia mecánica y la eficiencia volumétrica. [6]

A continuación se presenta una tabla donde se muestran los criterios de clasificación de las bombas hidráulicas. [6]

BOMBAS	Amplitud Presión	Volumen	Amplitud Velocidad	Eficiencia Volum.	Eficiencia Total
Bomba de engrane Baja Presión	0 Lb/plg ²	5 Gal/min	500 rpm	80 %	75 - 80 %
Bomba engrane 1500 Lb/plg ²	1500 Lb/plg ²	10 Gal/min	1200 rpm	80 %	75 - 80 %
Bomba engrane 2000 Lb/plg ²	2000 Lb/plg ²	15 Gal/ min	1800 rpm	90 %	80 - 85%
Bomba Paleta equilib. 1000 Lb/plg ²	1000 Lb/plg ²	1.1 - 55 Gal/min	1000 rpm	> 90 %	80 - 85 %
Bomba Pistón Placa empuje angular	3000 Lb/plg ²	2 - 120 Gal/min	1200-1800 rpm	90 %	> 85 %
	5000 Lb/plg ²	7.5 - 41 Gal/min		90 %	> 80 %
Diseño Dynex	6000 - 8000 Lb/plg ²	2.9 - 4.2 Gal/min	1200 - 2200 rpm	90 %	> 85 %

Tabla 1. Criterios de clasificación de las bombas

Fuente: <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/es/maquinashidraulicas/clasificacionbombashidraulicas/clasificaciondelasbombashidraulicas.html>

Algunas de las actividades en las cuales se utiliza la hidráulica son por ejemplo la irrigación de cultivos y el suministro de agua para las comunidades en donde se hace indispensable el uso de algunos dispositivos, en los que se encuentra la bomba hidráulica. [7]

5.2.3.1. Principio de funcionamiento de las bombas hidráulicas:

El funcionamiento de una bomba hidráulica está basado sobre el principio de Pascal el cual determina que el incremento de la presión aplicada a una superficie de un fluido incompresible (líquido), contenido en un recipiente indeformable, se transmite con el mismo valor a cada una de las partes del mismo. [6]

Se puede poner como ejemplo un recipiente de aluminio, hierro, plástico, etc., al que se le realizan unos agujeros y luego se llena con algún líquido, que más tarde es presionado por un émbolo, lo que traerá como consecuencia el escape del líquido por los diferentes agujeros a la misma presión. [6]

5.2.3.2. Tipos de bombas hidráulicas según su principio de funcionamiento.

Según la forma de funcionamiento, las bombas se clasifican en:

- *Bombas de desplazamiento positivo o volumétrico*, en las que el principio de funcionamiento está basado en la hidrostática, de modo que el aumento de presión se realiza por el empuje de las paredes de las cámaras que varían su volumen. En este tipo de bombas, cada ciclo del órgano propulsor genera de manera positiva un volumen dado o cilindrada, por lo que también se denominan bombas volumétricas. En caso de poder variar el volumen máximo de la cilindrada se habla de bombas de volumen variable. Si ese volumen no se puede variar, entonces se dice que la bomba es de volumen fijo. [8]
- *Bombas neumáticas*, que son bombas de desplazamiento positivo en las que la energía de entrada es neumática, normalmente a partir de aire comprimido. [8]
- *Bombas de accionamiento hidráulico*, como la bomba de aceite. [8]
- *Bombas manuales*, un tipo de bomba manual es la bomba de balancín. [8]

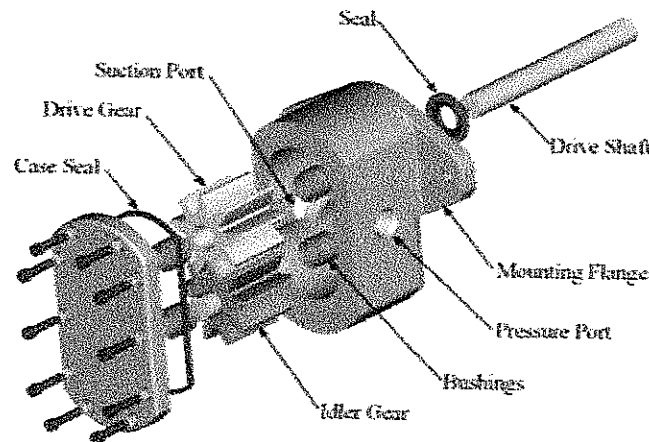


Figura 4. Partes de una bomba hidráulica

Fuente: http://www.esacademic.com/pictures/eswiki/71/Gear_pump_exploded.png

5.2.4. Pistón:

Los pistones hidráulicos son actuadores de tipo mecánico empleados en la fabricación de cilindros que son usados para proporcionar fuerza a través de un movimiento recto y lineal. Los pistones debe de estar en acople perfecto con las paredes del cilindro para que no se produzcan pérdidas de carga y obtener la mayor transmisión de potencia. [9]

Las partes que forman los pistones hidráulicos son: el cilindro de barril y el pistón móvil conectado a un vástago. El cilindro posee forma de barril y está cerrado por los dos extremos, en uno de ellos está el fondo y en el otro está situada la cabeza por donde se introduce el vástago. [9]

El pistón se encarga de dividir el interior del cilindro en dos cámaras o secciones: la cámara inferior y la cámara del vástago. En función del tipo de cilindro y pistón, de los materiales empleados y del fluido hidráulico se puede realizar el cálculo de la fuerza que es capaz de transmitir el pistón en unas condiciones dadas. La fuerza realizada por el pistón es constante desde el inicio hasta la finalización del movimiento de carrera lineal. El tipo de fuerza que puede realizar es o bien de tracción o bien de compresión. [9]

5.2.4.1. *Funcionamiento de un pistón:*

Los cilindros hidráulicos obtienen la energía de un fluido hidráulico presurizado, que es típicamente algún tipo de aceite. El cilindro hidráulico consiste básicamente en dos piezas: un cilindro barril y un pistón o émbolo móvil conectado a un vástago. El cilindro barril está cerrado por los dos extremos, en uno está el fondo y en el otro, la cabeza por donde se introduce el pistón, que tiene una perforación por donde sale el vástago. El pistón divide el interior del cilindro en dos cámaras: la cámara inferior y la cámara del vástago. La presión hidráulica actúa en el pistón para producir el movimiento lineal. [10]

La fuerza máxima es función de la superficie activa del émbolo y de la presión máxima admisible, donde:

$$F = P * A \quad [10]$$

Donde:

F = Fuerza
P = Presión
A = Área transversal

Esta fuerza es constante desde el inicio hasta la finalización de la carrera. La velocidad depende del caudal de fluido y de la superficie del pistón. Según la versión, el cilindro puede realizar fuerzas de tracción y/o compresión. [10]

5.2.4.2. *De forma general los cilindros pueden ser clasificados en dos grupos:*

5.2.4.2.1. *Simple efecto:* Son cilindros que entregan su fuerza a tensión o a compresión según sea su aplicación y se retro posicionan por fuerzas externas como un resorte o por el propio peso del pistón. [10]

Tipos de cilindros simple efecto:

- Cilindros de pistón sin vástago, sin pistón guía y con pistón guía. Ejemplos: Prensas, elevadores.
- Cilindros con retroceso por resorte interno o externo. De trabajo a compresión y a tensión. Ejemplos: Herramientas de montaje, elementos de sujeción.
- Cilindro de vástago con pistón. Ejemplos: Elevadores (montacargas).

5.2.4.2.1.2. *Doble efecto:* Son cilindros que entregan su fuerza a tensión y a compresión en ambos sentidos de su carrera. [10]

Tipos de cilindros doble efecto:

- *Cilindros diferenciales:* Estos cilindros son los más comunes y se llaman diferenciales por la diferencia de áreas entre las dos cámaras (área del pistón y área anular (diferencia entre el área del vástago y área del pistón). Ejemplos: Prensas, máquinas de inyección de plástico y de metales, sopladoras y

aplicaciones generales de tipo industrial y de equipo móvil (Excavadoras, Buldócer, Cargadores, Etc.) [10]

- *Cilindros de doble vástago con diámetros de vástago de igual diámetro.* Ejemplo: Direcciones hidráulicas de algunos equipos (camiones o automóviles) y aplicaciones diversas de tipo industrial. [10]
- *Cilindros de doble vástago con diámetros de vástagos diferentes (cilindros de doble vástago diferenciales).* Ejemplos: Aplicaciones diversas de tipo industrial. [10]
- *Cilindros telescópicos de simple efecto.* Ejemplos: Elevación de volcós de camiones, elevadores y en general aplicaciones donde se requiera elevar cargas a grandes alturas pero cuando este retraído ocupe un espacio muy reducido y que además este descienda por peso. [10]
- *Cilindros telescópicos de doble efecto.* Ejemplos: Elevación de torres perforadoras de petróleo, compactación de desperdicios en carros de recolección de basuras y en general aplicaciones donde se requiera desplazamientos de longitudes grandes pero cuando este retraído ocupe un espacio muy reducido. [10]
- *Cilindros Tándem;* son dos cilindros en uno trabajando en serie. Ejemplos: Maquinas inyectoras de plástico, sopladoras, etc. [10]
- *Cilindros de marcha rápida de simple y doble efecto;* son dos cilindros en uno que pueden generar velocidades de desplazamiento muy rápidas por volúmenes pequeños y grandes fuerzas de compresión por grandes áreas efectivas del pistón. Ejemplos: Máquinas de inyección de plástico y de metales de grandes potencias. [10]

Los tipos de cilindros especiales pueden ser muy diversos dependiendo de la aplicación.

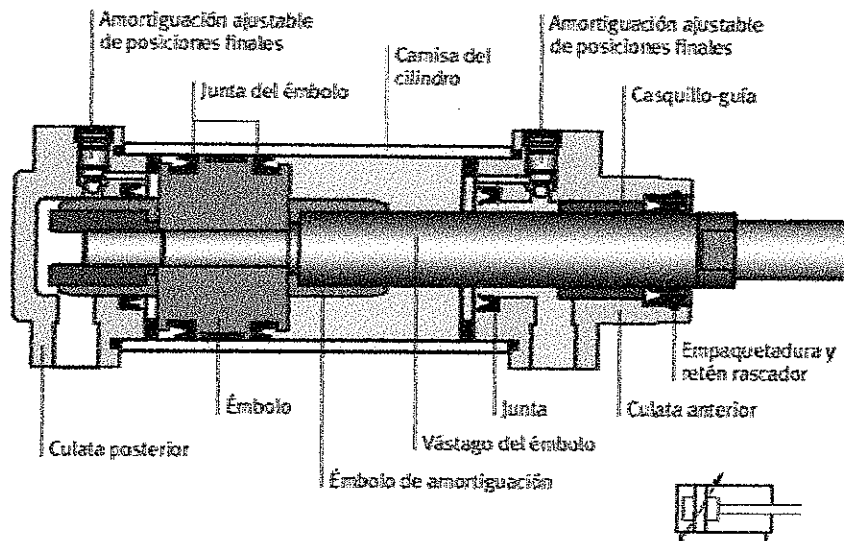


Figura 5. Cilindro simple efecto de émbolo

Fuente: http://industrial-automatiza.blogspot.com/2010_09_01_archive.html

5.2.5. Celda de carga:

Una celda de carga es un transductor que es utilizado para convertir una fuerza en una señal eléctrica. Esta conversión es indirecta y se realiza en dos etapas. Mediante un dispositivo mecánico, la fuerza que se desea medir deforma una galga extensiométrica. La galga extensiométrica convierte el desplazamiento o deformación en señales eléctricas. Una celda de carga por lo general se compone de cuatro galgas extensiométricas conectadas en una configuración tipo puente de Wheatstone. Sin embargo es posible adquirir celdas de carga con solo uno o dos galgas extensiométricas. La señal eléctrica de salida es típicamente del orden de unos pocos mili voltios y debe ser amplificada mediante un amplificador de instrumentación antes de que pueda ser utilizada. La salida del transductor se conecta en un algoritmo para calcular la fuerza aplicada al transductor. [11]

Los sensores pueden ser de varios tipos: de resistencia eléctrica, piezoeléctricos y capacitancia. Los comunes son los piezoeléctricos por ser más sensibles para detectar fuerzas pequeñas o diferencias mínimas. [11]

Este sensor fue inventado por los ingenieros Edward E. Simmons y Arthur C. Ruge en 1938. En su forma más simple consiste de una lámina metálica fijada a una base flexible pegada al objeto que se quiere medir. Según se deforma el objeto,

también lo hace la lámina, provocando así una variación en su resistencia eléctrica. [11]

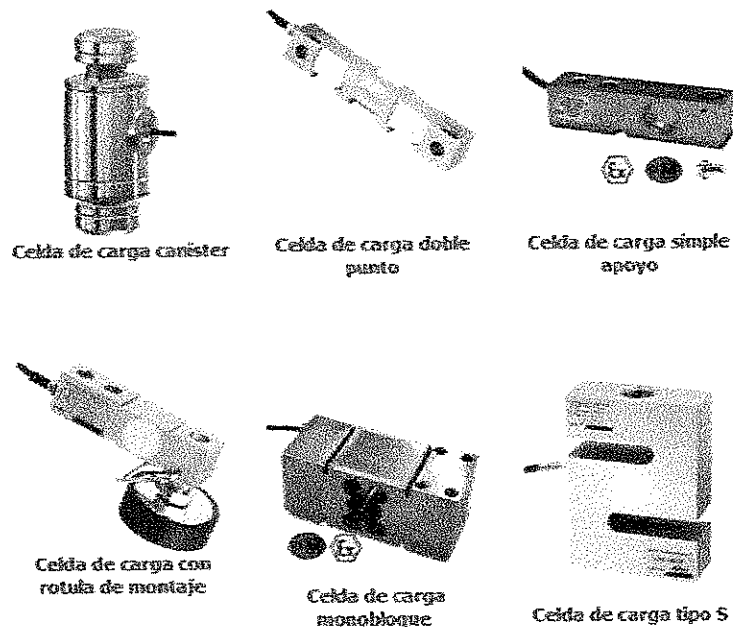


Figura 6. Tipos de celdas de carga

Fuente: <http://www.gerardocanaverall.com/productos/celdas-de-ca>

Las celdas de carga presentan diferentes configuraciones geométricas, trabajan en rangos desde pocos gramos hasta cientos de toneladas. La precisión de cada celda varía desde las comerciales hasta las científicas. Normalmente se fabrican con acero o aluminio. Existe una innovación en celdas ópticas cuya función es calcular la variación de flujo lumínico en la fibra óptica mediante la cuantificación de la deformación. [12]

Las celdas también se usan en básculas electrónicas para pesar camiones en las carreteras. Aquellos sitios donde los camiones deben pasar para verificar que no están excediendo el límite de carga de las carreteras nacionales. En una grúa se utiliza una celda de carga para verificar el peso que está levantando la misma y no exceder su límite para evitar un accidente. [13]

En la industria de la construcción se utiliza la celda para medir deformaciones en las vigas que sostienen los edificios o en los pisos de los mismos. Las celdas también se colocan en puentes para medir la deformación en su estructura. Esto

es importante para conocer el estado de seguridad de un puente y darle mantenimiento adecuado. [13]

En los laboratorios de pruebas de materiales de construcción se usan las celdas extensamente. Allí se realizan pruebas de deformación y esfuerzo de distintos materiales que se usan en la construcción de todo tipo de estructuras y edificios. [13]



Figura 7. Básculas electrónicas para pesar camiones

Fuente: <http://justo.mayora.over-blog.es/article-que-celdas-carga-que-tienen-85910080.html>

5.2.6. Válvulas Solenoides:

Una válvula solenoide consiste en un dispositivo operado eléctricamente utilizado para el control de flujo de líquidos o gases en posición completamente abierta o completamente cerrada. [14]

Su función básica es la misma que una válvula de paso operada manualmente pero, siendo accionada eléctricamente. Puede instalarse en lugares remotos y puede ser controlada convenientemente por medio de interruptores eléctricos simples. [14]

El uso de la válvula solenoide tiene por objeto controlar el flujo de diferentes fluidos, dándole la debida consideración a las presiones y temperaturas

involucradas, la viscosidad del fluido y la adaptabilidad de los materiales empleados en la construcción de la válvula. [14]

Su operación es factible por medio de interruptores termostáticos, de flotador, de baja presión, de alta presión, por reloj, o cualquier otro dispositivo que abra o cierre un circuito eléctrico. Se trata de una válvula que se cierra por gravedad, por presión o por la acción de un resorte; y es abierta por el movimiento de un émbolo operado por la acción magnética de una bobina energizada eléctricamente. Una válvula solenoide está compuesta por dos partes accionantes: un solenoide o bobina eléctrica y el cuerpo de la válvula. [14]

Existe una amplia variedad de válvulas solenoide, las cuales se pueden dividir de acuerdo a su aplicación, su construcción y su forma. Atendiendo a su aplicación, es decir, a la capacidad del sistema donde va a ser instalada la válvula, se clasifican de manera general, en dos tipos: [14]

- 1) De acción directa
- 2) Operadas por piloto

En cuanto a su construcción, la válvula solenoide puede ser:

- 1) Normalmente cerrada
- 2) Normalmente abierta
- 3) De acción múltiple.

Por su forma, hay tres tipos de válvula solenoide de uso común:

- 1) De dos vías
- 2) De tres vías
- 3) De cuatro vías o reversibles.

Igualmente pueden existir válvulas solenoide con combinaciones de los tipos anteriormente mencionados. Así por ejemplo, hay válvulas operadas por piloto normalmente abiertas y también normalmente cerradas. [14]

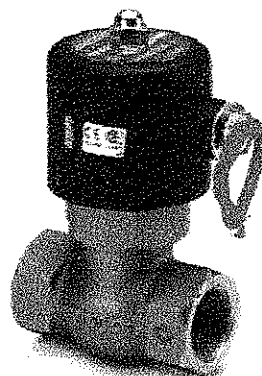


Figura 8. Válvula solenoide normalmente cerrada.
Fuente: <http://www.valveco.com.co/p/valvula-solenoide-uni-d--->

5.3. MARCO CONCEPTUAL:

5.3.1. Motor eléctrico:

El motor eléctrico se utiliza con el fin de activar la bomba hidráulica por medio de la energía mecánica generada a partir de la energía eléctrica que absorbe en sus bornes, y la activación de la bomba hidráulica se logra por medio de dos poleas una en el eje de cada una de ellas y una correa de distribución, es importante tener en cuenta la relación de transformación debido al diámetro de las poleas ya que de no tener una buena relación de transformación se podría llegar incluso a dañar tanto la bomba como el motor.

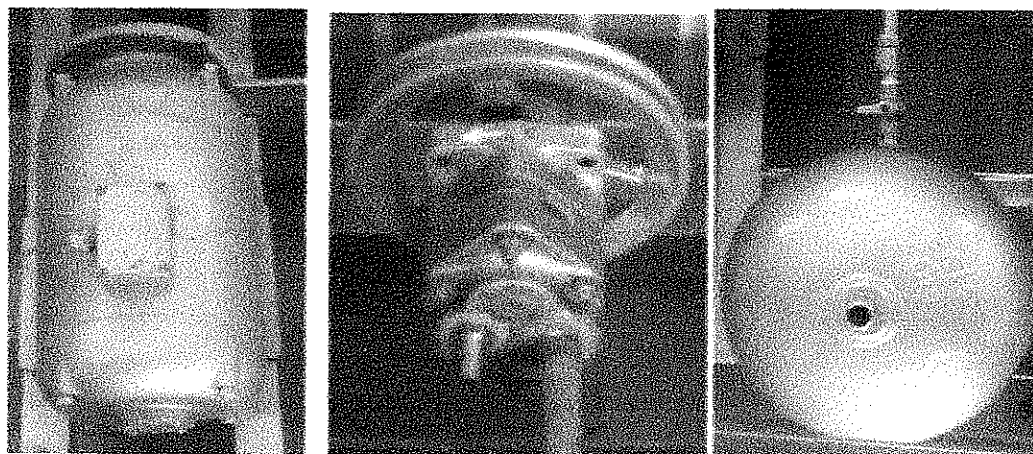


Figura 9. Motor eléctrico, bomba hidráulica y tanque de reserva utilizados
Fuente: Autores

5.3.2. Bomba hidráulica:

Usada para que por medio de la energía mecánica suministrada por el motor a través de las poleas que están interconectadas mediante la correa de distribución genere la presión necesaria que es requerida para lograr el desplazamiento del pistón, lo cual se obtiene al momento de convertir la energía mecánica suministrada por el motor en energía de fluido o de caudal-presión que se envía directamente al pistón para obtener el desplazamiento requerido por la mesa.

5.3.3. Pistón:

Encargado de la conversión de la energía de fluido en un desplazamiento mecánico que se realiza por medio del émbolo y cumple el papel más importante de la mesa elevadora, es decir, el movimiento mecánico, ya que por medio del vástago que se encuentra dentro del cilindro hidráulico se pueden lograr diferentes alturas, las cuales van a ser controladas por el operario mediante el tablero de mando del prototipo.



Figura 10. Pistón simple efecto utilizado
Fuente: Autores

5.3.4. Celda de carga:

Utilizada para el monitoreo del peso soportado por la plataforma, esto con el fin de no exceder los límites de diseño del mismo, ya que de ser así se podrían

ocasionar perturbaciones y daños en la estructura, que podrían llegar a ser irreparables o muy costosos.

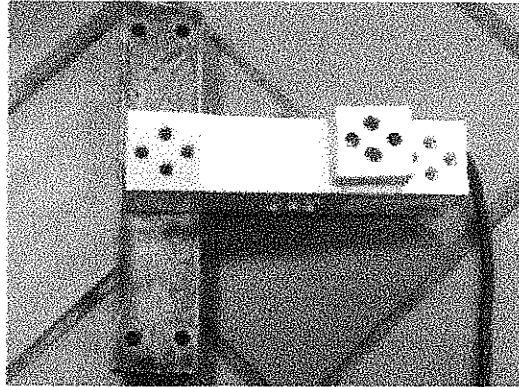


Figura 11. Celda de carga utilizada con ajuste para variaciones
Fuente: Autores

5.3.5. Válvulas Solenoides:

Se emplearon dos válvulas on/off, con el fin de controlar el flujo hidráulico que circula por las mangueras conectadas al pistón que suben o bajan la mesa. Estas funcionan con la ayuda de unos pulsadores que se encuentran ubicados en el tablero de mando, permitiéndole al operario manipular el prototipo hasta la altura que se necesite.



Figura 12. Válvula solenoide
Fuente: Autores

5.3.6. Tablero de mando

Se diseñó un tablero de mando en el cual se tienen: pulsadores de activación y desactivación del circuito de control, encendido - apagado del motor y los pulsadores para cada una de las electroválvulas. Además, la visualización del peso que estará soportando la mesa.

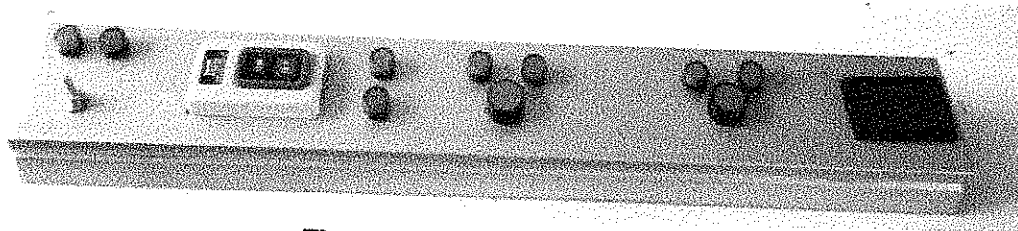


Figura 13. Tablero de mando
Fuente: Autores

6. DISEÑO METODOLÓGICO

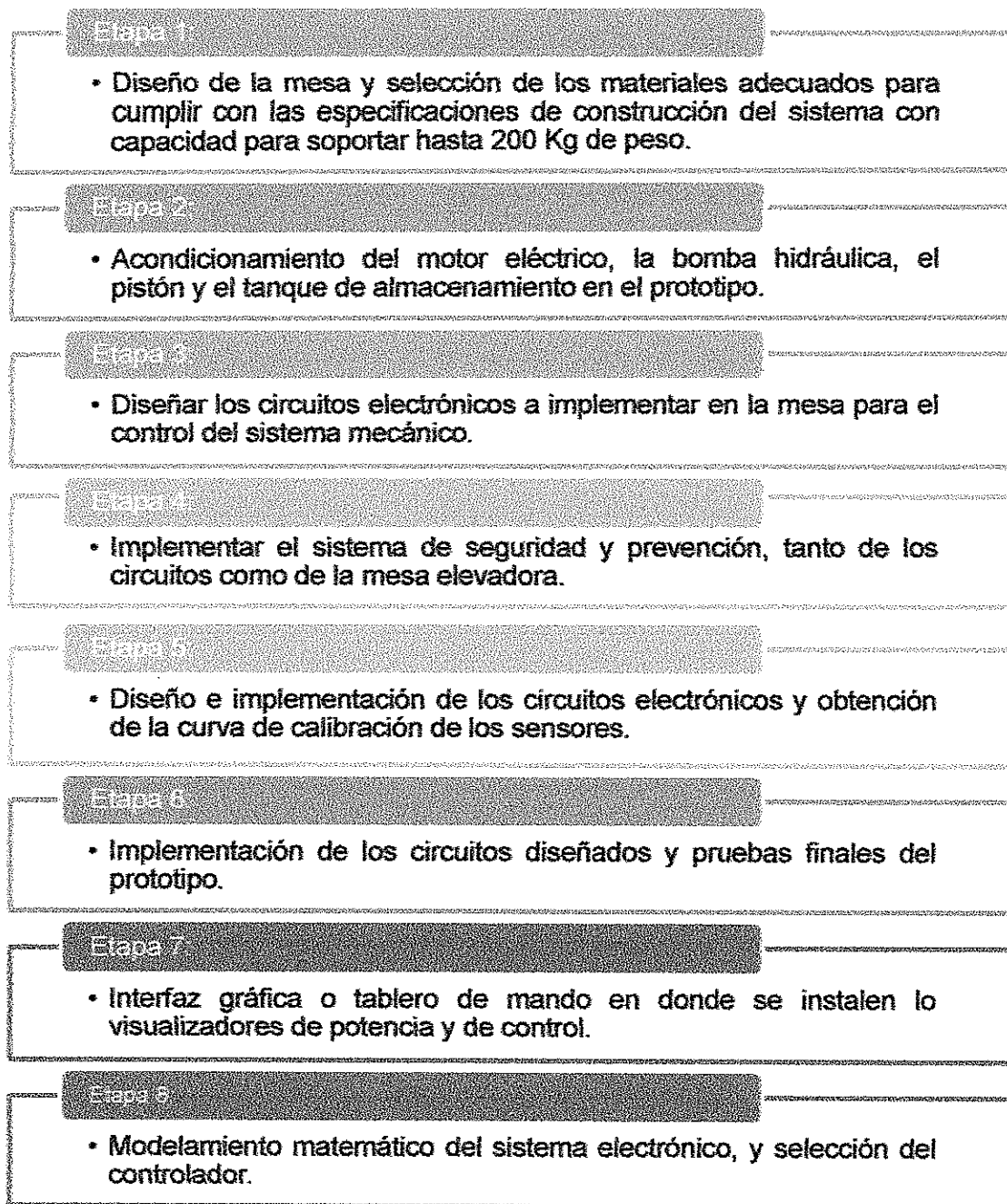


Figura 14. Diseño metodológico por etapas
Fuente: Autores

7. RESULTADOS

- 7.1. Etapa 1: Diseño de la mesa y selección de los materiales adecuados para cumplir con las especificaciones de construcción del sistema con capacidad para soportar hasta 200 Kg de peso.

Para el diseño, construcción y automatización de la mesa elevadora se tienen en cuenta los diferentes parámetros desde el inicio de la construcción como lo son el diseño, los materiales utilizados, sus dimensiones y elementos de automatización. Esto con el fin de evitar inconvenientes a lo largo del desarrollo del proyecto, luego se determinan las funciones básicas de la misma como cantidad de peso soportado, altura tanto máxima como mínima, presión necesaria para el desplazamiento, tipo de alimentación y sistema de control de velocidad de la misma. Posteriormente se da inicio a la implementación del proyecto en donde se elabora la parte mecánica del mismo en un taller externo y cuyas características son:

Dimensiones:

Se realiza el estudio en donde se tienen en cuenta factores como lo son estabilidad, entorno de uso y peso soportado; teniendo en cuenta todos estos parámetros y luego de realizar diferentes clases de pruebas se llega a la conclusión que las dimensiones más adecuadas en donde el prototipo se desempeña son: de 1 metro de ancho por 1,55 metros de larga.

Se establece un peso de 200 kg, estimando que en la plataforma se encuentren dos personas trabajando y sumándole el peso de la herramienta que necesiten; y este se debe directamente a su aplicación ya que será de uso industrial.

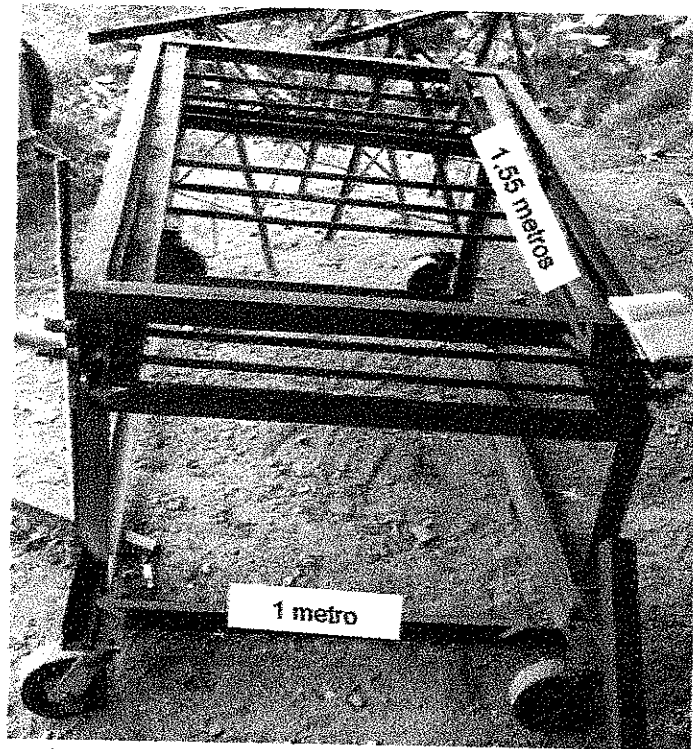


Figura 15. Dimensiones de la mesa elevadora
Fuente: Autores

Materiales para la construcción:

Debido a que la mesa se va a usar en entornos industriales y que el diseño es para que la estructura soporte un peso nominal de 200 kilogramos, se llega a la conclusión que el material adecuado es hierro y la selección de este metal se realiza por el calibre del mismo para este caso es ángulo.

Se escoge este tipo de material teniendo en cuenta que en la industrial se puede encontrar ambientes muy agresivos, como lo son temperaturas muy elevadas y condiciones de trabajo extremas del prototipo, características que solo se satisface con este material.

Para tener mayor criterio de selección se indagaron algunas diferencias entre acero y aluminio:

Resistencia: La menor resistencia del aluminio hace que la aplicación de esfuerzos sobre él sea más delicada que sobre el acero. Por ello, si la aplicación de

esfuerzos no es perfectamente controlada, se pueden provocar mayores deformaciones que las que se pretenden corregir. [38]

Elasticidad: La del aluminio es menor que la del acero, por lo tanto tiene menor tendencia a recuperar su forma original cuando desaparece la fuerza que ha causado su deformación, expresando un comportamiento relativamente quebradizo del material. Ante esta circunstancia, un trabajo en frío del aluminio puede provocar la aparición de grietas con mayor facilidad que en el caso del acero. Un aluminio templado antes de proceder a su conformación disminuye los riesgos de fisuras y lo hace más maleable. [38]

Dureza: El aluminio es mucho más blando que el acero; por esta razón, el golpeo directo del martillo sobre las herramientas produce su estiramiento más fácilmente que en el caso del acero. Pueden producirse, además, estiramientos puntuales si el alivio de tensiones se realiza con elementos punzantes. Como la dureza mide la resistencia de un material a dejarse rayar o marcar por otro, habrá que tener cuidado al trabajar el aluminio con herramientas convencionales para el trabajo del acero, pues pueden producirse con más facilidad daños y marcas superficiales. [38]

Conductividad térmica: El aluminio presenta una buena conductividad térmica, 4 veces superior a la del acero. Esta circunstancia supone un inconveniente en los procesos de soldadura por fusión, requiriéndose un aporte de mayores cantidades de energía que la soldadura del acero para un mismo espesor. Para contrarrestar las pérdidas de calor que tendrán lugar en la fusión por conducción, se puede aplicar un proceso de templado previo de toda la pieza, que disminuye el gradiente de temperatura existente en la misma. [38]

Resistencia eléctrica: La resistencia que opone el aluminio al paso de la corriente es unas 5 veces inferior a la que opone el acero. Esta circunstancia condiciona el proceso de soldadura por puntos de resistencia, pues el calor necesario para llevar las chapas a unir a estado pastoso depende directamente de la resistencia al paso de la corriente que éstas opongan. Los equipos de soldadura empleados normalmente en reparación están muy limitados para este tipo de soldadura en el aluminio, puede no permiten alcanzar intensidades tan altas como las que serían necesarias para contrarrestar su baja resistencia. [38]

Coefficiente de dilatación lineal: El del aluminio es el doble que el del acero. Esta circunstancia supone que un calentamiento excesivo e incontrolado puede dar lugar a deformaciones con más facilidad que en el acero. [38]

Las dimensiones seleccionadas son: ángulo de $\frac{1}{2}$ " por 3/16; tubo de aguas negras de $\frac{1}{2}$ "; platina $\frac{1}{2}$ " pulgada por 3/16; y varilla de 5/8.

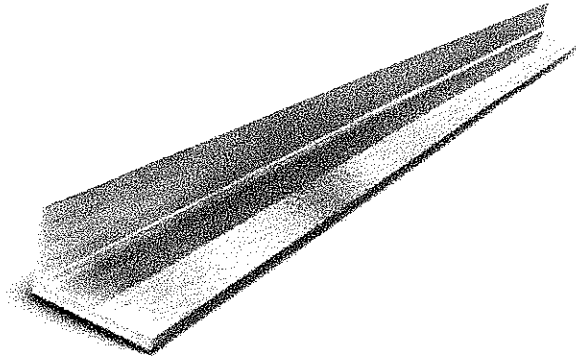


Figura 16. Elemento metálico con acabado angular
Fuente: <http://www.all.biz/es/ngulo-metalico-perforado-con-malla-bgg1083438>

Diseño:

El diseño para este prototipo se basa en la elaboración de la mesa por partes, en donde tiene secciones en forma de X las cuales permiten tener el desplazamiento que se desea, de tal forma que satisfacen los parámetros de diseño en donde la altura máxima es de 5 metros.

Se realiza el análisis de la cantidad de recorrido que brinda cada una de las secciones en forma de X en donde el resultado fue de aproximadamente 1,40 metros de desplazamiento; dadas estas condiciones y características se toma la decisión de construir el prototipo con 3 secciones en forma de X a cada uno de los lados.

Estas secciones van soportadas en un soporte cúbico el cual se construye con el mismo material y en donde las dimensiones son de 1 metro de ancho, 1.55 metros de largo y 70 cm de alto lo que permite tener un espacio adecuado para la ubicación de cada uno de los elementos que intervienen en el funcionamiento del prototipo como lo son: la bomba hidráulica, el pistón, el motor eléctrico, entre otros.

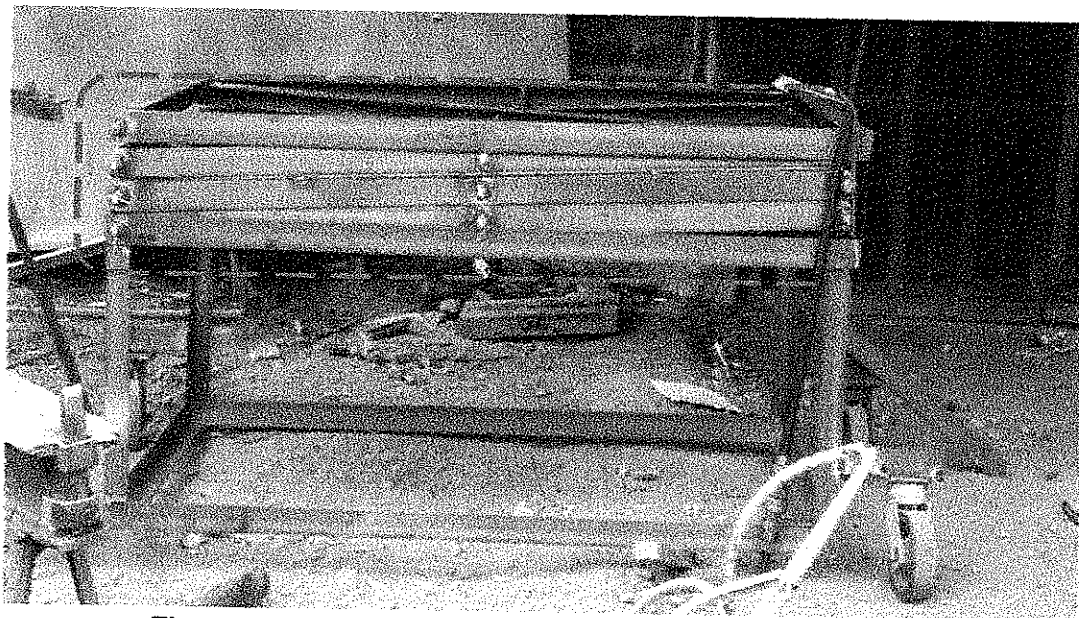


Figura 17. Adecuación de las tijeras en la mesa elevadora
Fuente: Autores

Para la plataforma superior se realiza una canastilla teniendo en cuenta las normas de seguridad industrial, que indican que a partir de 1,50 metros se tiene una altura en donde se pone en riesgo la vida del operario, por lo tanto las dimensiones son: 1,55 metros de largo, por 1 metro de ancho y con una altura de 80 cm, ya que esta es la distancia promedio que tienen las personas de la cintura a la planta de los pies.

En la parte inferior de la canastilla se sitúa una plataforma de madera donde se va a soportar tanto el operario como la herramienta que este necesite para desarrollar su labor; finalmente en cada uno de los extremos del prototipo se implementan cuatro ruedas giratorias las cuales permiten desplazar el prototipo de un lado a otro, con un grado mínimo de esfuerzo, resaltando que no tiene frenos.

Sujeto a esto se implementan cuatro gatos mecánicos los cuales permiten levantar la plataforma del piso y dejarla a nivel, esto con el fin de evitar que cuando se encuentre en su altura máxima el dispositivo en si no se vaya a mover, causando una pérdida de estabilidad tanto del prototipo como del operario, colocando en un alto riesgo la vida del mismo.

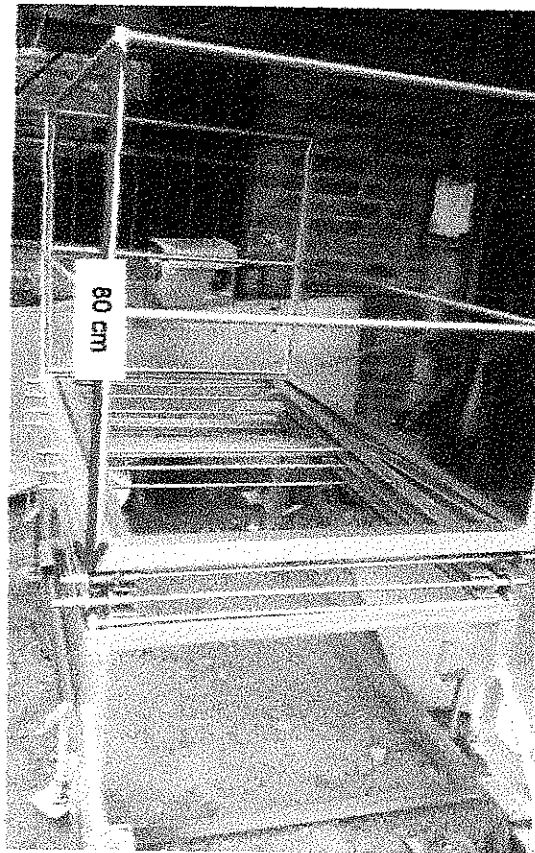


Figura 18. Implementación del cajón de la estructura terminada
Fuente: Autores

7.2. Etapa 2: Acondicionamiento del motor eléctrico, la bomba hidráulica, el pistón y el tanque de almacenamiento en el prototipo.

a) Componentes eléctricos y electrónicos:

- Los sistemas de control están conformados por: pulsadores, cuchillas, breakers y automáticos.

Los breakers seleccionados son de 30 amperios para cada una de las fases y para el neutro; las cuchillas tetrafilares son de 30 amperios a 600 voltios; los fusibles de protección colocados son de 30 amperios ya que es la corriente de arranque que tiene el motor y si ésta es superada los elementos cumplirán su función evitando daños en el motor.

▪ **Motor Eléctrico:**

Es un motor síncrono trifásico a 220 voltios nominales, 3 amperios por fase, 5 HP de potencia, capaz de entregar 3420 revoluciones por minuto (rpm) a una temperatura ambiente de 40°C.

▪ **Servo válvula:**

Es una válvula solenoide con un rango de presión de trabajo de 0 a 200 psi, capaz de trabajar con agua, gases y aceite, puede operar con voltaje AC o DC según la aplicación, la que se seleccionó es a 220 voltios y tiene un orificio de $\frac{1}{2}$ "; ya que es la que es el diámetro de las mangueras utilizadas.

▪ **Celda de Carga:**

Hecha en aleación de aluminio, con protección IP65, capacidad máxima de 200 kg de peso, tiene una sensibilidad de 2 mV / V, voltaje recomendado de trabajo entre 5 y 12 voltios; a continuación se presenta una tabla con otras características:

Accuracy class		OIML R60 C3		OIML R60 C4		OIML R60 C5	
Output sensitivity (= FS)	mV/V	20 ± 0.2					
Maximum capacity (E_{max})	kg	50, 80, 100, 150, 200, 300	50, 80, 100, 150, 200, 300	50, 80, 100, 150, 200, 300	50, 80, 100, 150, 200, 300	50, 80, 100, 150, 200, 300	50, 80, 100, 150, 200, 300
Maximum number of load cell intervals (n_{int})		3000		4000		5000	
Ratio of minimum LC verification interval $Y = E_{min}/V_{min}$	Y	10000		15000		20000	
Ratio of minimum dead load output return $Z = E_{min}/200g$	Z	4000		5000		6000	
Combined Error	%FS	≤ ± 0.0030		≤ ± 0.0075		≤ ± 0.0140	
Minimum dead load	kg	0					
Safe overload	σ/E_{max}	150 %					
Ultimate overload	σ/E_{max}	300 %					
Zero balance	σ/FS	≤ ± 2.0 %					
Excitation, recommended voltage	V	5 - 12					
Excitation maximum	V	18					
Terminal resistance, input	Ω	400 ± 8					
Terminal resistance, output	Ω	350 ± 3					
Insulation resistance	M Ω	≥ 5000 (at 50VDC)					
Temperature range, compensated	°C	-10 ~ +40					
Temperature range, operating	°C	-25 ~ +25					
Element material		Aluminum					
Corner correction		≤ ± 0.02 % load value 100mm					
Recommended torque on fixation bolts	Nm	10					
Ingress Protection (according to EN 60529)		IP65					

Tabla 2. Características eléctricas de la celda de carga ZEMIC L6E
Fuente: Hoja técnica de la galga L6E

b) Componentes hidráulicos:

- Bomba hidráulica:

Es una bomba capaz de generar 1000 libras de presión (psi), se le colocó una polea con mayor diámetro que la del eje del motor, buscando una relación de transformación de 1 a 10.

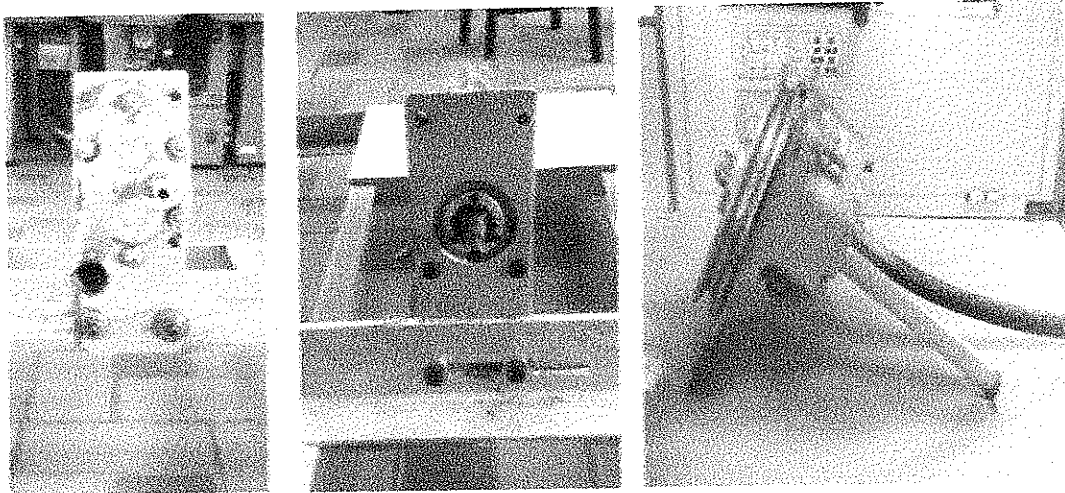


Figura 19. Ajustes de la bomba hidráulica
Fuente: Autores

- Pistón:

Es un pistón simple efecto con émbolo, el cual tiene 80 cm de largo y 6" de diámetro, su capacidad máxima de levantamiento es de 10 toneladas.

- Mangueras, tuberías y acoples:

Las mangueras son de alta presión con alma de acero (encauchetada), soporta 2000 libras de presión (psi), las tuberías y acoples son de ½ pulgada con el fin de facilitar el acople final a la estructura.

- Tanque de almacenamiento:

Es un cilindro de gas pequeño acoplado para el almacenamiento de aceite hidráulico, se lavó con gasolina para sellarlo y evitar oxidaciones, tiene una capacidad de 12 litros.

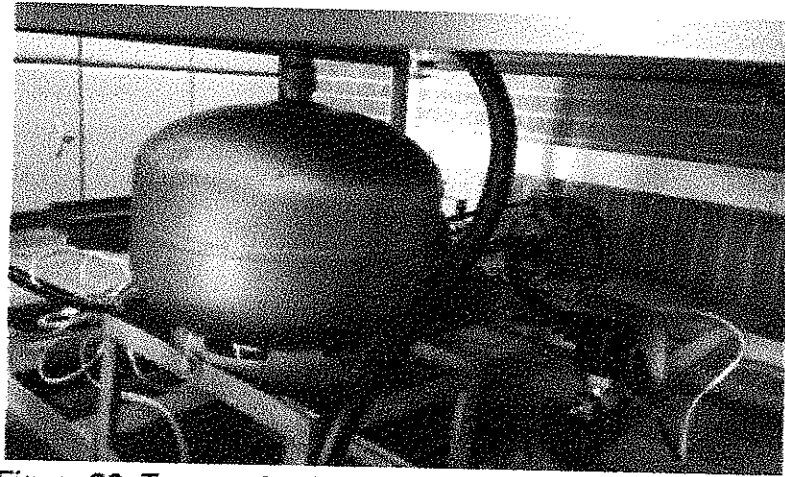


Figura 20. Tanque de almacenamiento del aceite hidráulico
Fuente: Autores

Descripción del sistema electromecánico:

El sistema cumple la función de generar la presión necesaria para lograr el desplazamiento del pistón hacia arriba y hacia abajo en donde la bomba hidráulica es activada por medio de un motor eléctrico haciendo una transformación de energía mecánica a energía hidráulica, estos se acoplan por medio de poleas las cuales están unidas por una correa de repartición de 36 cm.

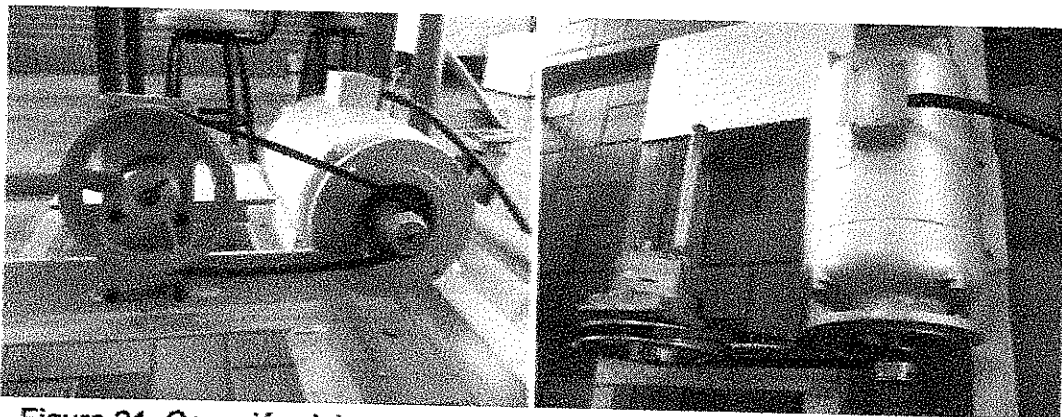


Figura 21. Conexión del motor y la bomba mediante poleas con la correa de repartición
Fuente: Autores

Luego de esto la bomba absorbe el hidráulico y lo envía al pistón realizando nuevamente una transformación de energía hidráulica a energía mecánica de desplazamiento, que se ve reflejado por el movimiento del vástago en el pistón. Este se encuentra anclado de forma mecánica a la primera sección de X que conforma el prototipo y a la parte inferior del sistema; además de esto se realiza la implementación de dos electroválvulas, en donde su función es permitir el paso del aceite hidráulico; la primera de ellas se encuentra ubicada entre la bomba hidráulica y el pistón con el fin de garantizar que la mesa se desplace solamente la distancia deseada por el operario, quien la controlará desde el tablero de mando, ubicado en la parte superior del prototipo, la otra se encuentra ubicada en una derivación tomada entre el pistón y el suministro del tanque garantizando de esta forma que la mesa va a retornar sin ningún problema y según lo requiera el operario que lo controla.

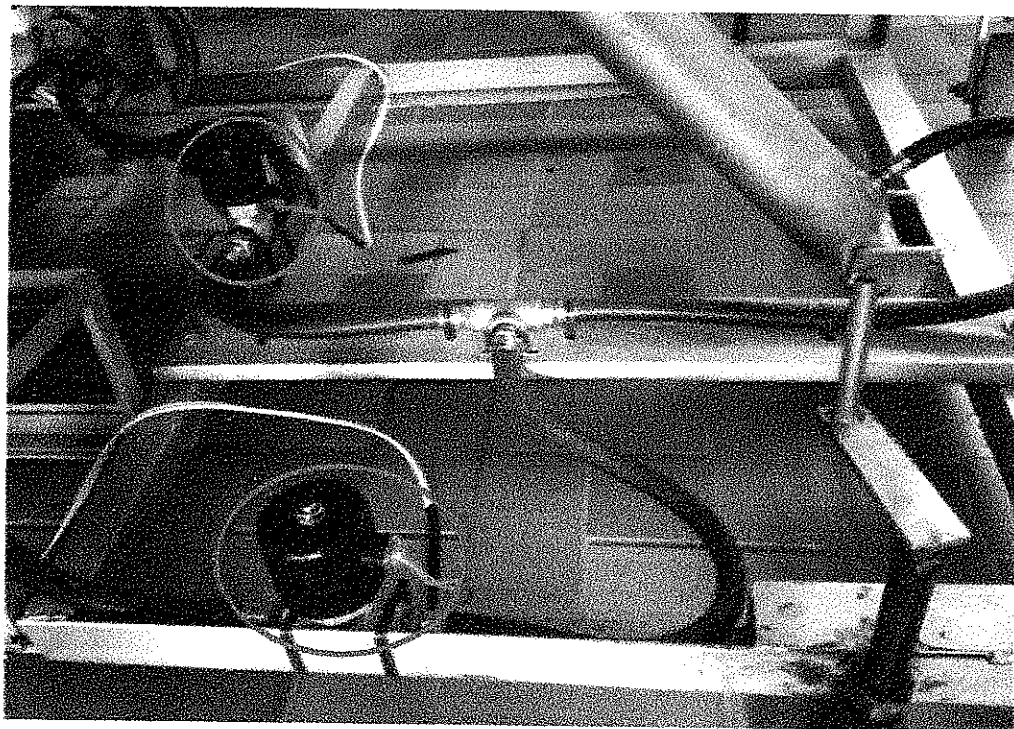


Figura 22. Instalación de las dos válvulas de control
Fuente: Autores

7.3. Etapa 3: Diseñar los circuitos electrónicos a implementar en la mesa para el control del sistema mecánico.

Descripción del circuito de control:

El circuito de control implementado cumple la función de variar la velocidad del motor lo que se logra haciendo cortes de fase según la velocidad que se desee, esto con el fin de variar la presión con la que se alimenta el pistón que genera directamente un cambio de la velocidad de desplazamiento del prototipo, el circuito consta de una variador de velocidad el cual funciona con una entrada de 220 voltios AC y cuya referencia es TCA 785, logrando así la variación de velocidad del motor, estos cortes de fase generan unos pulsos los cuales se envía a un triac en donde posteriormente se alimenta el motor esto se realiza para cada una de las fases.

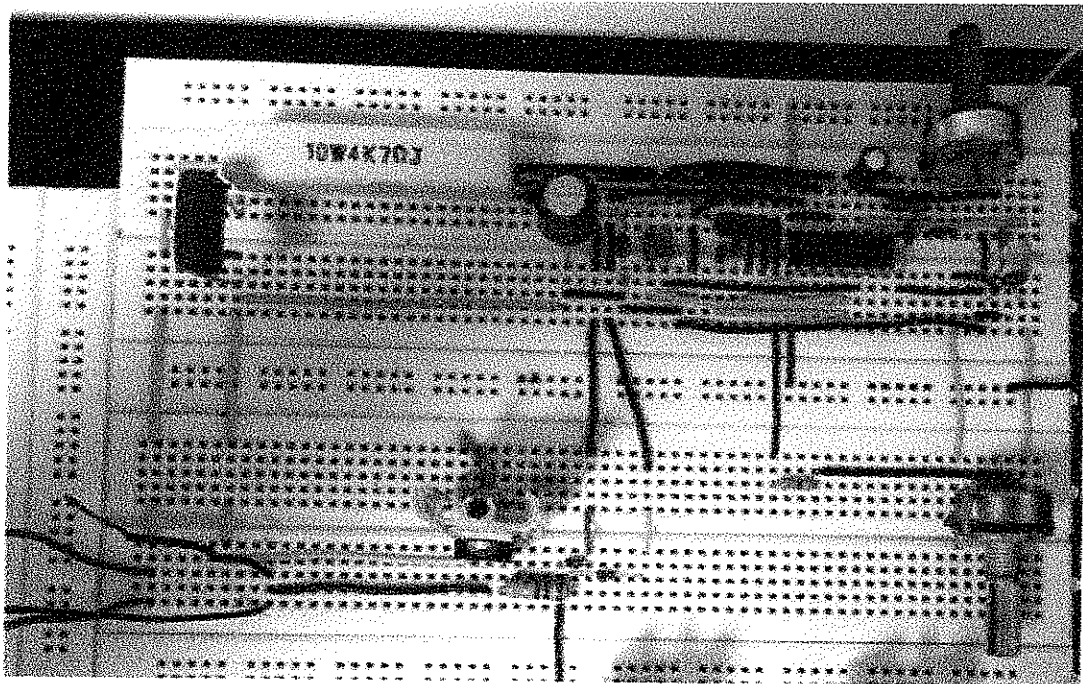


Figura 23. Circuito de control de fase implementado en protoboard
Fuente: Autores

Medición del peso sobre la estructura:

La medición del peso se realiza por medio de una celda de carga que posee un rango de medida de 0 a 200 Kg, está brinda una sensibilidad de 4 mV por kilogramo, su salida es sometida a un tratamiento para poder convertirla en una señal manipulable que brinde la información necesaria, este acondicionamiento se realiza por medio de un amplificador de instrumentación AD620, que brinda una ganancia de 335, debido a que la variación obtenida a la salida de la celda de carga está en el orden de los micro voltios, luego de este acoplamiento la señal se transforma logrando un nivel deseable para su posterior interpretación y visualización del peso sobre la estructura.

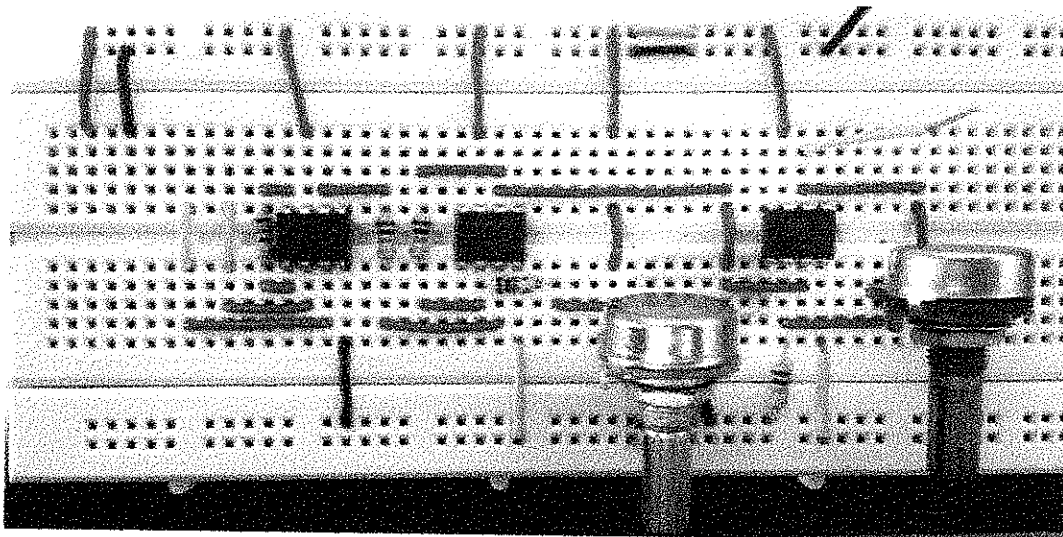


Figura 24. Implementación del circuito de acondicionamiento de la galga
Fuente: Autores

Sistema de desplazamiento y estabilidad:

Para el fácil desplazamiento del prototipo se cuenta con 4 ruedas colocadas en cada una de las esquinas, adicional a ellas y con el propósito de darle estabilidad se ubicaron 4 gatos mecánicos con el fin de lograr la nivelación y garantizar la seguridad del operario. Finalmente se le instala un riel el cual está sujeto a la primera sección en forma de X y se ancla a la parte inferior de la mesa para evitar que se levante del extremo opuesto a donde se encuentra anclado el pistón.

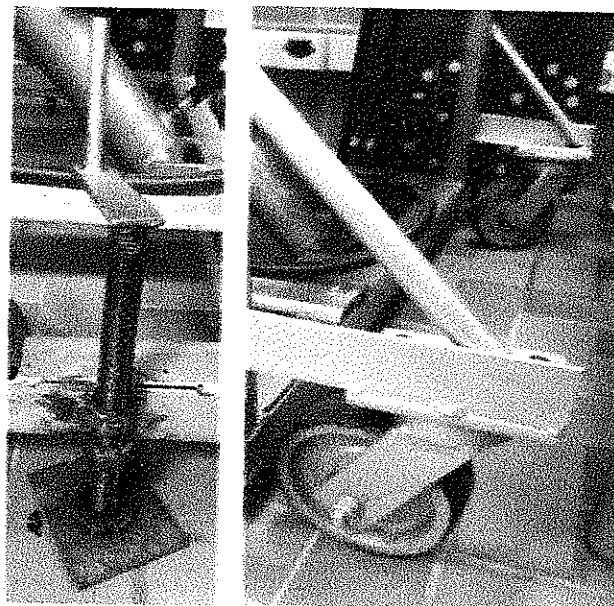


Figura 25. Visualización de los gatos mecánicos y las llantas que permiten la estabilidad y movimiento de la mesa.

Fuente: Autores

- 7.4. Etapa 4: Implementar el sistema de seguridad y prevención, tanto de los circuitos como de la mesa elevadora.

Sistema de seguridad y prevención:

Los sistemas de seguridad implementados en el prototipo se diseñaron con el fin de satisfacer las normas de seguridad industrial y de trabajo en alturas, para los operarios que hagan uso del prototipo, básicamente consta de la elaboración de una canastilla en la parte superior de la mesa con el fin de que si en algún momento el operario pierde la estabilidad por una u otra razón no se vaya a caer desde la altura en la que se encuentre, causando lesiones graves y en consecuencia problemas jurídicos acarreados por accidentes laborales; además de esto se implementaron cuatro gatos mecánicos para anclar la mesa con estabilidad y un nivel adecuado. Finalmente se implementaron los circuitos de seguridad en el sistema de generador de potencia eléctrica que alimenta el motor eléctrico, estos circuitos constan de: Breakers, Cuchillas de Corte, Fusibles, y un interruptor de parada de emergencia con bloqueo para hacer uso en cualquier caso en que se requiera.

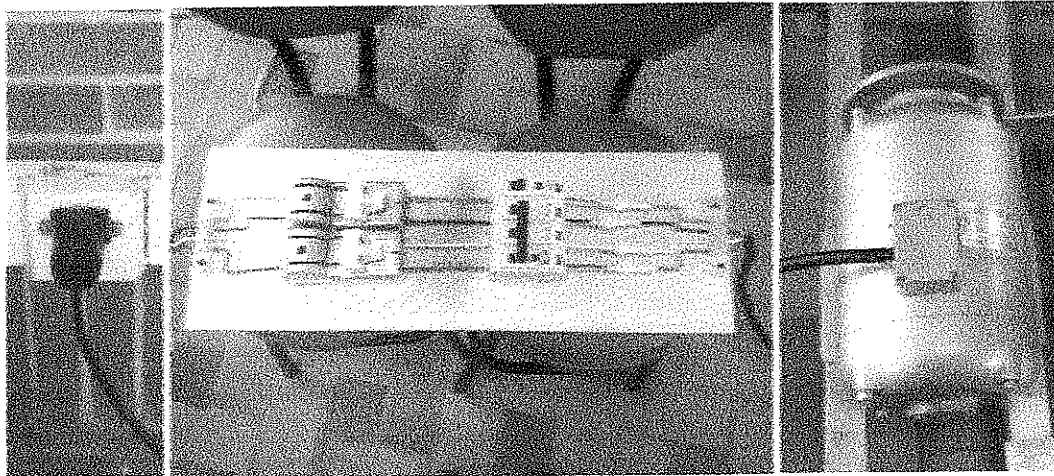


Figura 26. Circuito de potencia para la activación del motor
Fuente: Autores

7.5. Etapa 5: Diseño e implementación de los circuitos electrónicos y obtención de la curva característica de los sensores.

- Celda de carga:

La celda de carga encargada de la medición del peso, cuya referencia es **ZEMIC L6E**, tiene las siguientes dimensiones:

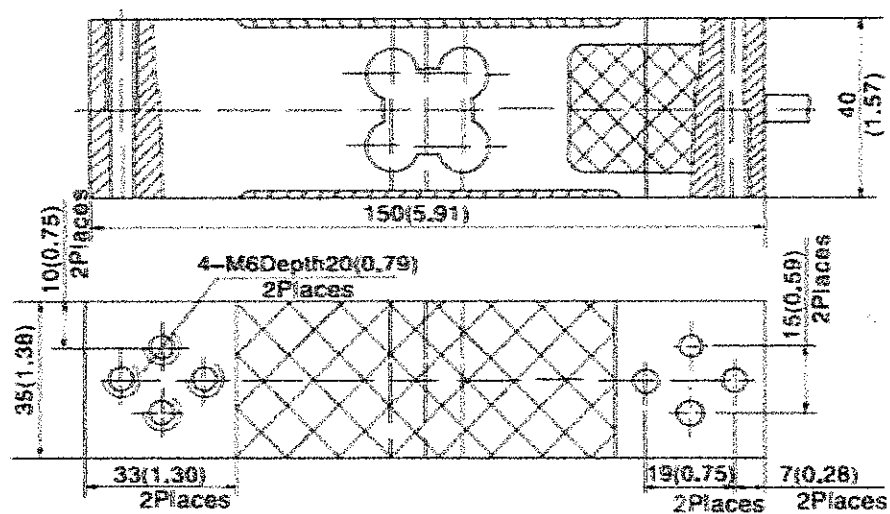


Figura 27. Dimensiones de la celda de carga utilizada
Fuente: Hoja Técnica de la celda de carga

Esta celda de carga tiene las siguientes características técnicas: la medición del peso máximo es de 200 Kg, la sensibilidad es de 2.0mV/V, la máxima alimentación es de 18V pero es recomendable que se trabaje a máximo 12V, para el caso la galga fue trabajada bajo una tensión de 5V; el diagrama del circuito interno es un puente de Wheatstone como se ve en la siguiente imagen:

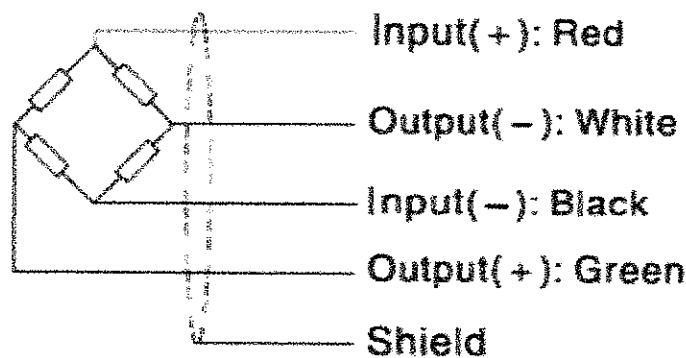


Figura 28. Puente de Wheatstone configurado en la celda de carga
Fuente: Hoja técnica de la celda de carga

Como se muestra en la figura anterior correspondiente al diagrama circuital de la celda, la configuración es un puente de Wheatstone energizado a 5v con referencia a tierra, y posee dos salidas denotadas por un cable blanco y un cable verde las cuales van conectadas al circuito de instrumentación.

Para la celda de carga seleccionada, se debe tener en cuenta que ésta brinda voltajes muy pequeños, por lo tanto, se hace necesaria la implementación de un amplificador de instrumentación, que tienen ganancias bastante grandes lo que permite tener señales de por lo menos 1 V, partiendo desde los micro o mili voltios.

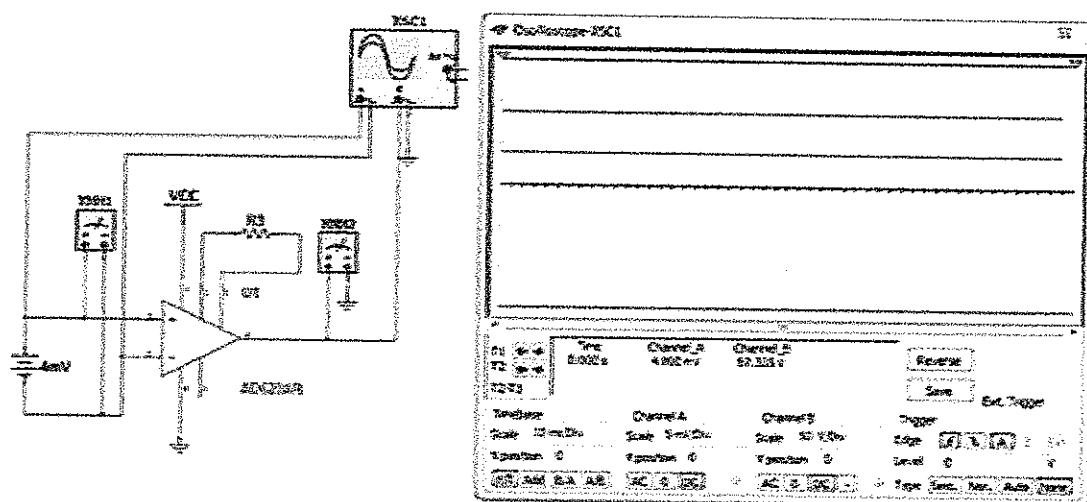


Figura 29. Simulación del amplificador de instrumentación
Fuente: Autores. Multisim 10.1

Seguido de esto, se debe implementar un offset a la señal ya que ésta no empieza desde cero, y para ser parametrizada la celda de carga se debe tener en cuenta este factor. Cabe resaltar que con un amplificador sencillo como lo es el LM741, se puede realizar dicha tarea, simplemente haciendo una configuración de sumador, cuyas entradas serian la salida del amplificador de instrumentación y un voltaje DC, al cual se le sumará la señal.

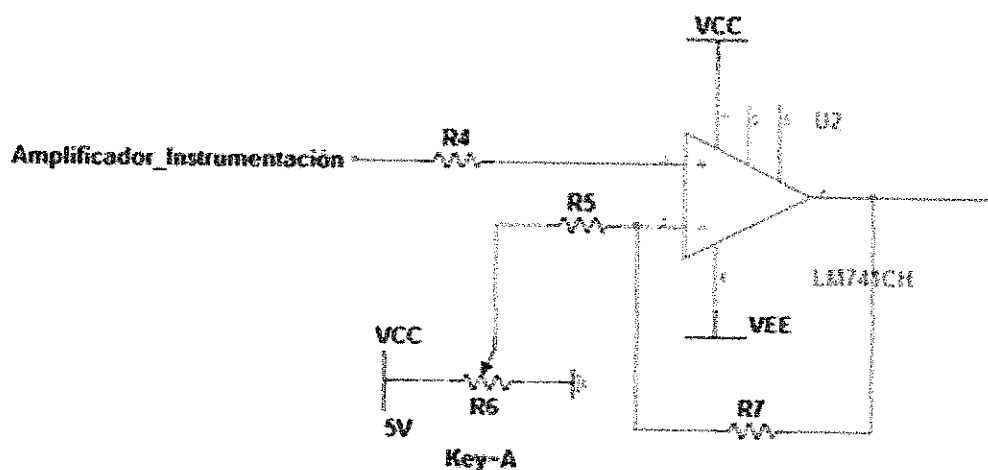
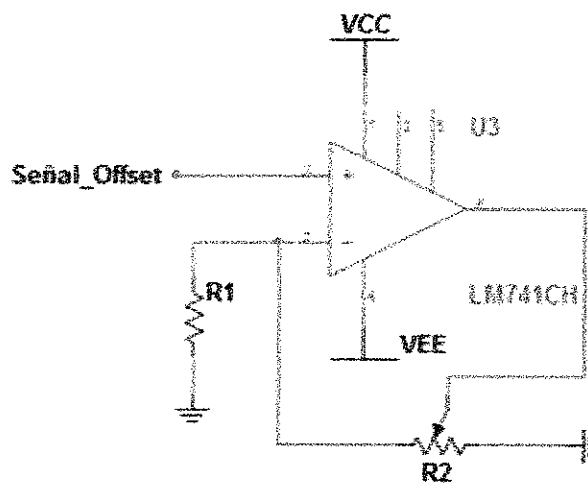


Figura 30. Amplificador operacional, en configuración sumadora
Fuente: Autores. Multisim 10.1

Por último se diseña un amplificador no inversor, para tener control de la ganancia que se le va a dar a la señal con offset, obtenida anteriormente. Esto se hace mediante un amplificador operacional LM741, al cual se le conecta una resistencia de ganancia variable de 10K Ω , y una resistencia de 50K Ω a la entrada inversora para darle mayor estabilidad al sistema.



Key=B

Figura 31. Amplificador operacional en configuración no inversor
Fuente: Autores. Multisim 10.1

A continuación se muestran los circuitos acoplados en simulación y las señales obtenidas en el osciloscopio, al variar el potenciómetro del offset para que se ubique en cero la señal de entrada, ya que al modificar el peso sobre la mesa se podrá observar con mayor facilidad la variación del voltaje de salida de la misma, esta celda de carga es alimentada a 5 Voltios, y los demás elementos varían entre ± 5 Voltios, para no presentar recortes de las señales. La señal Vout es la que se conecta al microcontrolador para realizar el proceso de conversión y visualización.

Cabe resaltar que las alimentaciones de los LM741, se deben hacer a ± 5 V, ya al tener una máxima ganancia y máximo peso sobre la mesa se tendrá un voltaje de salida superior a 5 V, lo cual generaría daños en el microcontrolador, ya que su voltaje máximo aceptado en los puertos análogos es menor a 5 voltios.

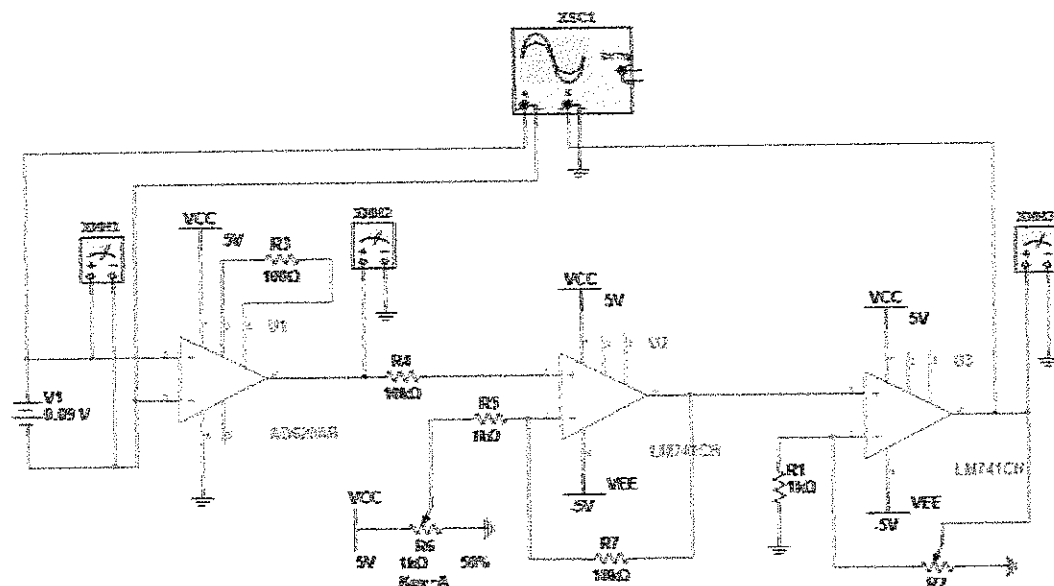


Figura 32. Implementación final del circuito de acondicionamiento para la celda de carga

Fuente: Autores. Multisim 10.1

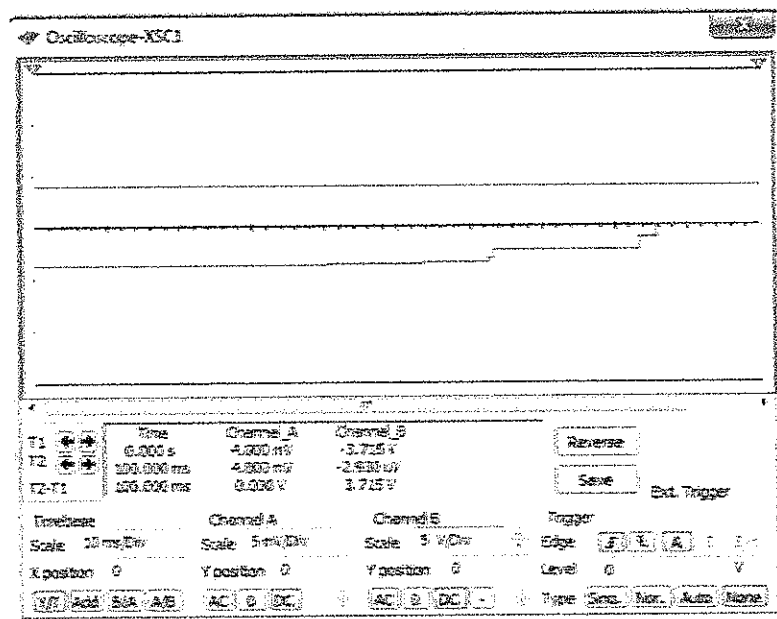


Figura 33. Señales obtenidas a la entrada (señal roja) y la salida (señal azul) de la galga

Fuente: Autores

Como se observa, se tomaron mediciones del voltaje de la señal de salida en la celda de carga alimentada a 5V, y de la señal de salida en la etapa de control que ira hacia el microcontrolador.

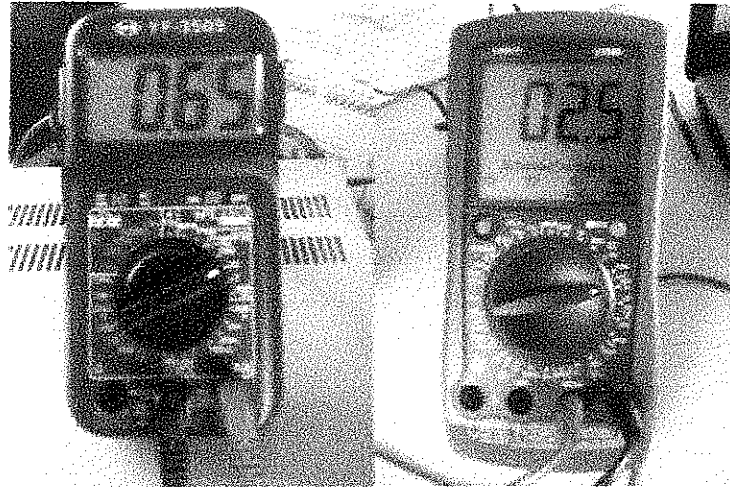


Figura 34. Mediciones de voltajes de la celda de carga, multímetro negro (salida de la galga) y multímetro rojo (salida de la etapa de acondicionamiento)

Fuente: Autores

La relación que se observa en los multímetros anteriores indica la ganancia total del sistema a la salida del tercer amplificador.

En la figura 29 se presenta el plano del circuito de un amplificador de instrumentación utilizado para el acondicionamiento de la señal de la celda, la resistencia de $150\ \Omega$, es la que determina la ganancia del amplificador, según la hoja de especificaciones del circuito integrado AD 620 al configurar este valor de resistencia en la ganancia se tendrá un valor igual a 335. Esto está dado por la siguiente expresión que describe el comportamiento de amplificación del circuito integrado:

$$G = 1 + \frac{50k\Omega}{RG}$$

En donde RG es la resistencia de realimentación con un valor de $150\ \Omega$, por lo que se tiene:

$$G = 1 + \frac{50k\Omega}{150\Omega}$$

$$G = 335$$

Para realizar la caracterización del sensor (celda), se realizó la relación peso voltaje como se observa en la tabla 3.

Peso (kg)	Voltaje (V)
0,00	0,00
7,00	0,11
14,00	0,21
20,00	0,32
27,00	0,43
34,00	0,54
41,00	0,65
48,00	0,76
54,00	0,87
60,00	0,98
68,00	1,10
75,00	1,20
82,00	1,31
88,00	1,42
95,00	1,52
102,00	1,63
109,00	1,74
116,00	1,85
123,00	1,95
130,00	2,06
137,00	2,17
144,00	2,28
150,00	2,39

Tabla 3. Relación del peso con el voltaje de la celda de carga
Fuente: Autores

El comportamiento obtenido se refleja en la siguiente gráfica y la ecuación característica es:

$$V = 0,0159 p + 0,0039$$

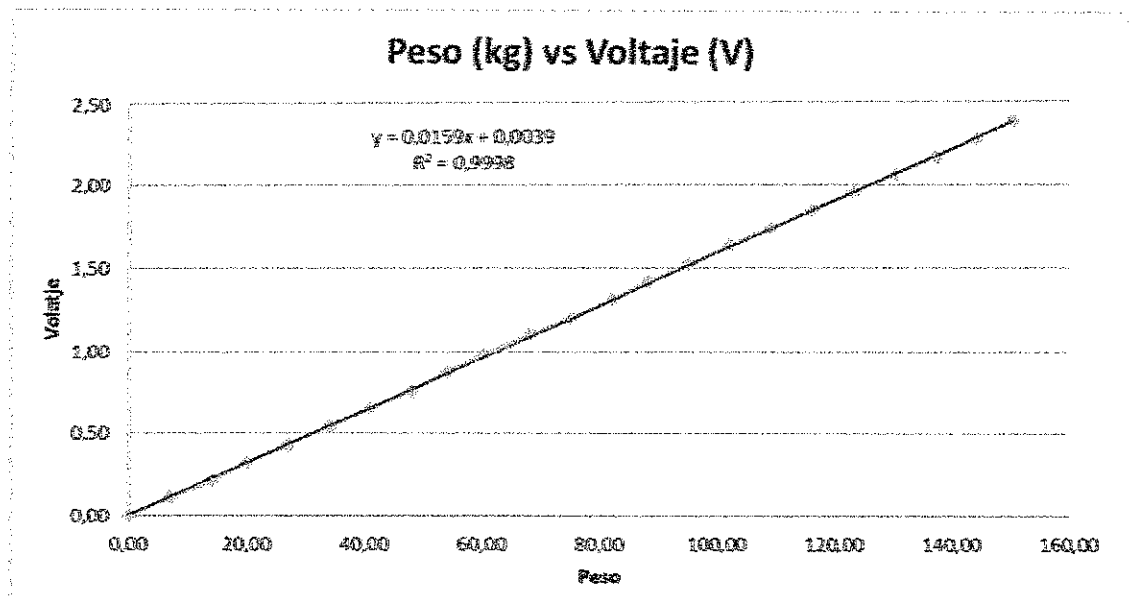


Figura 35. Gráfica de comportamiento de la celda de carga.
Fuente: Autores

▪ Control de Fase

Debido a que el motor tiene alta velocidad, se hace necesario realizar un control de fase para recortar la señal de entrada y poder controlar la velocidad de desplazamiento vertical de la mesa. El circuito integrado que se adquirió fue el TCA 785, el cual internamente compara una señal rampa que genera con la onda senoidal de entrada, y mediante variaciones de tensiones DC, hace recortes según se ajuste.

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Limit Values		Unit
		min.	max.	
Supply voltage	V_S	- 0.5	18	V
Output current at pin 14, 15	I_O	- 10	400	mA
Inhibit voltage	V_I	- 0.5	V_S	V
Control voltage	V_{11}	- 0.5	V_S	V
Voltage short-pulse circuit	V_{12}	- 0.5	V_S	V
Synchronization input current	I_S	- 200	± 200	μA
Output voltage at pin 14, 15	V_O		V_S	V
Output current at pin 2, 3, 4, 7	I_O		10	mA
Output voltage at pin 2, 3, 4, 7	V_O		V_S	V
Junction temperature	T_J		150	$^{\circ}C$
Storage temperature	T_{STG}	- 55	125	$^{\circ}C$
Thermal resistance system - air	$R_{\theta SA}$		80	K/W

Operating Range

Supply voltage	V_S	8	18	V
Operating frequency	f	10	500	Hz
Ambient temperature	T_A	- 25	85	$^{\circ}C$

Tabla 4. Rangos de operación
Fuente: Hoja Técnica del dispositivo TCA 785

El circuito integrado necesita una alimentación adicional o suplementaria que varía entre 0 y 18 voltios, sin embargo al realizar pruebas el voltaje óptimo de funcionamiento fue de 10 voltios ya que si se alimenta a uno mayor, genera mayor corriente causando daño al triac de disparo o incluso la fuente de alimentación por corrientes parasitas.

El circuito básicamente tiene las siguientes configuraciones: El pin 5 es para la sincronización con la línea de alterna y va conectada a esta a través de una resistencia. Entre el pin 5 y tierra se colocan dos diodos en conexión anti-paralelo para limitar la tensión a 0,6 volts. El cambio de tensión entre -0,6 y +0,6 dará el cruce "0" de la onda alterna. El método usado para lograr el desfase ϕ es comparando una tensión continua que será la tensión de control, con una señal diente de sierra sincronizada con la línea y cuyo periodo es igual a un semi-ciclo

de la onda alterna. Esta rampa esta generada por una fuente de corriente que alimenta un capacitor externo C10 y dicha fuente es controlada por una resistencia externa R 9. Cuando se produce el cruce de la tensión V 11 con la rampa, el comparador envía una señal al circuito lógico del C.I. y este produce un pulso de salida.

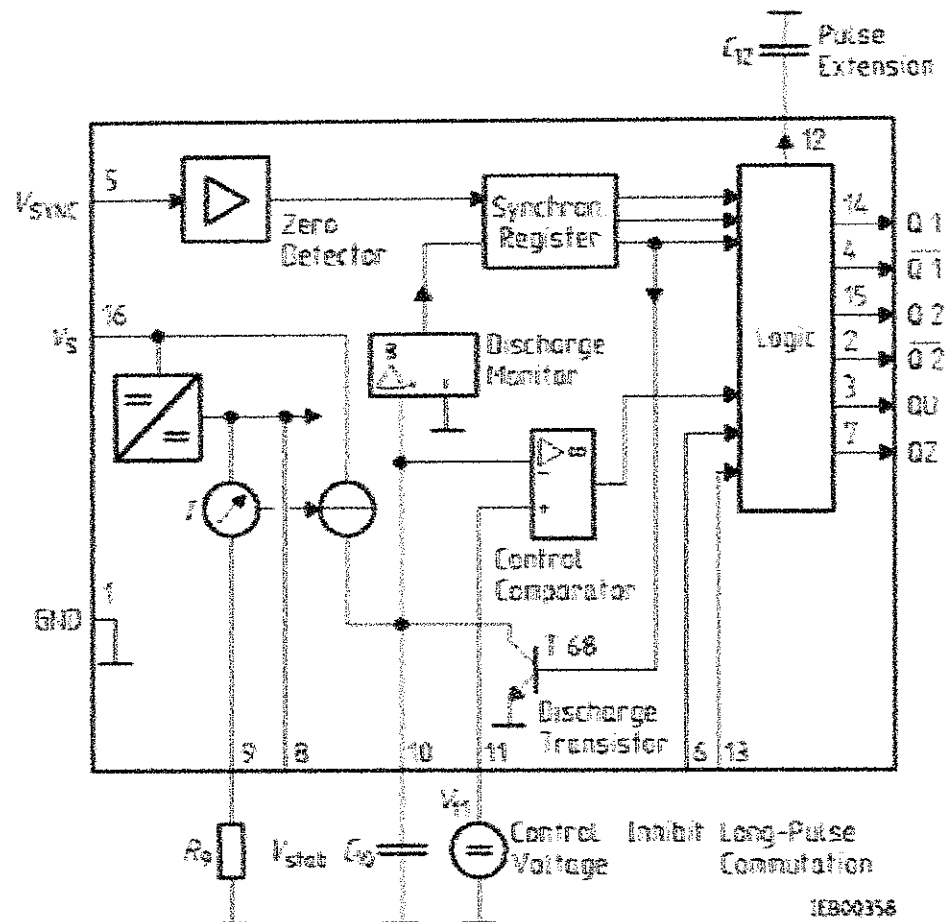


Figura 36. Diagrama de bloques del funcionamiento del CI TCA 785
Fuente: Autores

El pulso de salida generado se envía a un triac TC (BT136), el cual permite tener los recortes de señal en la salida que se conectará al motor. Su conexión es: Gate a los pulsos que genera el integrado, MT_1 se envía al neutro, y MT_2 se conecta a la carga.

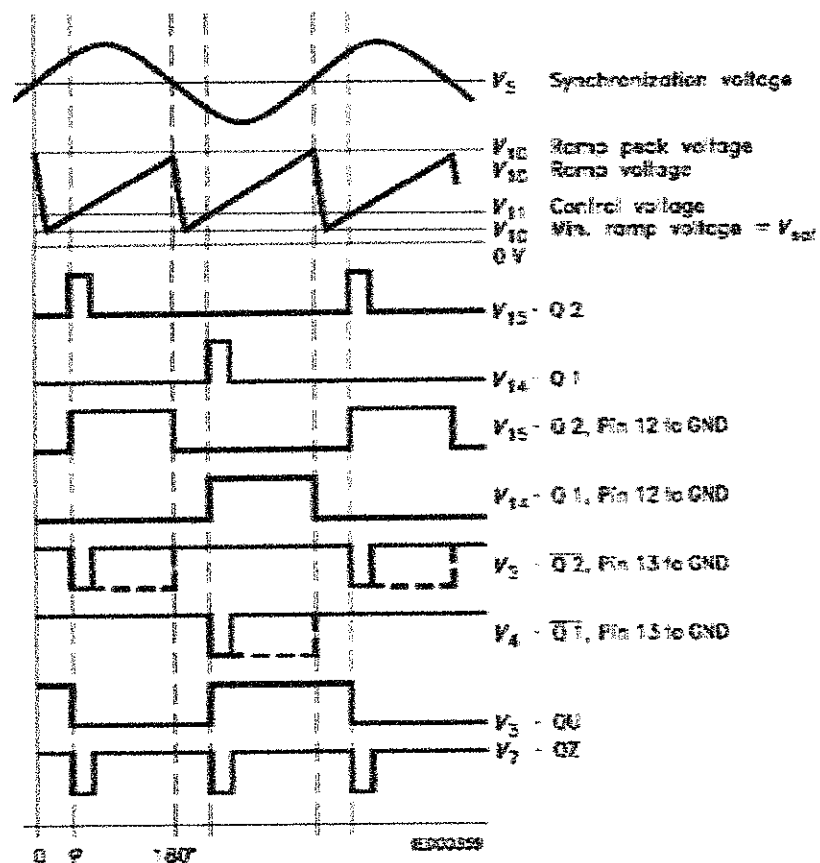


Figura 37. Ondas generadas por el CI TCA 785, en sus diferentes pines.
Fuente: Autores

En la figura 37 se observa la señal de entrada, el voltaje rampa y el voltaje de control, así mismo cada uno de los pulsos que permitirá tener el control, los que interesa utilizar son Q1 y Q2, que se enviarán al triac con el fin de tener pulsos tanto en el semi-ciclo positivo como en el negativo de la señal de entrada.

En la siguiente figura se observa la conexión implementada, teniendo en cuenta que el motor es trifásico se alimentará con 220 V, es importante colocar la resistencia de 4.7K de 10 W, ya que en este punto es donde se hace la mayor reducción de la tensión de entrada; con el diodo Zener de 15 voltios, se está asegurando que no se apliquen más de 15 V al CI, para evitar daños, este se coloca como seguridad de la vida útil del circuito integrado.

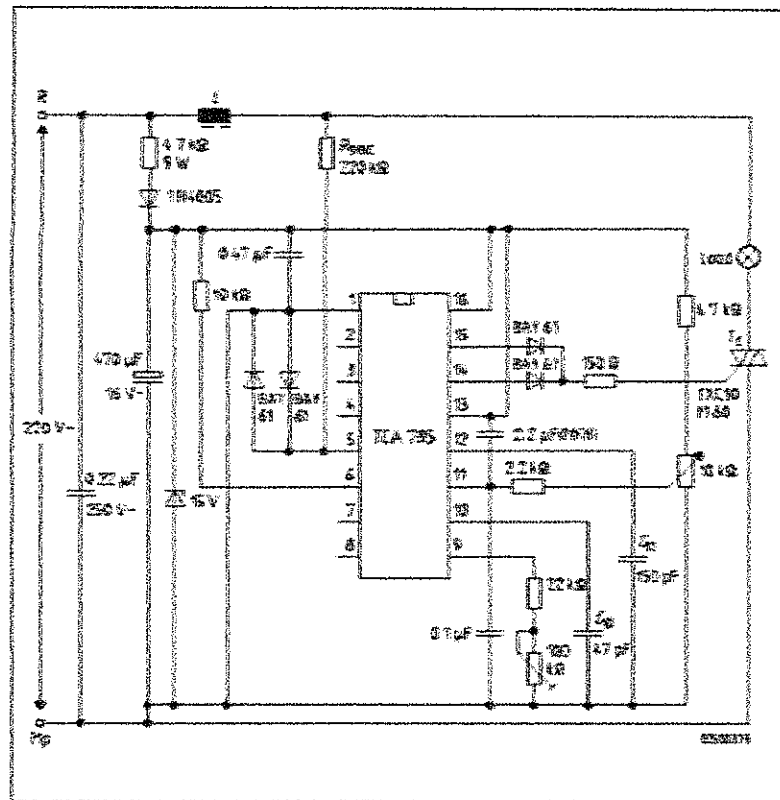


Figura 38. Conexión implementada del CI TCA 785
Fuente: Autores

7.6. Etapa 6: Implementación de los circuitos diseñados y pruebas finales del prototipo.

En esta etapa se refleja el trabajo realizado en las etapas anteriores, el diagrama de bloques del sistema es:

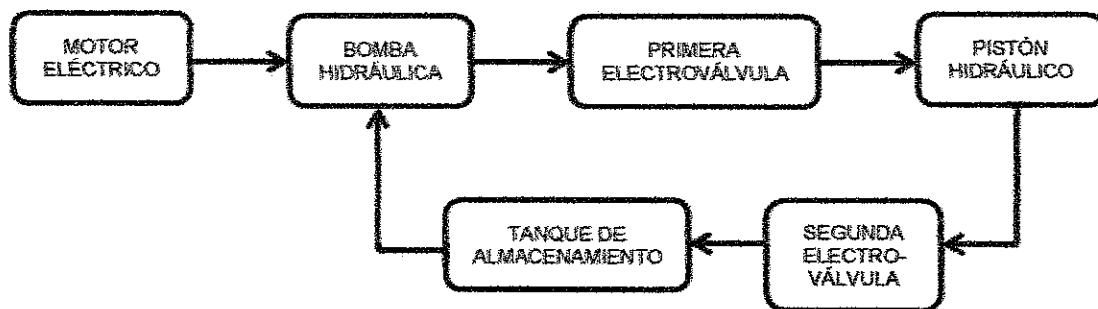


Figura 39. Diagrama de bloques hidráulico
Fuente: Autores

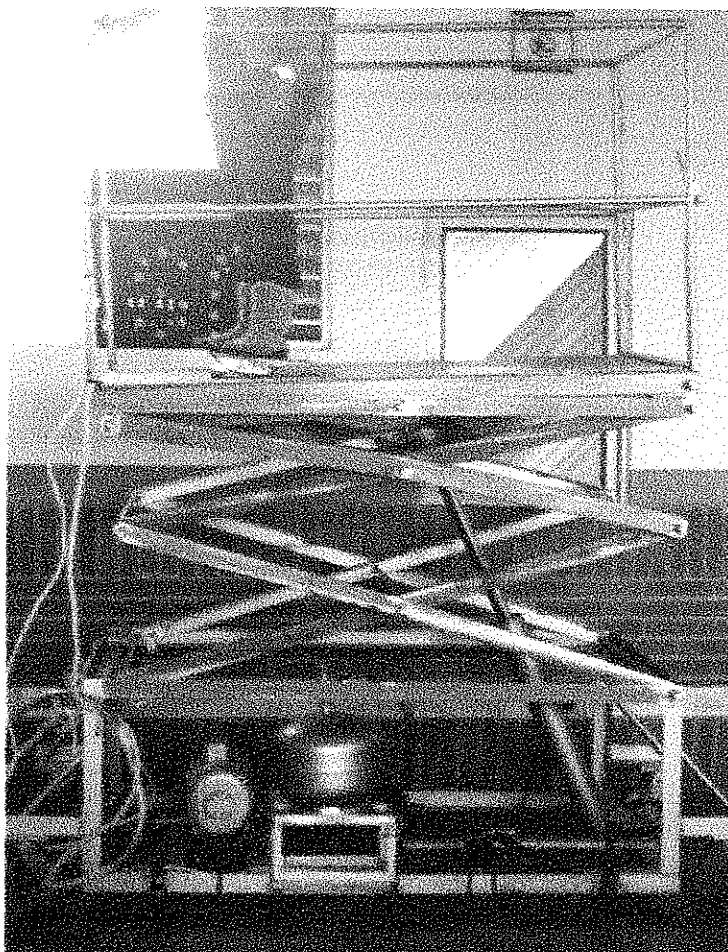


Figura 40. Imagen de la mesa elevadora terminada
Fuente: Autores

Diagrama de bloques eléctrico:



Figura 41. Diagrama de bloques eléctrico
Fuente: Autores

Es importante resaltar, que en el sistema general se tiene también un diagrama de bloques de potencia eléctrica, que se muestra en la figura 42:

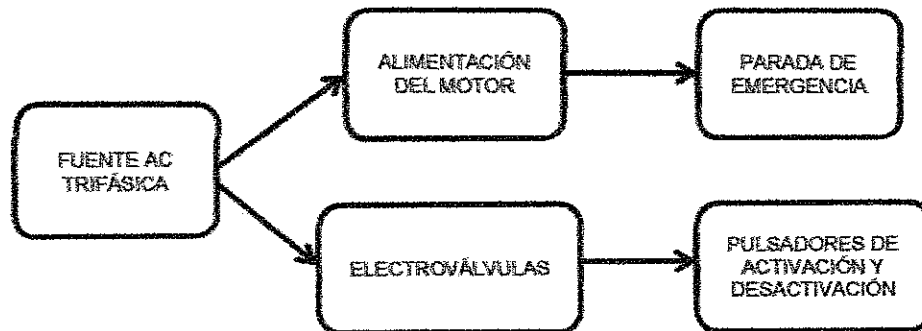


Figura 42. Diagrama de bloques de los circuitos de potencia.
Fuente Autores

7.7. Etapa 7: Interfaz gráfica o tablero de mando en donde se instalen lo visualizadores de potencia y de control.

Finalmente se realiza la implementación de un tablero de mando el cual permite controlar las dos electroválvulas, además de realizar una parada de emergencia en el momento en el que sea indispensable, energizar y desenergizar el sistema de control y una visualización de algunas magnitudes importantes como lo es el peso que se encuentra soportado la estructura.

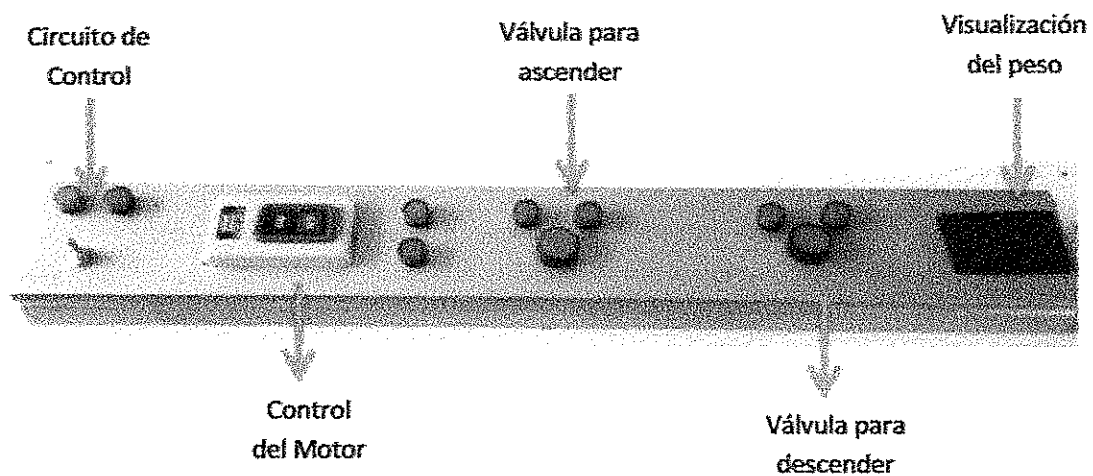


Figura 43. Tablero de mando.
Fuente: Autores

7.8. Modelamiento matemático del sistema electrónico, y selección del controlador.

7.8.1. Modelamiento Matemático Sistema a Controlar. Descripción de variables y diagrama esquemático del sistema de control.

La variable que se desea controlar es corriente, que se va a ver directamente afectada por la variación de la velocidad del motor que le da la fuerza a la bomba que empuja el hidráulico al pistón para subir y bajar la mesa. La intervención se realizará sobre el control de fase implementado, de manera que variando la entrada DC del integrado, podamos modificar los cortes de la señal de entrada y tener diferentes alturas de la mesa.

El diagrama esquemático es:



Figura 44. Sistema a lazo abierto
Fuente: Autores

7.8.2. Identificación de la función de transferencia del sistema a controlar (experimental en laboratorio por curva de reacción)

La función de Transferencia de nuestra planta de primer orden es:

$$G(s) = \frac{k}{\tau s + 1} = \frac{k/\tau}{s + 1/\tau}$$

Para obtenerla los valores de k y τ , realizamos una entrada escalón a nuestro sistema y vemos la gráfica de salida.

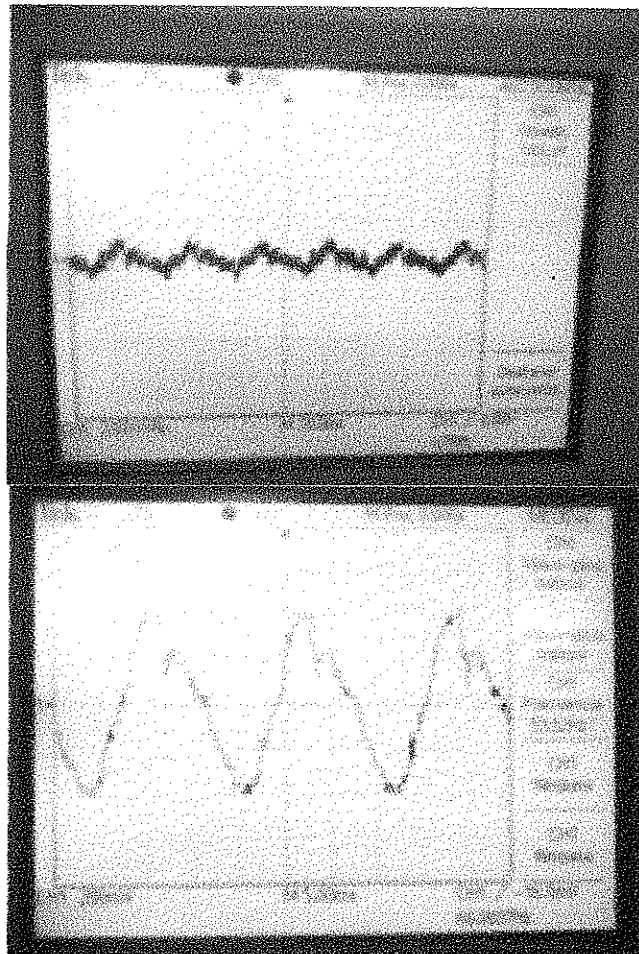


Figura 445. Comportamiento del sistema a una entrada escalón.
Fuente: Autores

- Para encontrar la ganancia K :

Gráficamente

$$k = \frac{V_{fs} - V_{is}}{V_{fe} - V_{ie}} = \frac{840 \text{ mV} - 0 \text{ V}}{4.9 \text{ V} - 0.37 \text{ V}}$$

$$k = 0.1854$$

- Para encontrar τ :

Como τ , es el 63% de K , entonces:

$$63\% \text{ de } K = 0,1854 * 0,63$$

$$63\% \text{ de } K = 0,116821$$

$$\tau = 10,5 - 1$$

$$\tau = 9,5 \text{ s}$$

Por lo tanto la función de transferencia es:

$$G(s) = \frac{0,01952 e^{10,23 s}}{s + 0,1053}$$

Debemos colocarle un tiempo muerto representado en $e^{10,23 s}$, que será el tiempo que demora el motor en arrancar completamente. Graficando la señal de entrada y salida, obtenemos

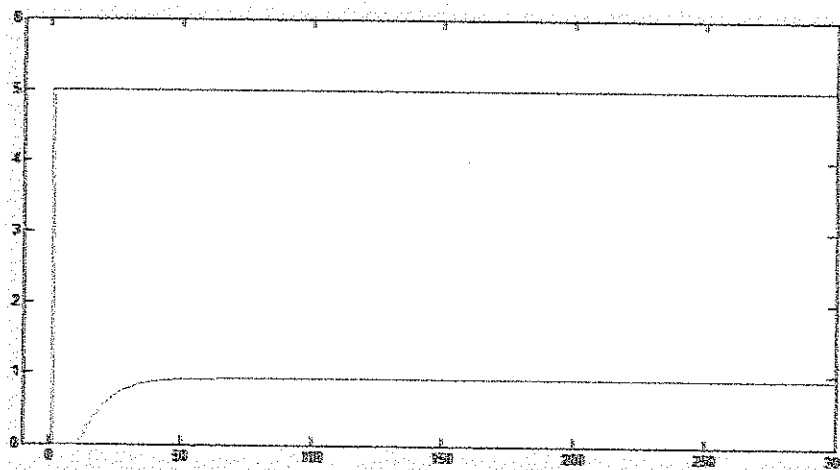


Figura 456. Representación en Matlab, de la función de transferencia
Fuente: Autores

- Para encontrar el tiempo muerto L :

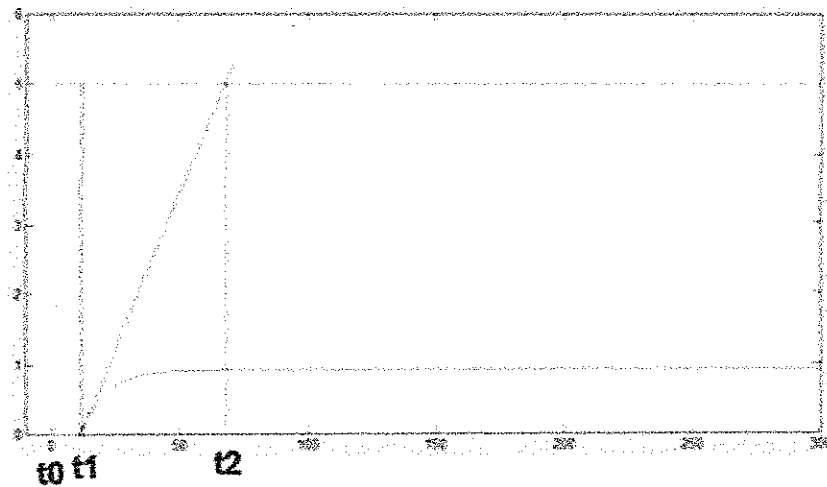


Figura 46. Ubicación de t_0 , t_1 , y t_2 para hallar las constantes L y T .
Fuente: Autores

$$L = t_1 - t_0$$

$$L = 10,23 - 1$$

$$L = 9,23$$

- Para encontrar el tiempo desde que responde al estímulo hasta que alcanza el valor final de salida T :

$$T = t_2 - t_1$$

$$T = 65 - 10,23$$

$$T = 54,77$$

La implementación realizada en bloques mediante el Toolbox de Matlab, Simulink se observa en la figura 1.

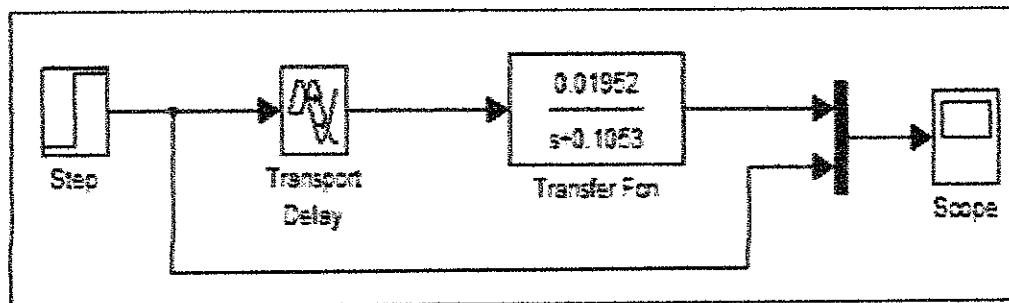


Figura 47. Verificamos el comportamiento de la función de transferencia, con tiempo muerto
Fuente: Autores

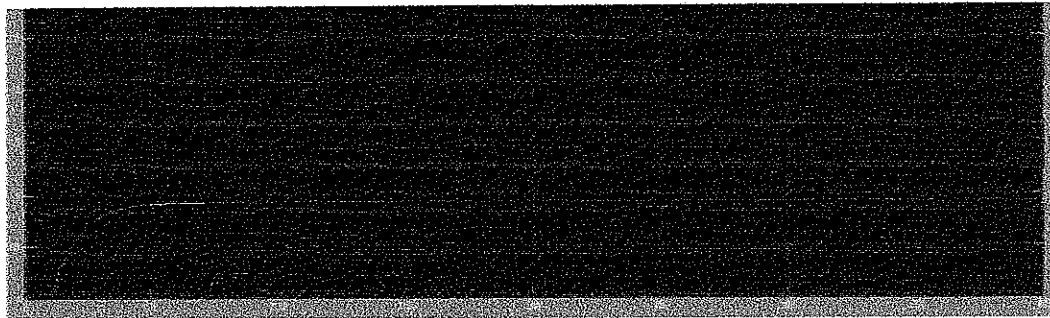


Figura 48. Comportamiento obtenido de la simulación de la figura 48.
Fuente: Autores

En la figura 19, se observan varios bloques, el primero es nuestra entrada al sistema el cual tiene una amplitud de 0 a 5, empezando en 1 segundo; el bloque Transport Delay nos permite darle el tiempo muerto a nuestro sistema que es de 10.23 segundos; el siguiente es la función de transferencia de la planta de primer orden, y encontramos un multiplexor el cual nos permite observar en el osciloscopio la señal de entrada y salida en el mismo recuadro.

Debido a que nuestro sistema es estable podemos diseñar el controlador, mediante el método de curva de reacción de Zigler – Nichols, utilizando la tabla característica de este.

Teniendo que:

$$K=0,1854$$

$$L=9,23$$

$$T=54,77$$

7.8.3. Discretización del modelo continuo. Selección del periodo de muestreo.
Método de Tustin y ZOH en Matlab y concluir

Selección del periodo de muestreo:

$$\frac{\tau}{10} \leq T_m < \frac{\tau}{6}$$

Si τ es 9,5, entonces:

$$\frac{\tau}{10} \leq T_m$$

$$\frac{9,5}{10} \leq T_m$$

$$T_m = 0,95 \text{ s}$$

Usando Matlab discretizamos el modelo continuo:

```
>> Gs=tf([0.01952],[1 0.1053])
```

Transfer function:

$$0.01952$$

$$s + 0.1053$$

```
>> Gz=c2d(Gs,0.95,'tustin')
```

Transfer function:

$$0.00883 z + 0.00883$$

$$z - 0.9047$$

Sampling time: 0.95

```
>> Gz=c2d(Gs,0.95,'ZOH')
```

Transfer function:

$$0.01765$$

$$z - 0.9048$$

Sampling time: 0.95

7.8.4. Análisis de respuesta al escalón unitario tanto para el sistema continuo como para el sistema discreto a lazo abierto (Matlab y Simulink) con respectivos comentarios.

Análisis de respuesta al escalón unitario para el sistema continuo,

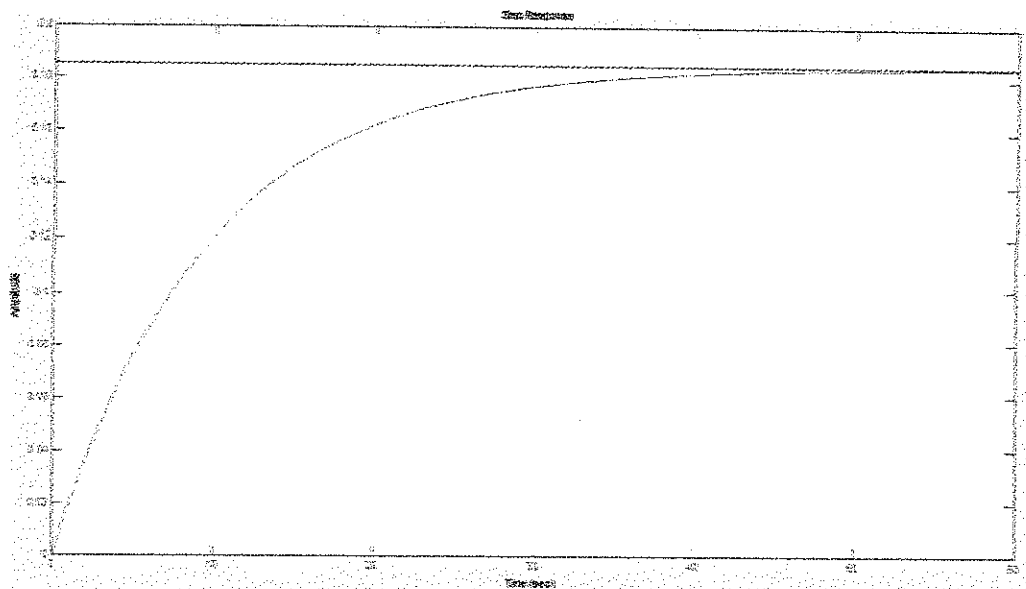


Figura 49. Respuesta escalón de la función de transferencia continua
Fuente: Autores

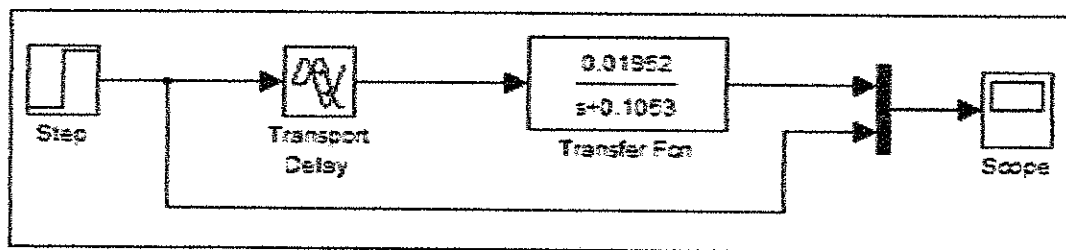


Figura 50. Diagrama de bloques en Simulink
Fuente: Autores

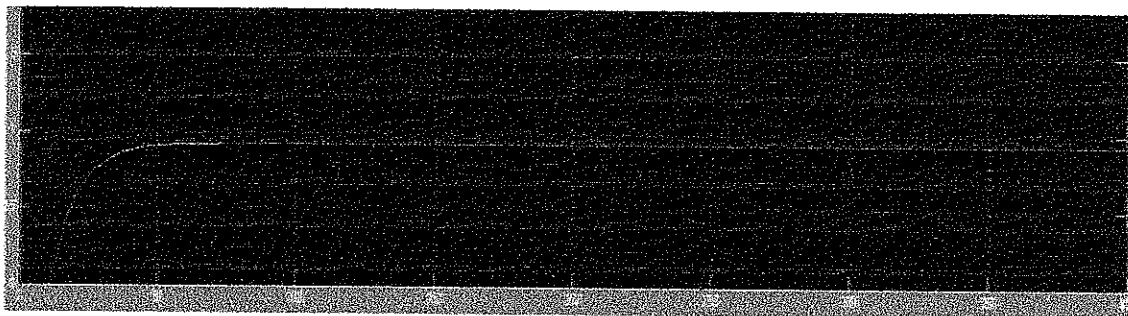


Figura 51. Respuesta obtenida de la simulación de la figura 51.
Fuente: Autores

Análisis de respuesta al escalón unitario para el sistema discreto,

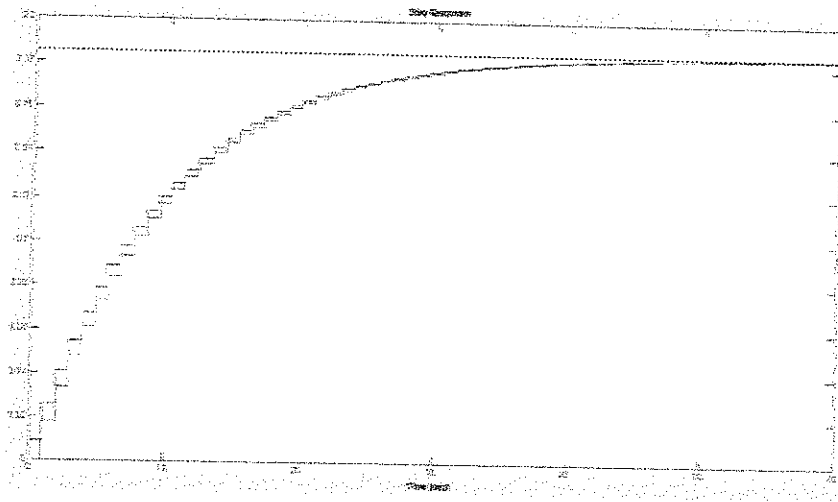


Figura 52. Respuesta escalón de la función de transferencia discreta, usando TUSTIN y ZOH
Fuente: Autores

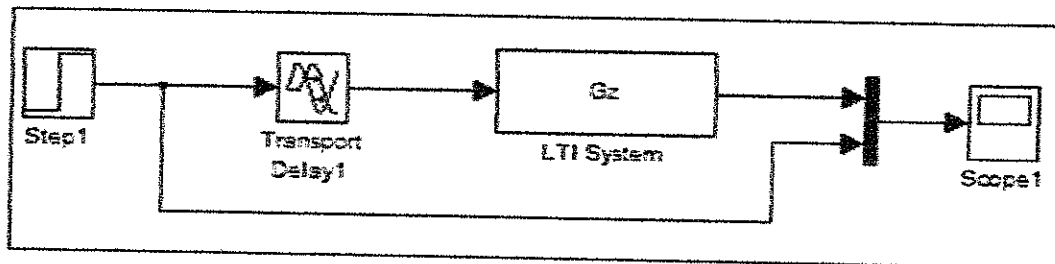


Figura 53. Diagrama de bloques en Simulink
Fuente: Autores

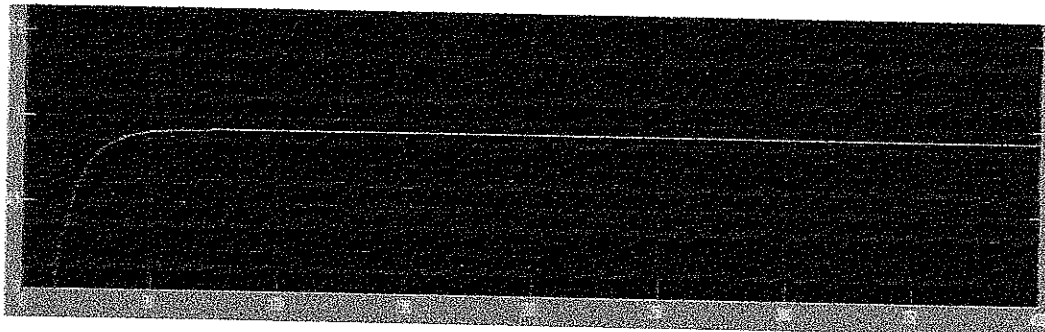


Figura 54. Respuesta obtenida de la simulación de la figura 54.
Fuente: Autores

7.8.5. Análisis de Estabilidad del Sistema en tiempo continuo (Routh Hurwitz, Rlocus, Bode, Nyquist). Análisis soportado con simulación en Workspace de Matlab. Conclusiones

- Routh:

No es necesario realizar todo el procedimiento ya que es una función de transferencia de primer orden, por lo tanto se concluye que como no hay cambio de signo en el denominador y tiene sus polos definido es estable.

- Rlocus

```
>> Gs=tf([0.01952],[1 0.1053])
```

Transfer function:

$$\frac{0.01952}{s + 0.1053}$$

$$s + 0.1053$$

```
>> roots([1 0.1053])
```

ans = -0.1053

```
>> rlocus(Gs)
```

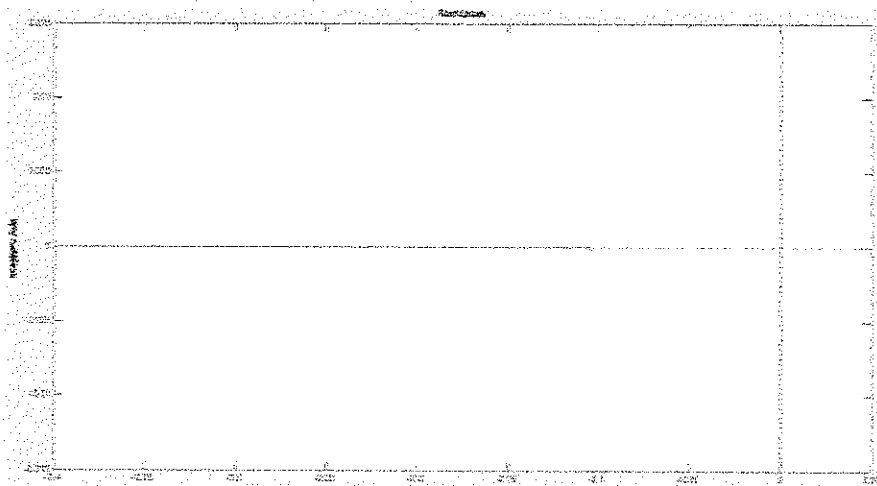


Figura 55. Respuesta de la función, graficando los polos de la función.
Fuente: Autores

```
>> bode(Gs)
```

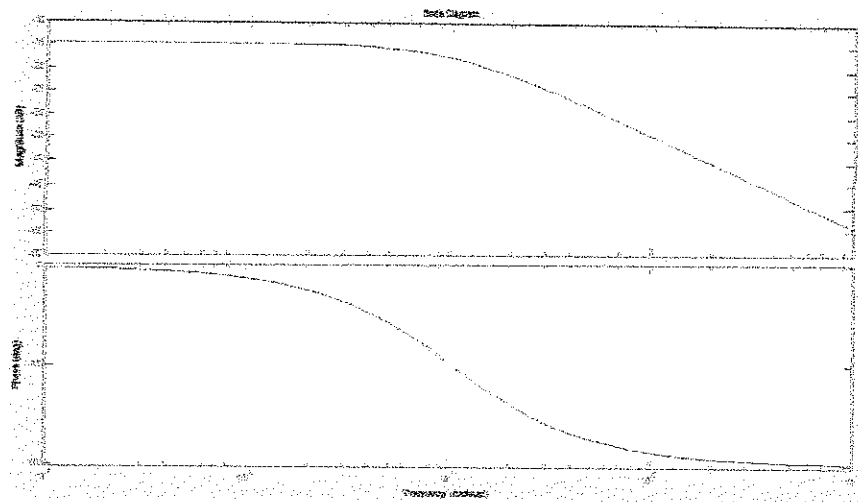


Figura 56. Diagrama de bode de la función de transferencia continúa
Fuente: Autores

```
>> nyquist(Gs)
```

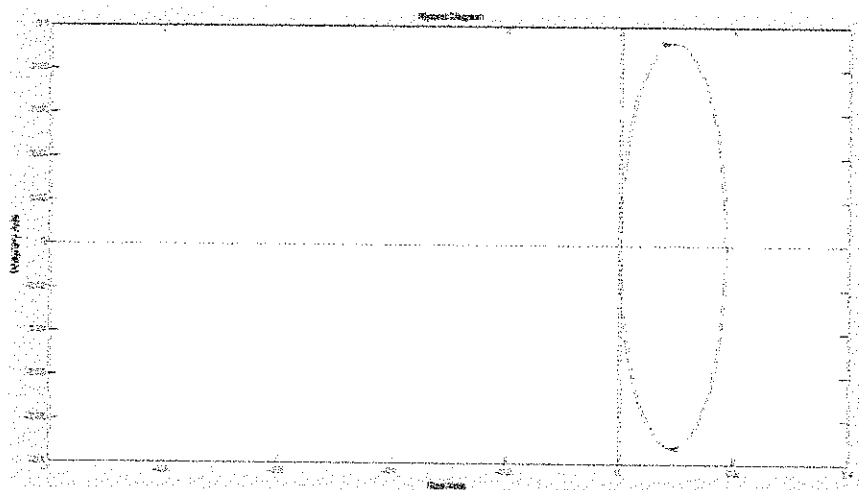


Figura 57. Diagrama de Nyquist de la función continúa
Fuente: Autores

Usando sisotool y variando la ubicación de los polos podemos obtener una nueva función de transferencia.

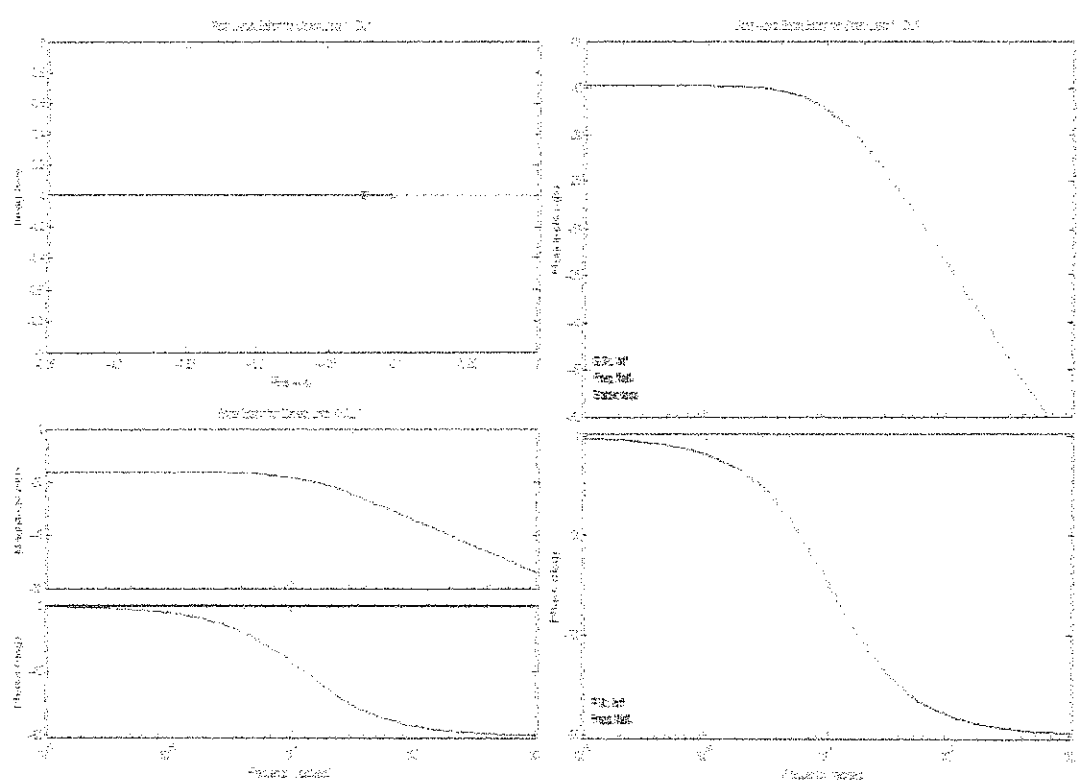


Figura 58. Gráficas obtenidas en sisotool.
Fuente: Autores

En el análisis de la estabilidad, vemos como cada uno de los métodos nos confirma la estabilidad de nuestro sistema, la herramienta rlocus nos permite gráficas el polo de nuestra función de transferencia observando que se encuentra al lado izquierdo del plano s. El análisis de Nyquist nos confirma dicha estabilidad ya que el polo no está encerrado en la circunferencia de radio 1.

7.8.6. Análisis de Estabilidad del Sistema en tiempo discreto (Jury, Rlocus, Bode, Nyquist). Análisis soportado con simulación en Workspace de Matlab. Conclusiones

```
>> Gz=c2d(Gs,0.95,'tustin')
```

Transfer function:

$$\frac{0.00883 z + 0.00883}{z - 0.9047}$$

$$z - 0.9047$$

Sampling time: 0.95

```
>> step(Gs); hold on; step(Gz)
```

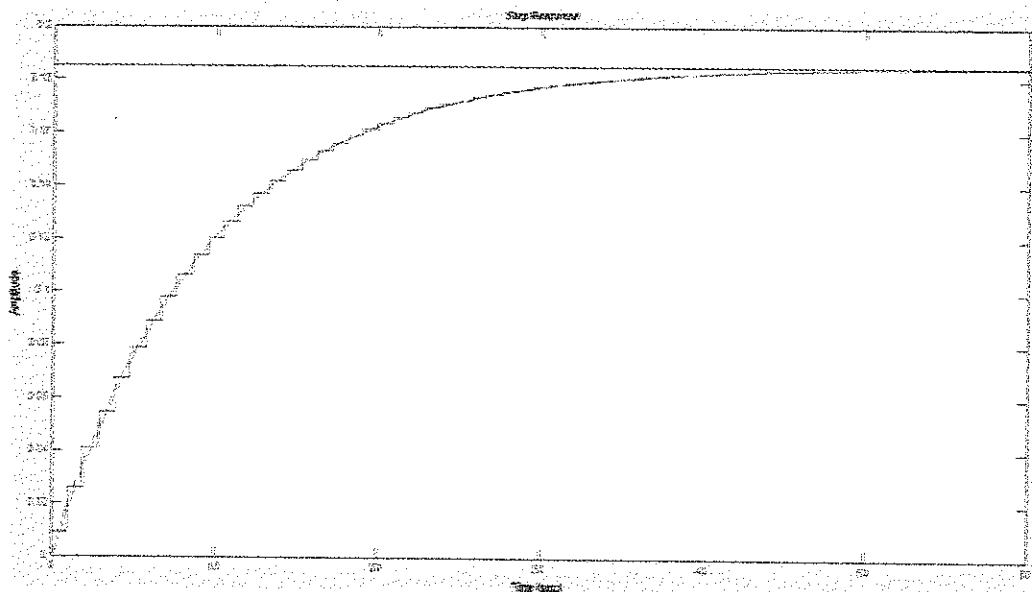


Figura 59. Respuesta escalón de la función discreta.
Fuente: Autores

▪ Jury

Como es de primer orden la planta no es necesario realizar el criterio de Jury porque no aplica.

▪ Rlocus

```
>> rlocus(Gz)
```

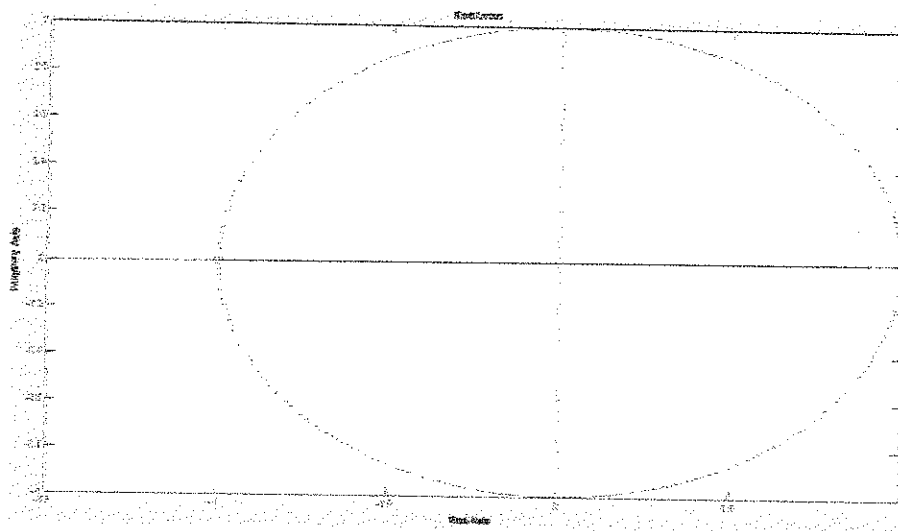


Figura 60. Respuesta escalón de la función discreta.
Fuente: Autores

>> bode(Gz)

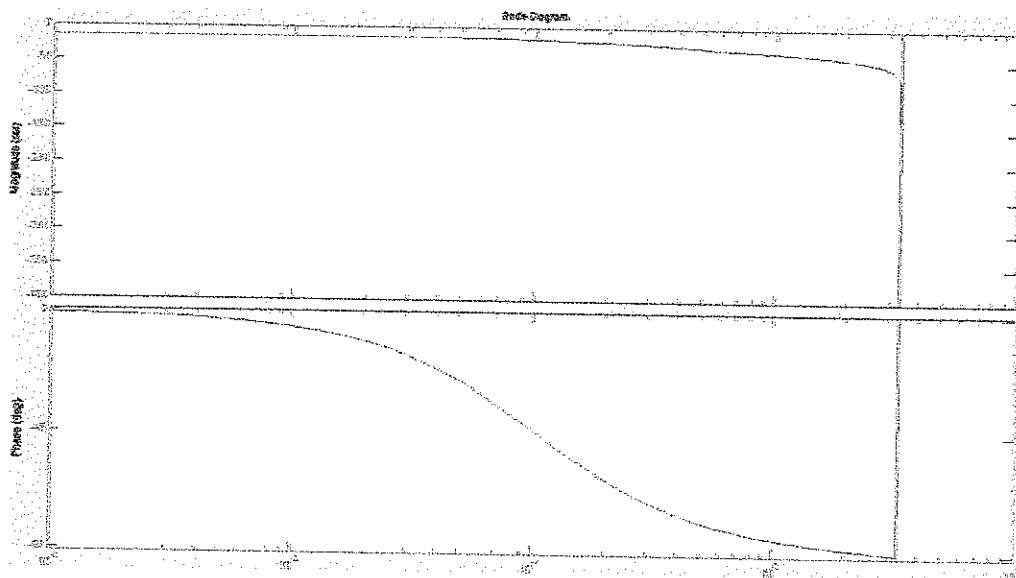


Figura 61. Diagrama de bode de la función de transferencia discreta
Fuente: Autores

>> nyquist(Gz)

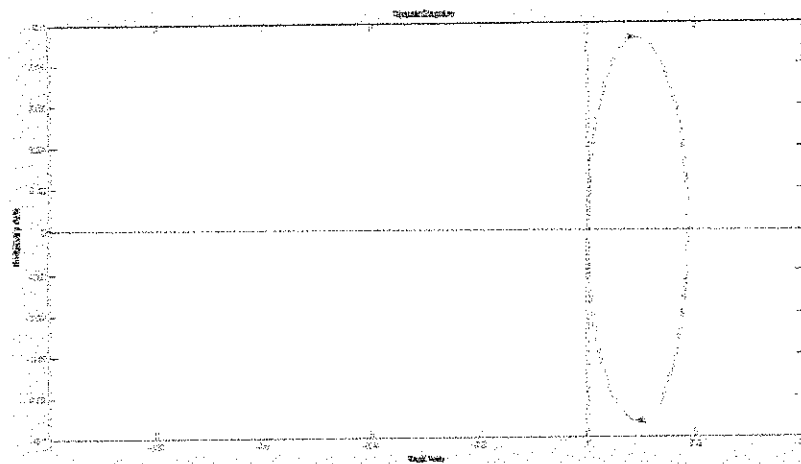


Figura 62. Diagrama de Nyquist de la función de transferencia discreta
Fuente: Autores

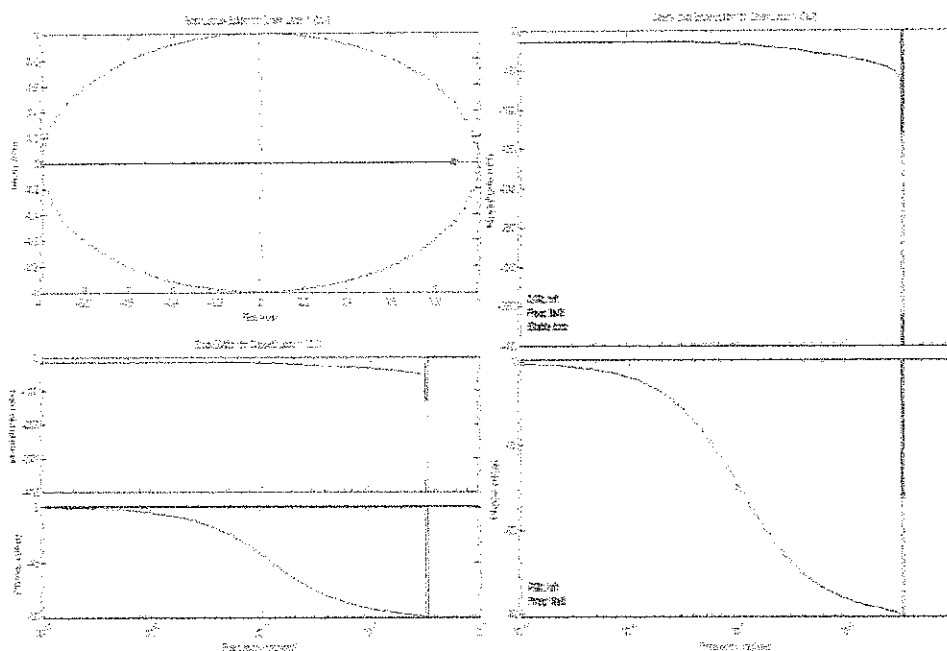


Figura 63. Respuestas obtenidas en sisotool.
Fuente: Autores

Al igual que en el modelo continuo, Matlab nos permite analizar por diferentes métodos la estabilidad de nuestro sistema. Concluyendo que tanto el sistema continuo como el discreto son estables y están listo para el diseño del controlador

análogo, discreto de adelanto de fase, de atraso de fase y por ecuaciones de estado.

7.8.7. Diseño de Controlador análogo y discreto PID, PD o PI. Definición de especificaciones del controlador en el dominio temporal. Justificación de la selección del mejor controlador (Desempeño en el dominio del Tiempo). Diseño analítico y soportado con simulación en Matlab, Simulink y sisotool. Conclusiones. Evaluación del desempeño del controlador

Controlador	KP	Ti	Td
P	$\frac{T}{KL}$		
PI	$\frac{0.9T}{KL}$	$3.33L$	
PID	$\frac{1.2T}{KL}$	$2L$	$0.5L$
PD	$\frac{1.2T}{KL}$		$0.5L$

Tabla 5. Constantes mediante curva de reacción Ziegler y Nichols
Fuente: Autores

Controlador	Kp	Ti	Td	Ki	Kd
P	3,20059933				
PI	2,8805394	3,07359		0,09371905	
PID	3,8407192	1,846	0,4615	0,20805629	17,7249191
PD	3,8407192		0,4615		17,7249191

Tabla 6. Constantes mediante curva de reacción Ziegler y Nichols, del sistema
Fuente: Autores

■ Controlador P:

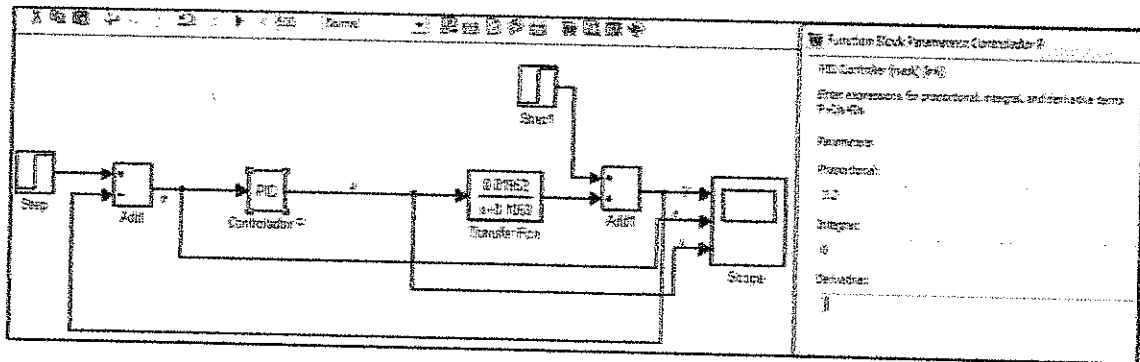


Figura 64. Diagrama de Bloques del controlador P
Fuente: Autores

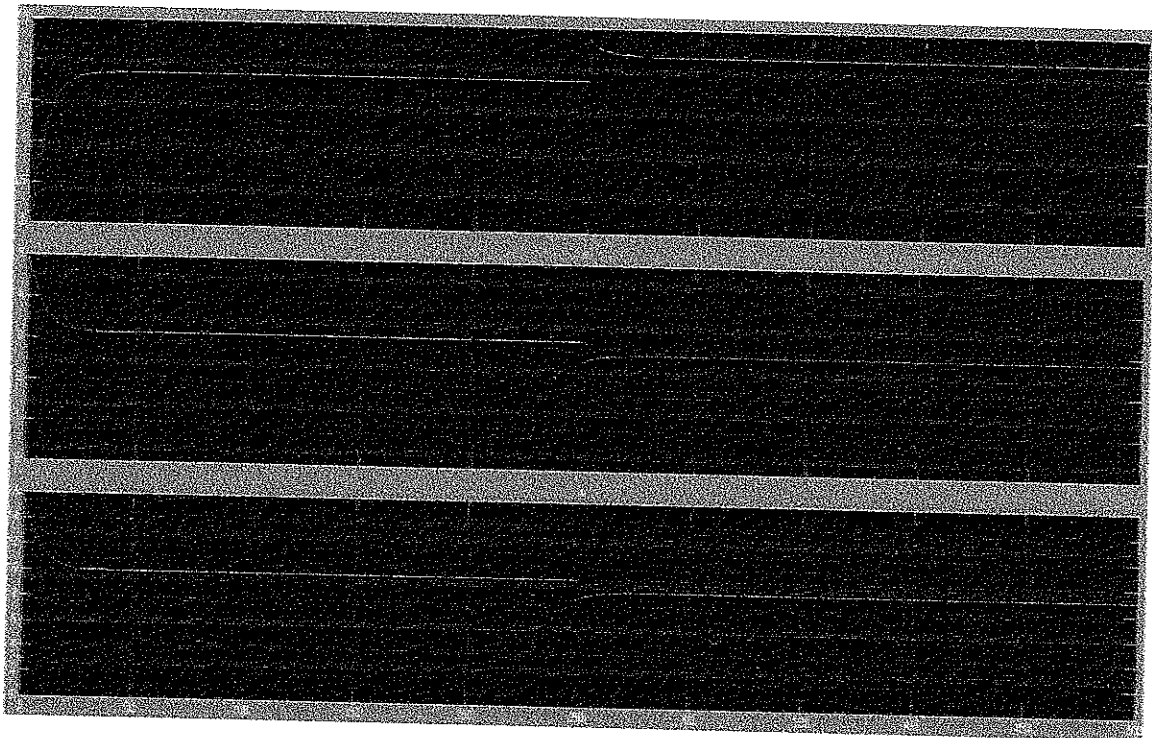


Figura 65. Señal de salida, señal de error y señal de control del controlador P
Fuente: Autores

▪ Controlador PI:

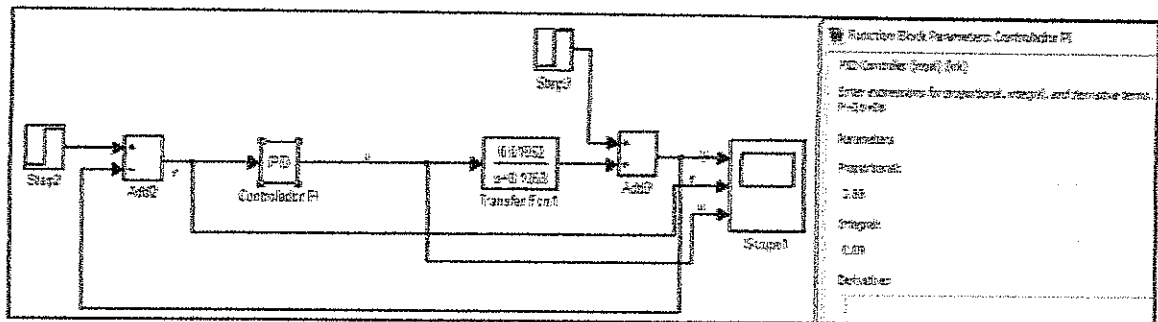


Figura 66. Diagrama de Bloques del controlador PI
Fuente: Autores

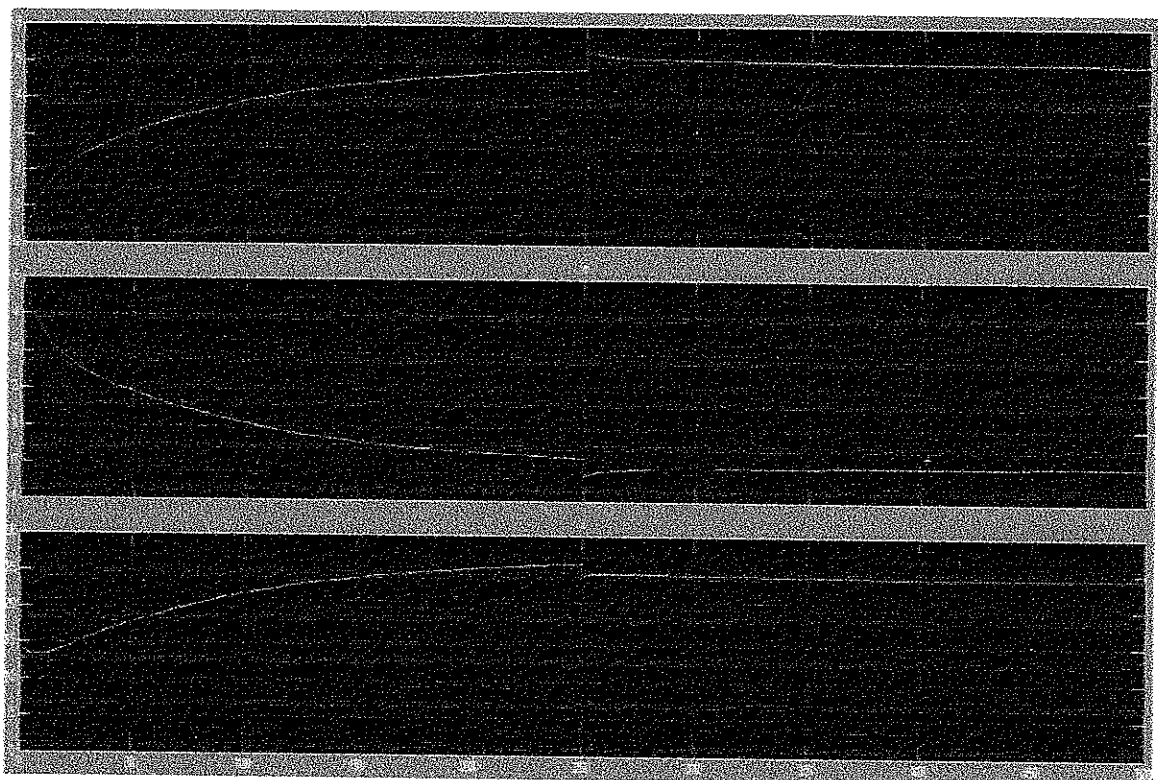


Figura 67. Señal de salida, señal de error y señal de control del controlador PI
Fuente: Autores

▪ Controlador PID:

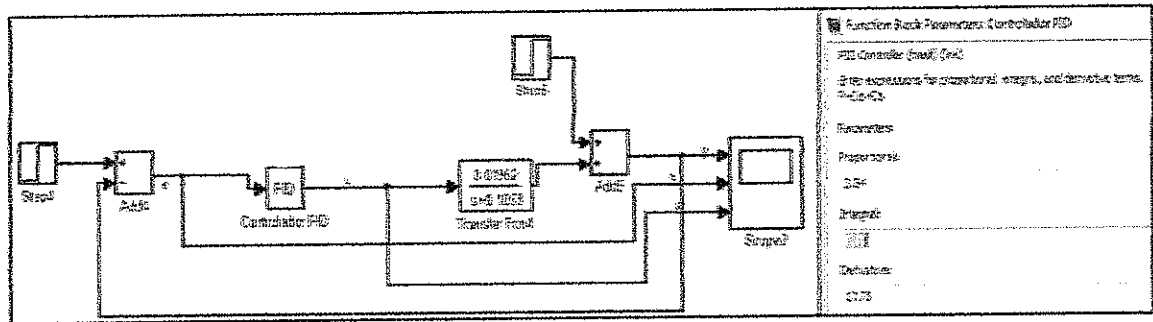


Figura 68. Diagrama de Bloques del controlador PID
Fuente: Autores



Figura 69. Señal de salida, señal de error y señal de control del controlador PID
Fuente: Autores

▪ Controlador PD:

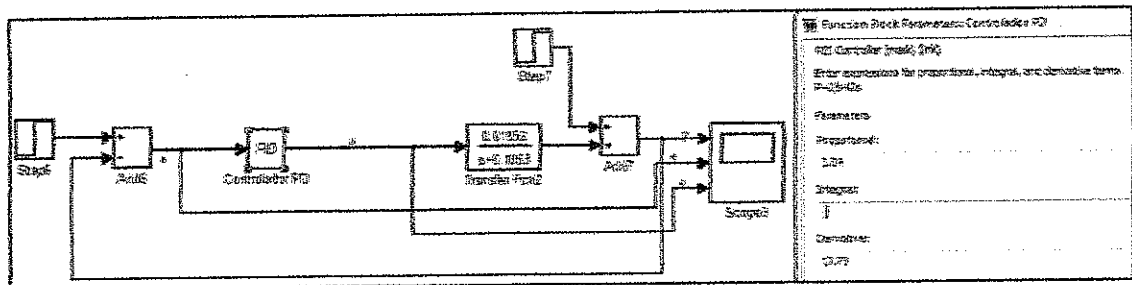


Figura 70. Diagrama de Bloques del controlador PD
Fuente: Autores

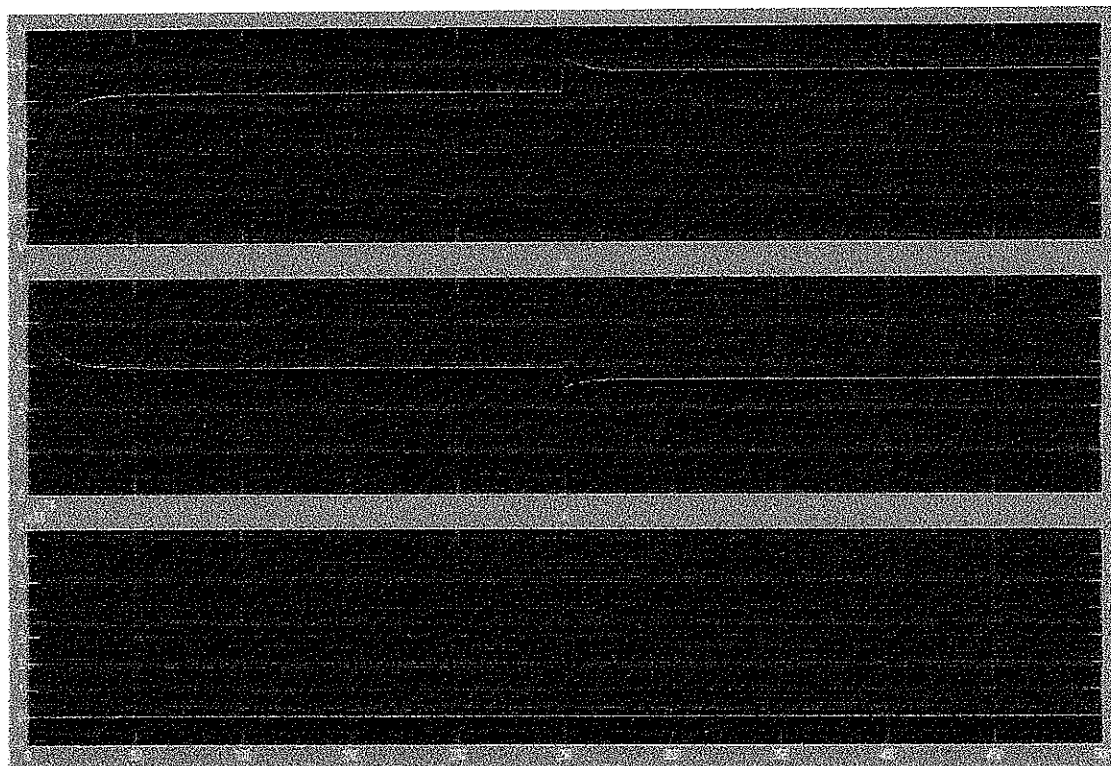


Figura 71. Señal de salida, señal de error y señal de control del controlador PD
Fuente: Autores

Evaluación del desempeño del controlador:

Controlador	Estable	Ess	Tiempo de respuesta	Tiempo de establecimiento	Respuesta a perturbaciones	Señal de Control	%Mp
P	SI	3.14	5	38	SI	0 A 16	IND
PI	SI	0	5	319	SI	0 A 26,8	IND
PID	SI	0	4,4	174,5	SI	0 A 6e14	IND
PD	SI	2.92	5.1	47,4	SI	0 A 6,3E14	IND

Tabla 7. Análisis de los cuatro controladores
Fuente: Autores

Hemos seleccionado el controlador PI, ya que presenta un error en estado estacionario de cero, su tiempo de respuesta es rápido y aunque su tiempo de establecimiento no es el mejor su señal de control puede llegar a ser implementable.

- Controlador PI, discreto:

```
>> Cs=tf([2.88 0.09],[1 0])
```

Transfer function:

$$\frac{2.88 s + 0.09}{s}$$

```
>> Cz=c2d(Cs,0.95,'tustin')
```

Transfer function:

$$\frac{2.923 z - 2.837}{z - 1}$$

 Sampling time: 0.95

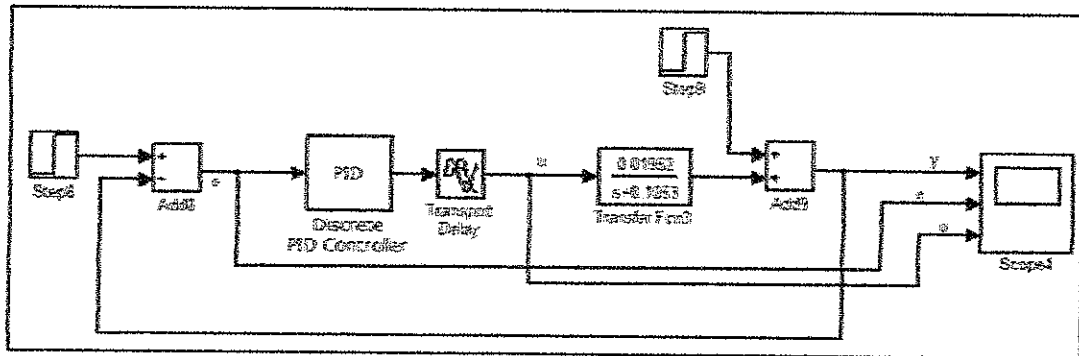


Figura 72. Diagrama de bloques con el controlador digital
Fuente: Autores

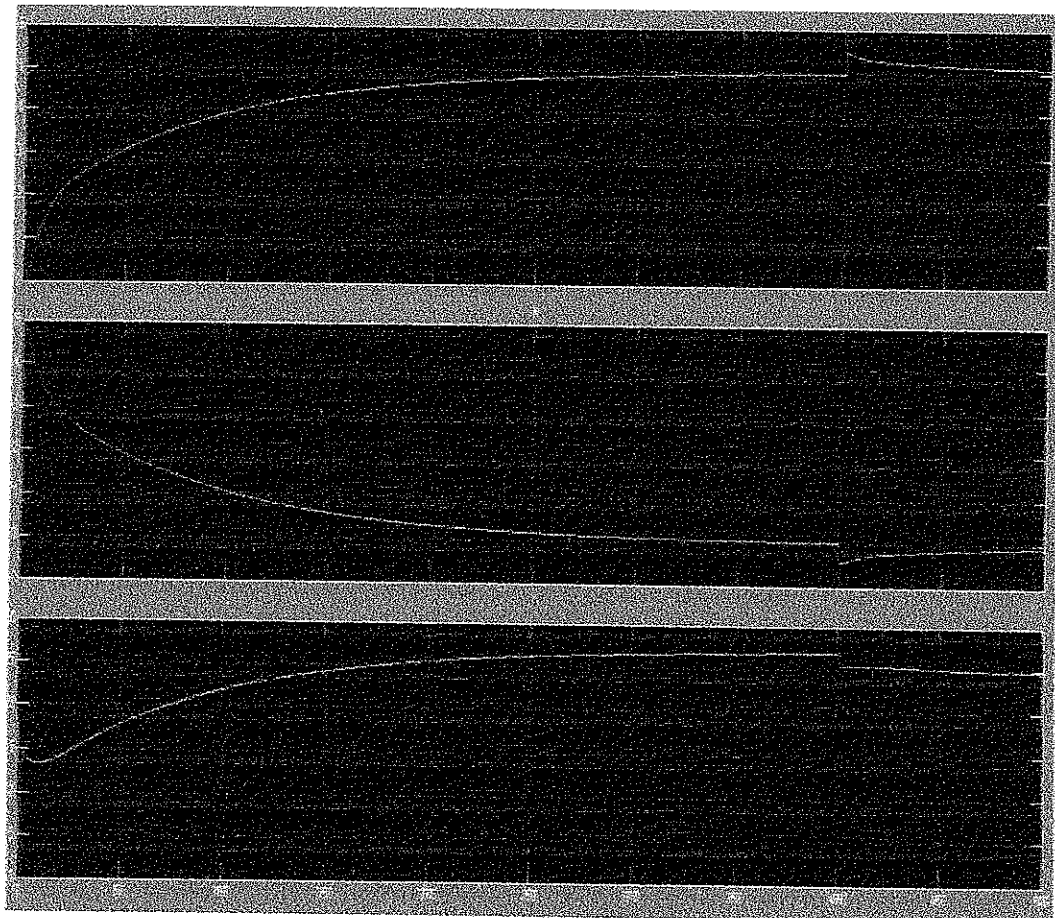


Figura 73. Señal de salida, señal de error y señal de control del controlador PI
discreto
Fuente: Autores

7.8.8. Diseño controlador en adelanto y en atraso análogo y discreto. Definición de especificaciones del controlador en el dominio frecuencial. Justificación de la selección del controlador (Desempeño en la frecuencia). Diseño analítico y soportado con simulación en Matlab, Simulink, Sisotool. Conclusiones

▪ Red en Atraso de Fase:

$$G(s) = \frac{0.01952}{s + 0.1053}$$

Las especificaciones que se tienen en cuenta son el error de estado estacionario de posición ya que se aplica un escalón a la entrada del sistema:

$$\varepsilon_{ssp} = 2\%$$

Normalizando la función:

$$\varepsilon_{ssp} = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{0.01952}{1 + kGH(s)} \cdot \frac{1}{s}$$

$$\varepsilon_{ssp} = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{0.01952}{1 + \frac{0.01952 k}{s + 0.1053}} \cdot \frac{1}{s}$$

$$\varepsilon_{ssp} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{0.01952}{\frac{s + 0.1053 + 0.01952 k}{s + 0.1053}}$$

$$\varepsilon_{ssp} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{0.01952 (s + 0.1053)}{s + 0.1053 + 0.01952 k}$$

$$\varepsilon_{ssp} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{0.01952 s + 0.0021}{s + 0.1053 + 0.01952 k}$$

Reemplazando el límite:

$$\varepsilon_{ssp} = \frac{0.0021}{0.1053 + 0.01952 k}$$

$$0.02 = \frac{0.0021}{0.1053 + 0.01952 k}$$

$$(0.1053 + 0.01952 k)0.02 = 0.0021$$

$$k = \frac{0.0021 - 0.002106}{0.0003904}$$

$$k = 0.01537$$

Por lo tanto la función normalizada es:

$$GN(s) = \frac{0.01952k}{s + 0.1053}$$

$$GN(s) = \frac{0.01952(0.01537)}{s + 0.1053}$$

$$GN(s) = \frac{0.0002998}{s + 0.1053} \quad \text{SISTEMA INESTABLE}$$

GN=tf([0.0002998],[1 0.1053])

bode(GN)

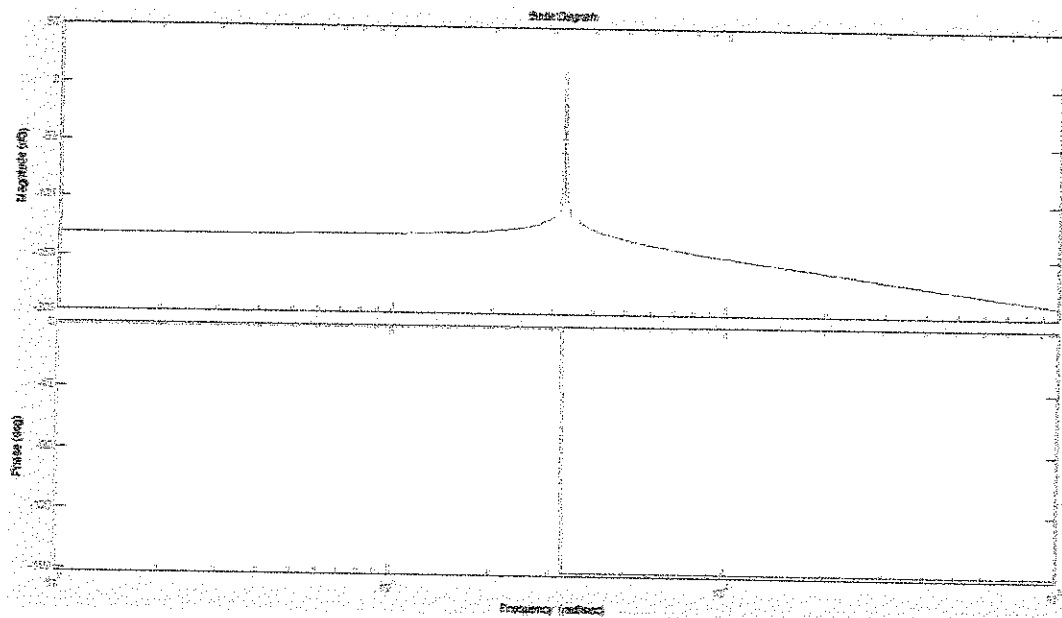


Figura 74. Diagrama de bode del compensador en atraso normalizado
Fuente: Autores

Cálculos de las variables:

$$MG = -71$$

$$MF = 180^\circ - |-88^\circ| = 92^\circ$$

Como se observa el sistema es inestable.

Hallando φ_m :

Asumimos un margen de fase deseado de 120° , un θ de 7° , y así encontramos las constantes del sistema:

$$\varphi_m = MFd + \theta - 180^\circ$$

$$\varphi_m = 120^\circ + 7^\circ - 180^\circ$$

$$\varphi_m = -59^\circ$$

Ubicamos este valor de grado en el diagrama de bode de fase y según la frecuencia, se ubica en la gráfica de magnitud para obtener dicho valor:

Magnitud= 0.195

Hallamos el parámetro β :

$$\beta = \frac{1}{\text{antilog} \left(-\frac{|G(jw)|}{20} \right)}$$

$$\beta = \frac{1}{\text{antilog} \left(-\frac{0.195}{20} \right)}$$

$$\beta = 1.023$$

Se cumple la condición de $\beta \gg 1$

Finalmente, hallamos T

$$\frac{1}{T} = \frac{w_c}{10} \quad w_c = 0.195$$

$$\frac{1}{T} = \frac{0.195}{10}$$

$$\frac{1}{T} = 0.0195$$

Reemplazando en la función de transferencia de la red de atraso de fase:

$$Cat(s) = k \frac{s + \frac{1}{\tau}}{s + \frac{1}{\beta * \tau}} \quad k = \frac{1}{\beta}$$

$$Cat(s) = 0.98 \frac{s + 0.0195}{s + 0.019061583}$$

$$Cat(s) = \frac{0.98s + 0.01911}{s + 0.019061583} \quad \text{SISTEMA ESTABLE}$$

`CAT=tf([0.98 0.01911],[1 0.019061583])`

`step(CAT)`

`bode(CAT)`

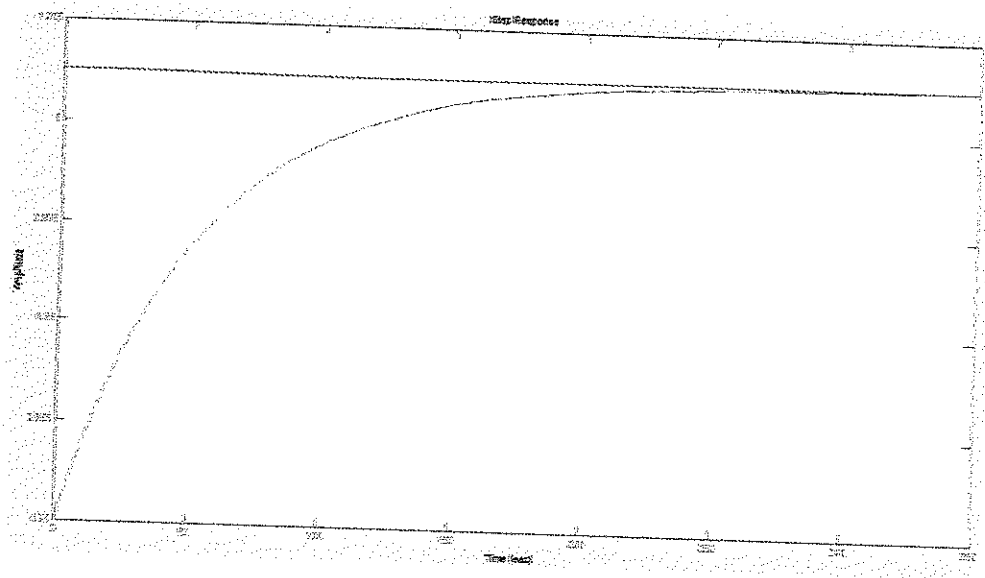


Figura 75. Respuesta escalón del compensador en atraso de fase
Fuente: Autores

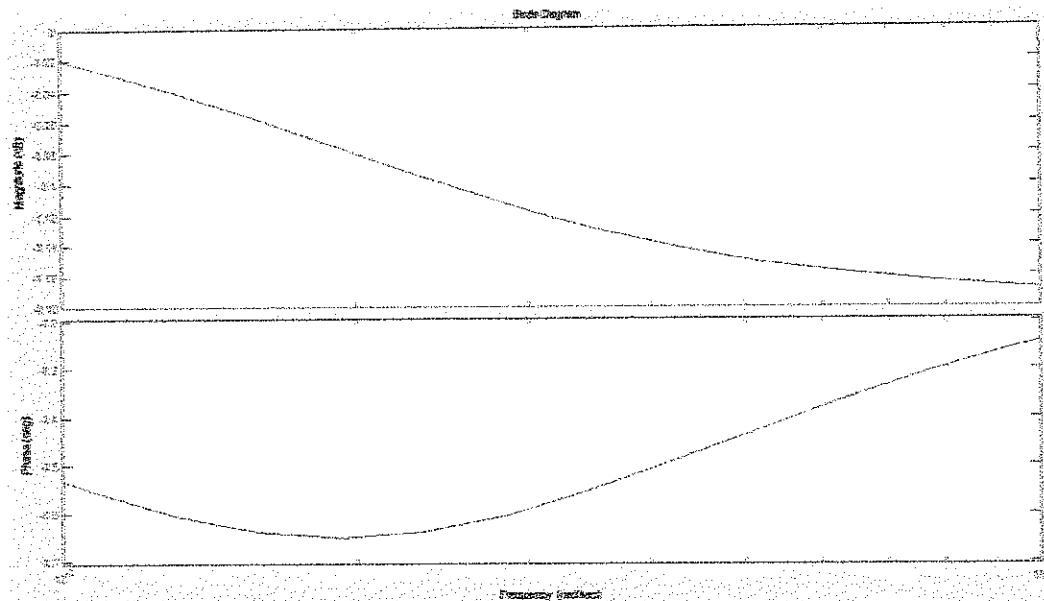


Figura 76. Diagrama de bode del compensador en atraso de fase
Fuente: Autores

- Red en Adelanto de Fase:

$$G(s) = \frac{0.01952}{s + 0.1053}$$

Las especificaciones que se tienen en cuenta son el error de estado estacionario de posición ya que se aplica un escalón a la entrada del sistema:

$$\varepsilon_{ssp} = 1\%$$

Normalizando la función:

$$\varepsilon_{ssp} = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{0.01952 (s + 0.1053)}{s + 0.1053 + 0.01952 k} \cdot \frac{1}{s}$$

$$\varepsilon_{ssp} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{0.01952 s + 0.002055456}{s + 0.1053 + 0.01952 k}$$

Reemplazando el límite:

$$\varepsilon_{ssp} = \frac{0.002055456}{0.1053 + 0.01952 k}$$

$$0.01 = \frac{0.002055456}{0.1053 + 0.01952 k}$$

$$(0.1053 + 0.01952 k)0.01 = 0.002055456$$

$$k = \frac{0.002055456 - 0.001053}{0.0001952}$$

$$k = 5.135532787$$

Por lo tanto la función normalizada es:

$$GN1(s) = \frac{0.01952k}{s + 0.1053}$$

$$GN(s) = \frac{0.01952(5.135532787)}{s + 0.1053}$$

$$GN(s) = \frac{0.1002456}{s + 0.1053} \quad \text{SISTEMA INESTABLE}$$

GN1=tf([0,1002456],[1 0,1053])

bode(GN1)

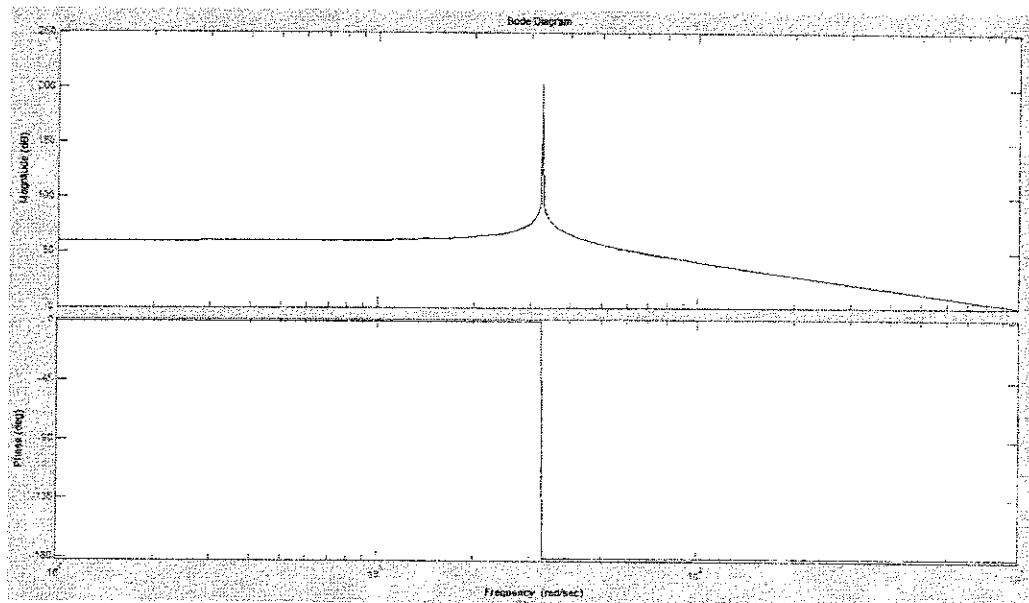


Figura 77. Diagrama de bode del compensador en adelanto normalizado
Fuente: Autores

Cálculos de las variables:

$$MF = 180^\circ - |-92^\circ| = 88^\circ$$

Como se observa el sistema es inestable.

Hallando φ_m :

Asumimos un margen de fase deseado de 120° , un θ de 10° , y así encontramos las constantes del sistema:

$$\varphi_m = MFd - MFsc + \theta$$

$$\varphi_m = 120^\circ - 88^\circ - 10^\circ$$

$$\varphi_m = 42^\circ$$

Hallamos el parámetro α :

$$\alpha = \frac{1 - \sin(\varphi_m)}{1 + \sin(\varphi_m)}$$

$$\alpha = \frac{1 - \sin(42^\circ)}{1 + \sin(42^\circ)}$$

$$\alpha = 0.198228582$$

Se cumple la condición de $\alpha > 1$

Hallamos la magnitud para el α , encontrado:

$$|G(jW_c)| = 10 \text{ Log}(\alpha)$$

$$|G(jW_c)| = 10 \text{ Log}(0.198228582)$$

$$|G(jW_c)| = -7.028337257 \text{ dB}$$

Al ubicar este valor tenemos una frecuencia de 32.5 rad/seg. Por lo tanto, hallamos el parámetro T:

$$w_c = \frac{1}{T\sqrt{\alpha}}$$

$$\frac{1}{T} = w_c \sqrt{\alpha}$$

$$\frac{1}{T} = \left(32.5 \frac{rad}{seg} \right) \sqrt{0.198228582}$$

$$\frac{1}{T} = 14.46993226$$

Reemplazando en la función de transferencia de la red de adelanto de fase:

$$Cad(s) = k \frac{s + \frac{1}{\tau}}{s + \frac{1}{\alpha * \tau}} \quad k = \frac{1}{\alpha}$$

$$Cad(s) = 5.044681195 \frac{s + 14.46993226}{s + 72.99619609}$$

$$Cad(s) = \frac{5.044681195 s + 72.99619517}{s + 72.99619609} \quad \text{SISTEMA INESTABLE}$$

CAD=tf([5.044681195 72.99619517],[1 72.99619609])

step(CAD)

bode(CAD)

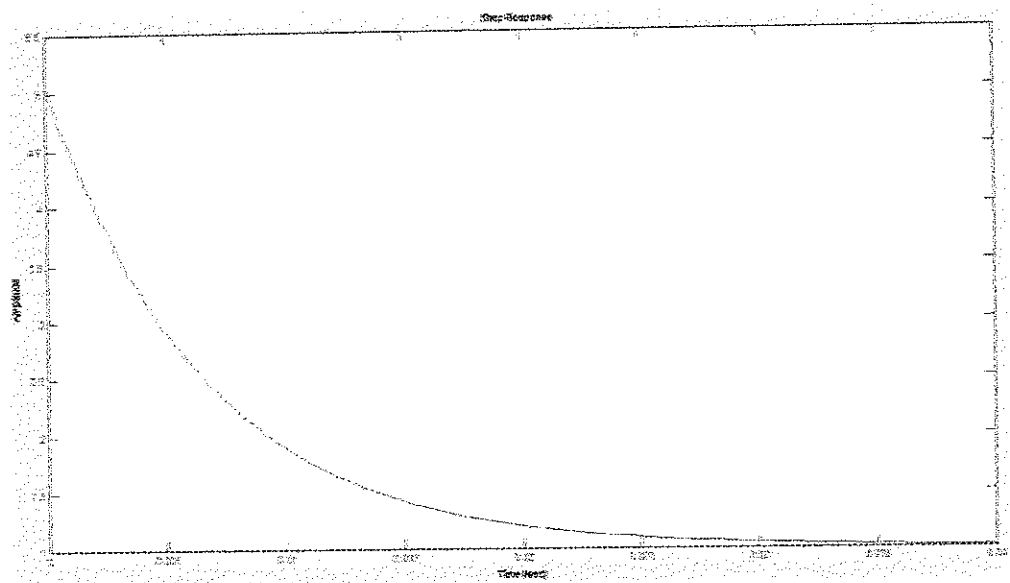


Figura 78. Respuesta al escalón del compensador en adelanto de fase
Fuente: Autores

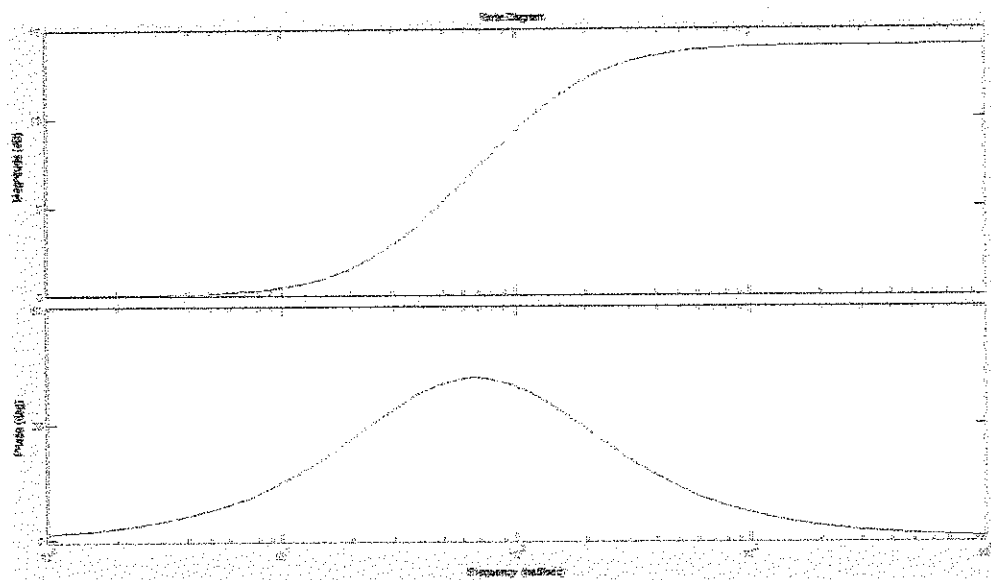


Figura 79. Diagrama de bode del compensador en adelanto de fase
Fuente: Autores

7.8.9. Diseño de controlador en Espacio de Estados del sistema. Análisis de Controlabilidad y Observabilidad. Diseño por realimentación de variables de estado. Diseño analítico y soportado con simulación en Matlab, Simulink y Sisotool. Conclusiones.

```
G=tf([0.01952],[1 0.1053])
```

```
roots([1 0.1053])
```

```
[A,B,C,D]=tf2ss(0.01952,[1 0.1053])
```

```
eig(A)
```

```
MC=ctrb(A,B)
```

```
rank(MC)
```

```
MO=obsv(A,C)
```

```
rank(MO)
```

```
polos=[-0.1053]
```

```
G=place(A,B,polos)
```

```
T=C*(-A+B*G)^(-1)*B
```

```
F=1/T
```

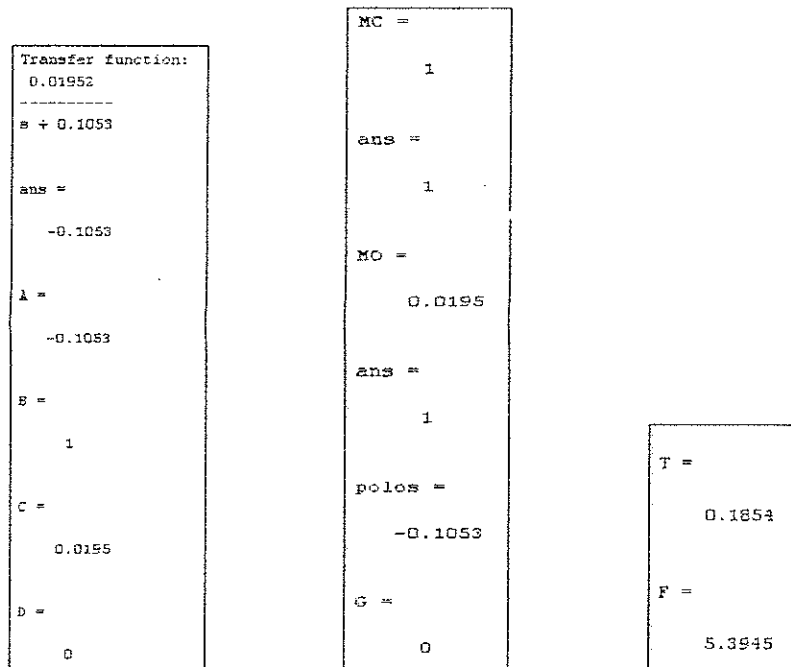


Figura 80. Ecuaciones de estado del sistema o planta
Fuente: Autores

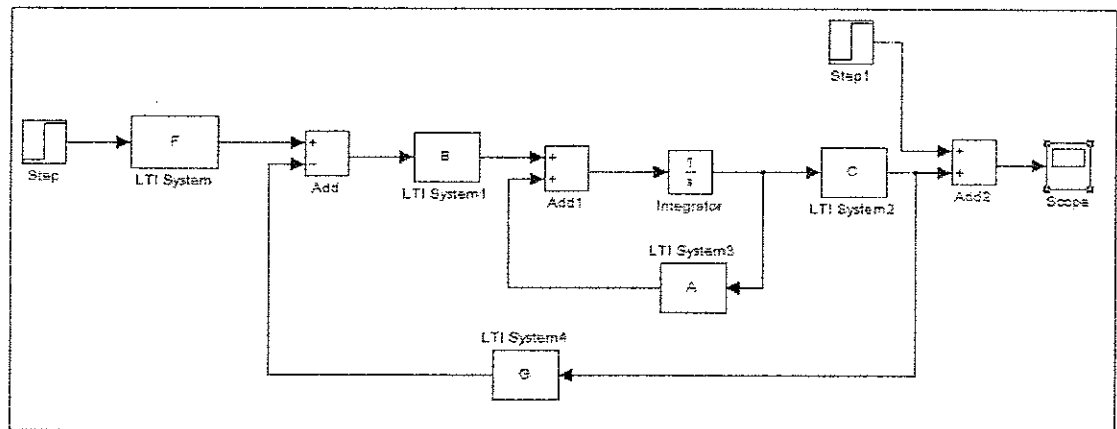


Figura 81. Diagrama de bloques al aplicar variables de estado.
Fuente: Autores



Figura 82. Respuesta obtenida en el osciloscopio, de las ecuaciones de estado.
Fuente: Autores

8. Evaluación Desempeño del Controlador implementado.

Al realizar pruebas de controlador ya con todo el sistema implementado, obtuvimos una excelente respuesta eliminando prácticamente el tiempo muerto o tiempo de arranque del motor.

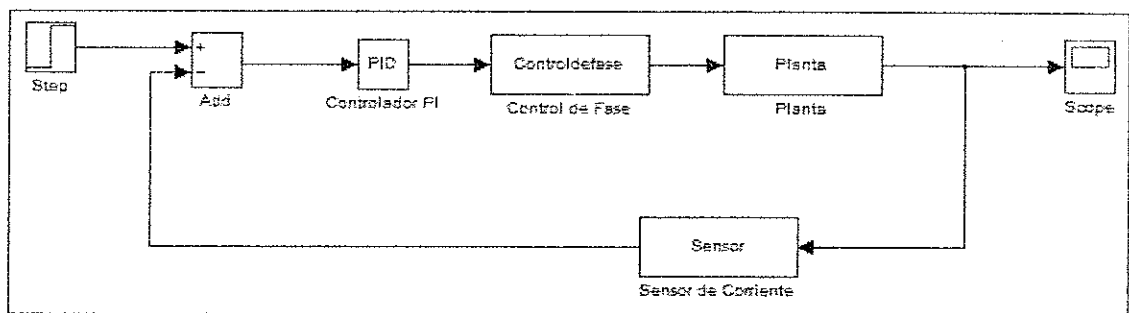


Figura 83. Diagrama de bloques del procedimiento realizado.
Fuente: Autores

Para obtener esta respuesta el rango de salida del PID, debe oscilar entre 1 y 1.5 de manera que el motor no se force en el arranque, esto hará que suba a una velocidad media, si lo variamos hasta 4, el motor se detiene rápidamente, y si se coloca en un rango que tienda a cero arrancará más rápido pero forzado.

9. OTROS APORTES DERIVADOS DEL TRABAJO

Como resultado obtenido se generó un prototipo el cual se encuentra en condiciones óptimas para utilizarse en entornos industriales en los cuales las condiciones de trabajo son extremas, el prototipo cuenta con la implementación tanto electrónica como mecánica necesaria y cumple con las normas de seguridad industrial para los trabajados en alturas y demás riesgos a los cuales se ven expuestos en sus labores diarias los operarios.

Esto garantiza que la mesa no se vaya a ver afectada por factores tanto externos como de mal manejo de la misma teniendo en cuenta variables muy importantes como lo son: el nivel del aceite hidráulico con el cual se alimenta tanto la bomba como el pistón, y el peso soportado sobre la estructura ya que de sobre pasar estas condiciones el esfuerzo de la mesa va a aumentar y por ende se van a aumentar los niveles de potencia lo que puede llegar a generar corto circuitos.

9.1. Instrumento Virtual, para la variación del peso:

Para crear un instrumento virtual en el software Labview, se debe tener en cuenta la variable que se desea medir, para una correcta selección del visualizador. Ya teniendo la señal de voltaje de la celda de carga medida en el multímetro y seguros del rango que esta tiene, se dará paso a la configuración de la tarjeta de adquisición.

Se selecciona DAQ Assistant, Acquire Signal, Voltage y se espera a que el software reconozca la tarjeta.

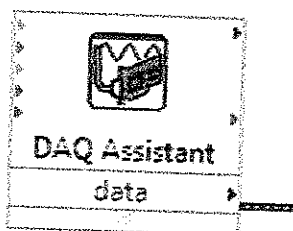


Figura 84. Bloque para la interacción con la tarjeta de adquisición
Fuente: Autores

Ahora aparece la siguiente ventana de configuración, en donde se establecen parámetros como rango de la señal de entrada, unidades, configuración del terminal, y número de muestras que lee.

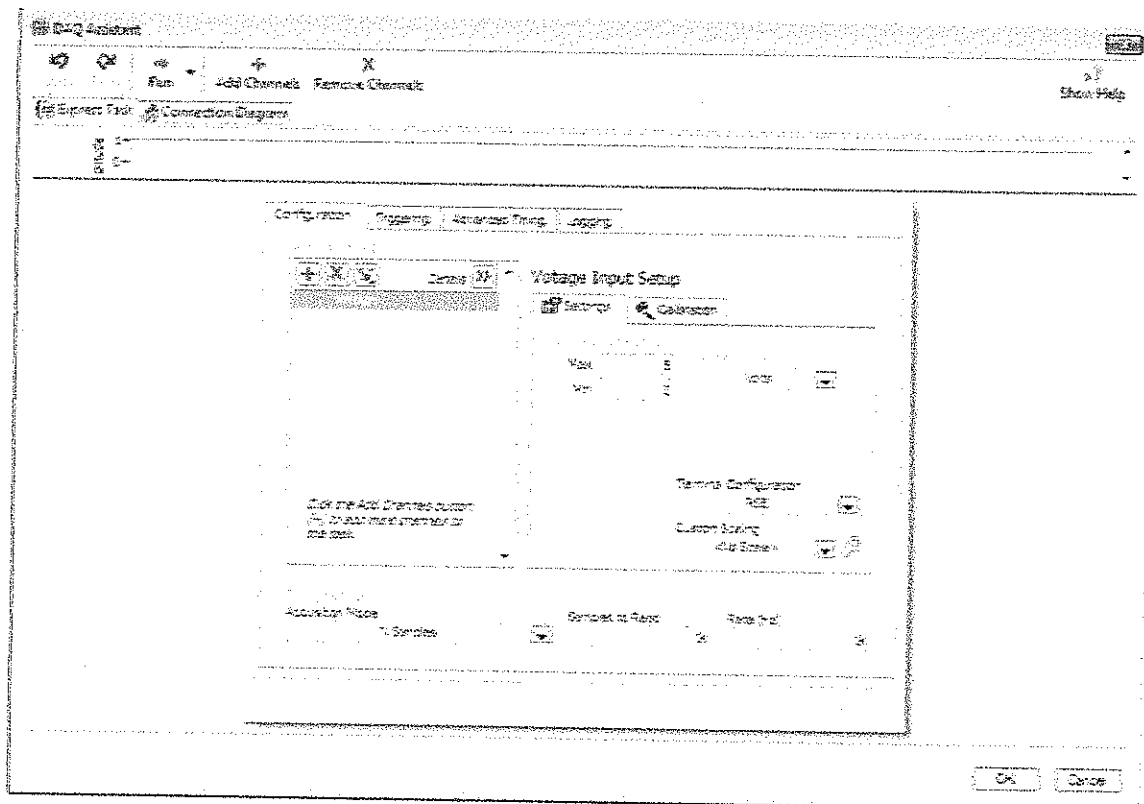


Figura 85. Configuración de parámetros de la tarjeta
Fuente: Autores

Adicional a esto la tarjeta permite ver como se debe hacer la conexión de la señal que se está adquiriendo según la configuración de terminal seleccionada, con el fin de evitar daños en los puertos de la tarjeta.

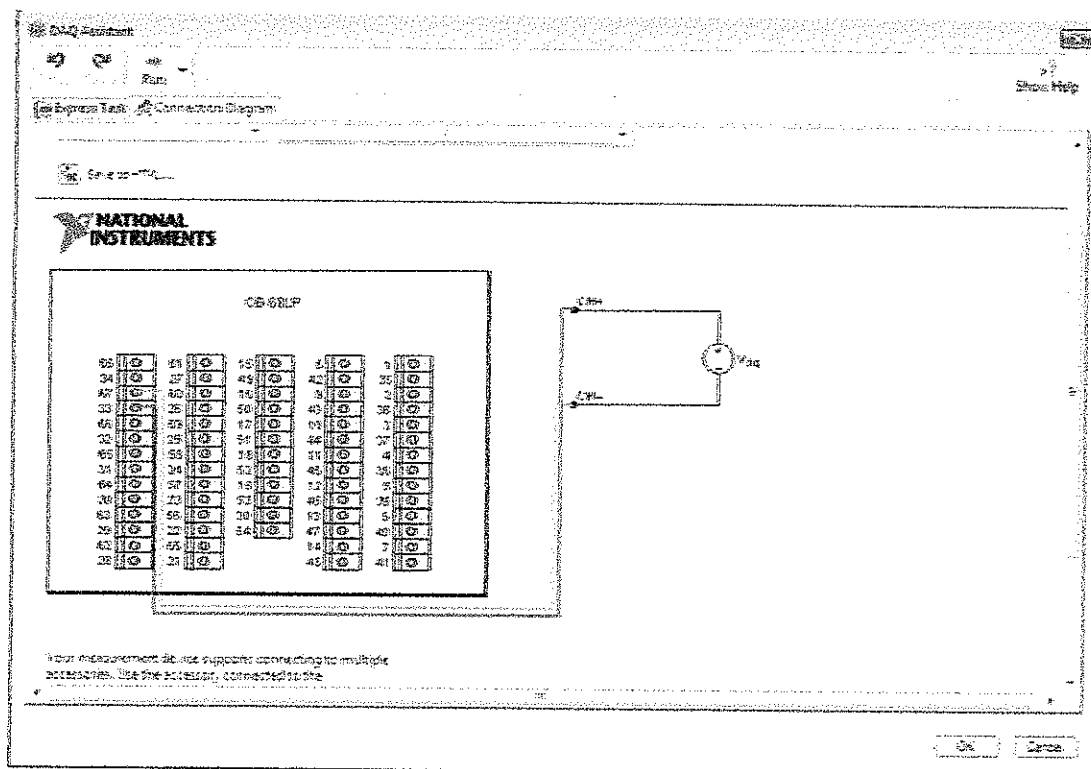


Figura 86. Esquema de la conexión de la señal de entrada
Fuente: Autores

Ahora, se hace la visualización de la señal mediante un indicador numérico, una tabla que nos muestra fecha y hora y una gráfica.

Adicional a esto, se divide en 0,4 ya que se tiene una relación de 4 mV, por cada kilogramo, esto según características técnicas de la celda de carga.

A la salida del divisor, se coloca una Estructura "Case", la cual permite seleccionar las diferentes unidades de visualización de la celda de carga. Se selecciona kilogramos, gramos y libras y en las siguientes imágenes se observa la estructura del diagrama de bloques:

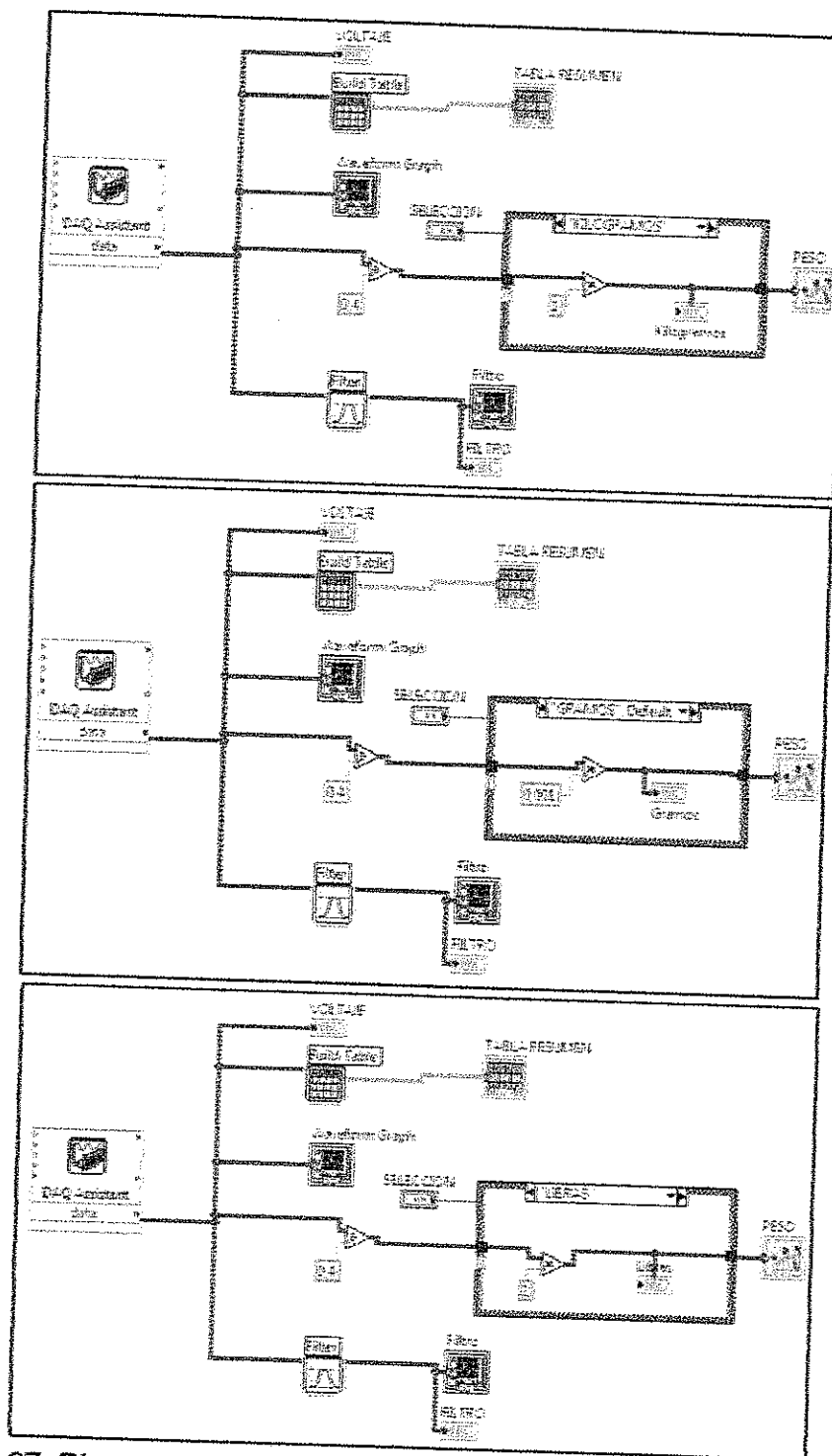


Figura 87. Diagrama de bloques en Labview, para la adquisición del peso.
Fuente: Autores

Es importante anotar que a la salida de la estructura CASE, se coloca el indicador gráfico que permite simular una báscula. Adicional a esto se coloca un filtro a la señal para quitar el ruido que se mezcla con la señal de entrada de la celda de carga.

Para obtener una selección de las unidades en el panel frontal, se coloca un "Enum", y dándole clic derecho, propiedades se pueden crear las ventanas necesarias para el proceso, como se muestra en la siguiente sub-ventana:

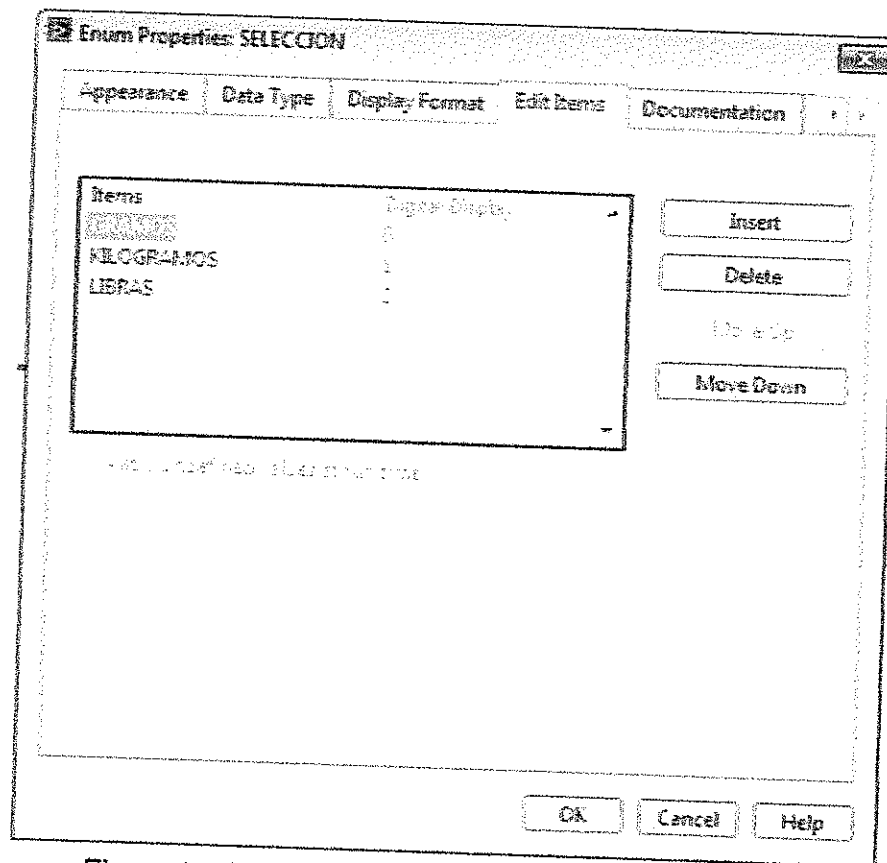


Figura 88. Modificación de las propiedades del Enum
Fuente: Autores

Para terminar se organiza una interfaz amigable con el usuario, mediante el panel frontal de Labview, En donde se puede ver la gráfica de la señal de voltaje, la señal filtrada, la tabla con los datos de voltaje, el indicador de báscula, el que permite seleccionar la unidad y los diferentes indicadores numéricos.

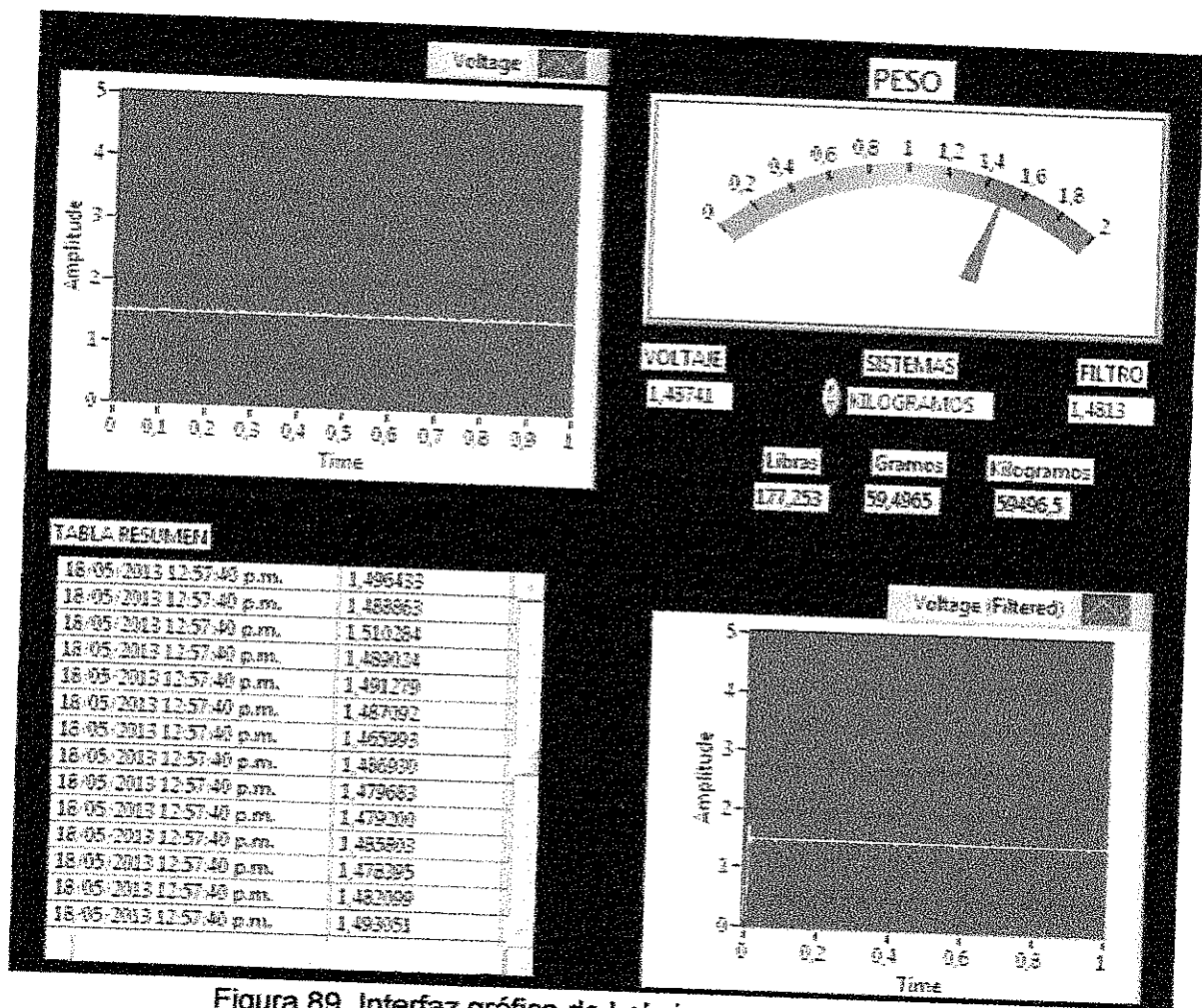


Figura 89. Interfaz gráfica de Labview o panel frontal
Fuente: Autores

En la siguiente imagen se observa la interfaz pero ya en simulación, se ven la variación de las gráficas y los diferentes indicadores

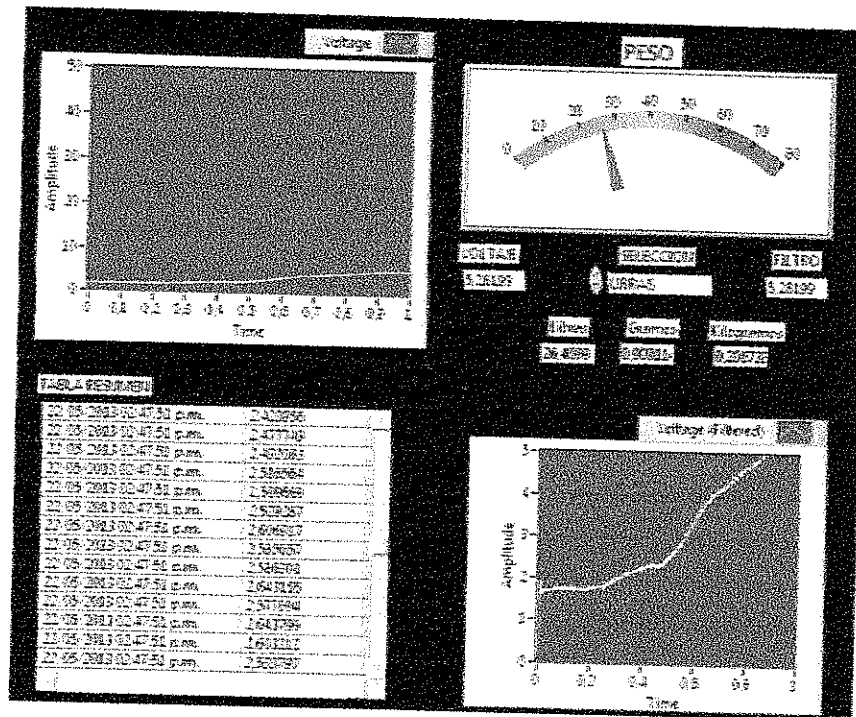


Figura 90. Interfaz gráfica de Labview o panel frontal en simulación
Fuente: Autores

En esta imagen se observa más explícitamente la variación de los datos según la unidad que se esté seleccionado y su respectiva indicación en la báscula.

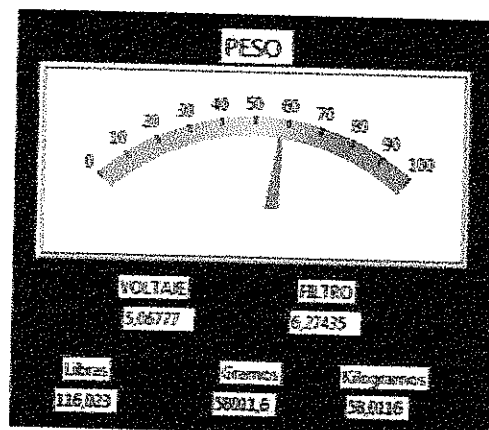


Figura 91. Indicador de báscula e indicadores numéricos
Fuente: Autores

En la siguiente imagen se observa el circuito implementado, según lo explicado anteriormente, un amplificador de instrumentación, un amplificador con ganancia y un offset para la señal de entrada en la tarjeta de adquisición

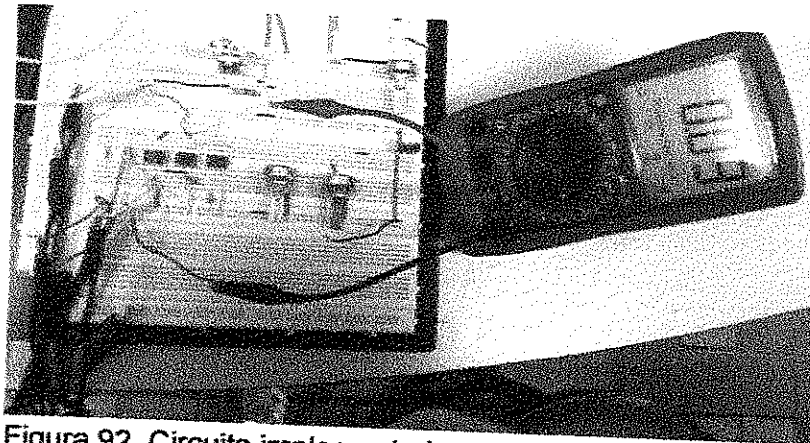


Figura 92. Circuito implementado para la obtención de datos
Fuente: Autores

9.2. Proceso de calibración del sensor de corriente de efecto Hall:

Adicionalmente, se hicieron pruebas para determinar la corriente consumida por el motor las cuales se hicieron con un sensor de efecto Hall en donde su funcionamiento consta de la relación entre los campos magnéticos y la corriente circulante.

Para el proceso de calibración, se tienen en cuenta los siguientes pasos:

- *Identificar la variable a medir:* Como se nombró anteriormente, el ideal era medir la presión que circula por las mangueras con el fin de calibrar dichos valores. Sin embargo, debido a la dificultad al conseguir el sensor de presión, se optó por escoger otra variable, por lo cual se seleccionó la corriente que consume el motor como variable a medir en el sistema.
- *Identificación del rango de medida:* Para determinar el rango se activa el control de fase del motor y se observa mediante la pinza Amperimétrica el valor máximo que alcanza, sabiendo que el mínimo será cero. Realizando estos análisis se obtuvo un rango de 0 a 3 A.

- *Identificar los elementos presentes en la medición:* Para determinar estos elementos se tienen en cuenta las características de resolución de cada uno de los instrumentos. El patrón seleccionado fue la pinza amperimétrica porque tiene una resolución de 1 A, mayor a la del mesurando, y el mensurando es el sensor de corriente ya que presenta una menor resolución de 10mV por cada 1A. Las magnitudes de influencia se consultaron en una página confiable donde se daba el dato de temperatura y humedad en Tunja.
- *Completar los formatos:* Para empezar a llenar los datos de los formatos, se hallaron los valores del 0%, 20%, 40%, 60%, 80% y 100%, según el rango establecido y se realizaron dos mediciones descendentes y dos ascendentes. Teniendo esto se pudo completar correctamente cada formato.

Es importante tener en cuenta, que los valores obtenidos por el sensor, se deben multiplicar por 10, ya que esta es la relación que presenta el comportamiento típico del sensor.

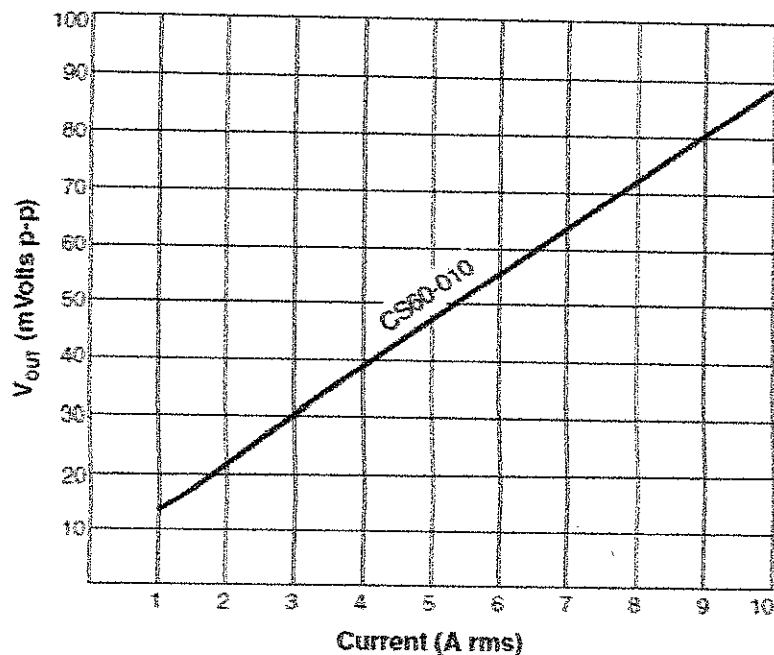


Figura 93. Comportamiento típico del sensor de corriente CS60
Fuente: Autores

9.3. Acondicionamiento del Sensor de Corriente de efecto hall:

Para adquirir la señal del sensor de corriente se utilizó el amplificador de instrumentación AD620 el cual brinda una ganancia de 1 a 1000 según la resistencia de alimentación que se coloque.

Para los cálculos de la ganancia se utilizó la ecuación dada en la hoja técnica del amplificador, la cual expresa que internamente tiene una resistencia de $49.4\text{ K}\Omega$ y acudiendo a las ecuaciones de amplificadores operacionales se tiene:

$$G = \frac{49.4\text{ K}\Omega}{R_G} + 1$$

$$G = \frac{49.4\text{ K}\Omega}{150\text{ }\Omega} + 1$$

$$G = 330$$

Conociendo que el sensor presenta variaciones de 0.07 voltios hasta un voltio aproximadamente, entonces se realiza la simulación como se observa en la siguiente imagen:

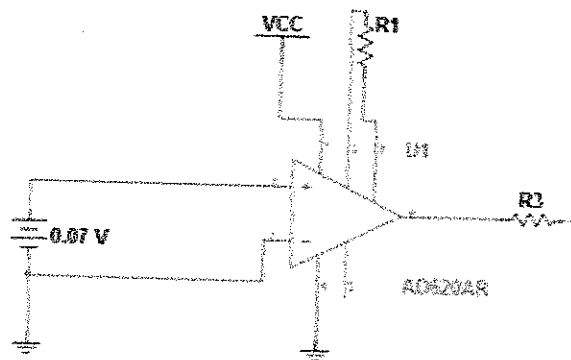


Figura 94. Amplificador de instrumentación para el sensor de corriente
Fuente: Autores

Pero al observar la salida del amplificador se nota que éste genera un offset a la señal por lo que se debe ajustar mediante un amplificador operacional sencillo para atenuar este offset, entonces se usa un LM741 el cual da esta característica, y su conexión se realiza como se observa en la siguiente imagen

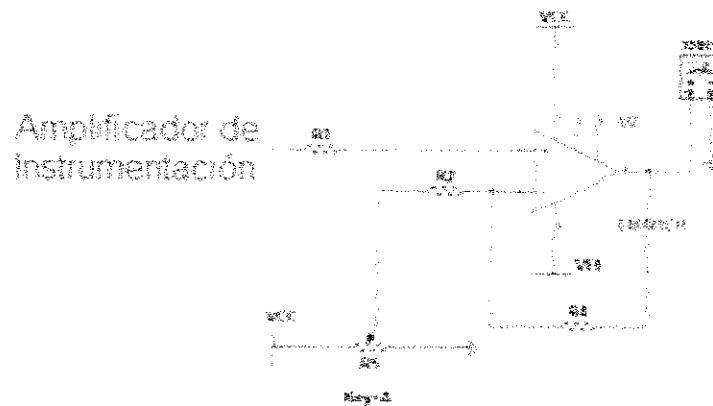


Figura 95. Circuito de offset del sensor
Fuente: Autores

En la siguiente imagen se observa el circuito finalmente implementado y como variando la entrada (salida del sensor) varia proporcionalmente la señal de salida.

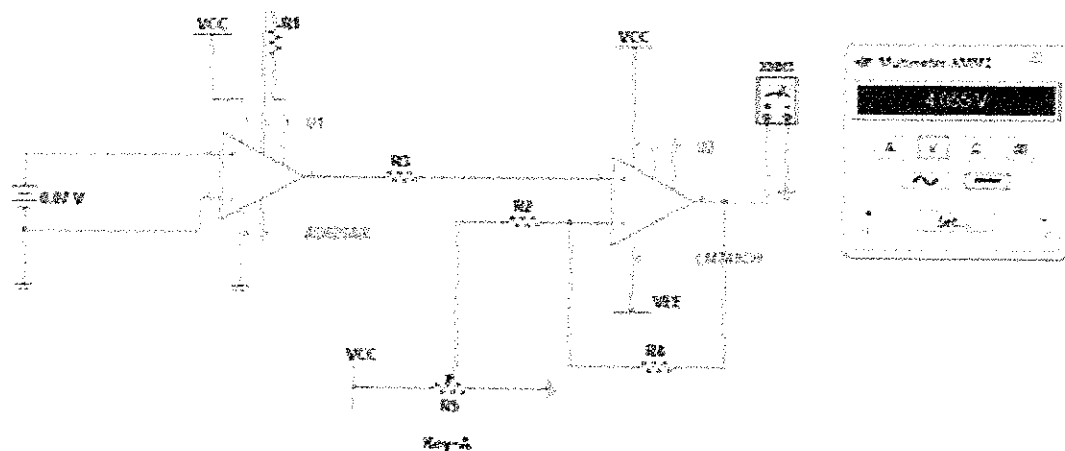


Figura 96. Circuito implementado para el sensor de corriente
Fuente: Autores

9.4. Eventos de participación

REDCOLSI REGIONAL

Modalidad: Ponencia

Lugar: Santo Rosa de Viterbo

REDCOLSI REGIONAL

Modalidad: Ponencia

Lugar: Duitama, Colegio Rafael Reyes

REDCOLSI NACIONAL

Modalidad: Ponencia

Lugar y Fecha: Montería, Universidad de Córdoba 12 de Octubre de 2013

TERCER CONGRESO INTERNACIONAL DE INSTRUMENTACIÓN, CONTROL Y
TELECOMUNICACIONES

Modalidad: Poster

Lugar y Fecha: Tunja, Universidad Santo Tomás 24 de Octubre de 2013

CONCLUSIONES

Como resultado obtenido se generó una plataforma la cual se encuentra en condiciones óptimas para utilizarse en entornos industriales en las cuales las condiciones de trabajo son extremas, la plataforma cuenta con la implementación tanto electrónica como mecánica necesaria y cumple con las normas de seguridad industrial para los trabajos en alturas y los demás riesgos a las cuales se ven expuestos en sus labores diarias los operarios.

La elección del material para construcción de la mesa, se hizo bajo conocimiento de un experto, ya que es una estructura que soporta 200 kg pero al mismo tiempo su peso debe ser liviano para que se pueda trasladar con facilidad al lugar que se necesite utilizar.

Antes de hacer conexiones y manipulaciones con los datos del bloque de la tarjeta de adquisición, es importante hacer simulaciones con las entradas ya que se debe corroborar que los datos varían conforme se manipulan en tiempo real, finalizadas estas pruebas se pueden manipular las señales por separado para su visualización.

Realizar procesos de calibración a los instrumentos, permite tener medidas muy cercanas al valor verdadero buscando reducir los errores. Además, permite conocer los rangos en que la medida es indeterminada, está dentro y fuera de especificaciones, para aprovechar los valores óptimos del instrumento.

Indagar y entender las normas de seguridad industrial que rigen este tipo de prototipos, permite aplicarlas en el diseño con el fin de vincular la estructura en ámbitos industriales sin correr riesgos o sanciones graves para la empresa y los operarios.

De no superar las condiciones para las cuales fue diseñada, la mesa va a contar con una vida útil óptima, ya que los materiales con los que se implementó la plataforma cuentan con características que se acoplan al propósito y al entorno en el que se va a desenvolver.

Se determina como parámetro de diseño la capacidad de carga de la plataforma en un peso de 200 kg, ya que es un aproximado del peso de dos operarios y la herramienta que necesiten para llevar a cabo su labor en las alturas.

La celda de carga, es un puente de Wheatstone, el cual puede dar dos tipos de variaciones, directamente proporcional al peso o inverso a este; sin embargo, se escoge el sensor directamente proporcional ya que presenta un rango dinámico alto en las variaciones del voltaje a la salida logrando con esto una mejor obtención de los datos del peso soportado por la plataforma.

Por medio de los procesos de calibración de cada uno de los instrumentos que conforman la plataforma, se puede obtener medidas del valor convencionalmente verdadero llegando así reducir al mínimo los diferentes tipos de errores y expresar los rangos en los cuales el funcionamiento es óptimo.

La interdisciplinariedad de las áreas de electrónica y mecánica permite explorar conocimientos adquiridos y aprender nuevos acerca de la estructura realizada, ya que se tuvo que pedir apoyo a una persona que nos asesorará con los materiales para la construcción y los elementos que se implementaron en la mesa.

Conocer la resolución del mensurando y el patrón, nos permitirá saber si hicimos una asignación adecuada o hay que invertir los papeles de los instrumentos. Esto con el fin de cumplir a cabalidad los pasos que se deben tener en cuenta en el proceso de calibración.

Realizar procesos de calibración a los instrumentos, permite tener medidas muy cercanas al valor verdadero buscando reducir los errores. Además, permite conocer los rangos en que la medida es indeterminada, está dentro y fuera de especificaciones, para aprovechar los valores óptimos del instrumento.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] http://www.pac.com.ve/index.php?option=com_content&view=article&catid=65&Itemid=76&id=4627
- [2] <http://typemontacarga.blogspot.com/>
- [3] http://www.edmolift.es/what_is_a_lift_table.aspx#.UCm5jqEgc6g
- [4] <http://www.areatecnologia.com/EL%20MOTOR%20ELECTRICO.htm>
- [5] <http://www.nichese.com/motor.html>
- [6] <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/maquinashidraulicas/clasificacionbombashidraulicas/clasificaciondelasbombashidraulicas.html>
- [7] <http://clubensayos.com/Tecnolog%C3%ADa/Clasificacion-De-Bombas-Hidraulicas/982094.html>
- [8] http://www.ecured.cu/index.php/Bombas_Hidra%C3%BAlicas
- [9] http://es.over-blog.com/Pistones_hidraulicos_Que_funciones_tienen-1228321783-art381019.html
- [10] <http://es.slideshare.net/JOLOAIZA/mandos-o-actuadores-hidraulicos-7659675>
- [11] http://centrodeartigos.com/articulos-utiles/article_108616.html
- [12] <http://www.gerardocanaveral.com/productos/celdas-de-ca>
- [13] <http://justo.mayora.over-blog.es/article-que-celdas-carga-que-tienen-85910080.html>
- [14] <http://www.ferroneumatica.com.co/2009/04/29/valvula-solenoide/>
- [15] Motores Eléctricos. Trifásicos, Ecuación característica. [Online] <http://www.mcgraw-hill.es/bcv/guide/capitulo/8448173104.pdf>
- [16] K.a Osakada. Mechanical Servo Press Technology for Metal Forming. School of Engineering Science, Osaka University, Japan. Sacado el 20 de Mayo de 2013 de: <https://www.scopus.org/record/display.url?eid=2-s2.0-8005167327&origin=resultlist&sort=plf-f&src=s&st1=press=c388cbfo.Welim>
- [17] H.ab, Shi. School of Mechanical Engineering, Xi'an, China. Compliance of Hydraulic System and its Applications in Thrust System Design of Shield Tunneling Machine. Sacado el 20 de Mayo de 2013 de: <https://www.scopus.com/record/display.url?eid=2-s2.0-8487773549&origin=resultlist&sort=plf-f&src=s&rt1=hydraulic+press&sid=c388cbf0c5.Welim>
- [18] Q, Chen. Marine Engineering Institute, Jimei University, China. Weight Reduction Design Methods of Wring Based on Load Spectrum. sacado el 20 de Mayo de 2013 de: <https://www.scopus.com/record/display.url?eid=2-s2.0.0-84874214801&origin=resultlist&port=plf-f&src=s&st1=hydraulic+press&nlo=&nlr=&nls=&c388cbf0f0fc.Welim>

- [19] J. Higino and C. Couto, "Digital Filtering in Smart Load Cells," pp. 0–5, 1995.
- [20] J. A. Ferreira and P. Sun, "Design and control of a hydraulic press," pp. 1–5, 2006.
- [21] W. Yi-xiang and S. Hui-xue, "Influence of the Initial Deformation on the Working Performance for MLB Hydraulic Press," *2010 Third International Conference on Information and Computing*, pp. 1–4, Jun. 2010.
- [22] R. P. Jr, C. Ihrke, L. Bridgewater, D. Linn, R. Diftler, M. Abdallah, S. Askew, and F. Permenter, "A miniature load cell suitable for mounting on the phalanges of human-sized robot fingers," pp. 1–6, 2011.
- [23] D. Crescini, "Load Cell for Dynamic Force Measurements: an Example in Thick-Film Technology," no. Dii, pp. 1–6, 2012.
- [24] CREUS, Antonio. Instrumentación Industrial. Séptima Edición.
- [25] COOPER, William. HELFRICK, Albert. Instrumentación electrónica moderna y técnicas de medición.
- [26] Mesas Elevadoras Planas. [Online]
http://www.flexlift.de/uploads/media/Mesas_elevadoras_planas_es.pdf
- [27] <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6022982>
- [28] www.scopus.com. Permanent magnet synchronous machine sizing: Effect on the energy efficiency of an electro-hydraulic forklift.
- [29] Principios básicos de las Válvulas Solenoides. Selección de características.
 [Online] <http://todoproductividad.blogspot.com/2009/10/principios-basicos-de-las-valvulas-de.html>
- [30] COUGHLIN, Robert F. DRISCOLL, Frederick F. Amplificadores Operacionales y circuitos integrados lineales. Quinta Edición. Capítulo 8, pp. 222-224.
- [31] DUQUE, Edison. Curso Avanzado De Micro controladores PIC. Compañía Editorial Tecnológica.
- [32] Clima de Tunja. Calibración de sensores. [Online]
<http://clima.starmedia.com/sudamerica/colombia/tunja/>
- [33] Características pinza Amperimetrica. [Online]
http://secure.transtronics.com/osc/product_info.php/cPath/67/products_id/480
- [34] Pinza digital DT-266. [Online]
http://www.industriassur.com.ar/indsurcommerce/product_info.php?products_id=321
- [35] National Instruments. Tarjetas de Adquisición. [Online]
http://www.interempresas.net/Informatica_Industrial/FeriaVirtual/Productos-Tarjetas-de-adquisicion-de-datos-multifuncion-USB-22704.html

- [36] Hoja Técnica de la Celda de Carga. [Online]
http://www.zemic.nl/media/L6E_Datasheet.pdf
- [37] Resolución 1409 del Ministerio del Trabajo, artículo 6 [Online]
http://www.arlsura.com/files/res1409_2012.pdf
- [38] Diferencias entre el aluminio y el acero. [Online] <http://www.xuletas.es/ficha/diferencias-entre-aluminio-y-acero/>

ANEXOS

Anexo 1. Artículo IEEE titulado "Construcción y automatización de una mesa elevadora con control electrónico"

Anexo 2. Documento de registro de calibración

Anexo 3. Cálculo de incertidumbre y análisis de resultados

Anexo 4. Documento de resultados

Anexo 5. Certificado de calibración

Anexo 6. Hoja técnica del CI TCA 785

Anexo 7. Hoja técnica de la celda de carga

Anexo 8. Hoja técnica del AD620

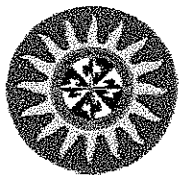
Anexo 9. Hoja técnica del LM 741

Anexo 10. Hoja técnica de la válvula solenoide

Anexo 11. Hoja técnica del sensor de corriente CS60

Anexo 12. Norma sobre seguridad industrial Resolución 1409 de 2012

ANEXO 1



Construcción y automatización de una mesa elevadora con control electrónico (Agosto 2013)

González D. Sonia A., y Zarate S. Sander F.

Abstract - This article briefly describes the process required for building and automation of a lifting table where different parameters such as design, used materials, dimensions and elements of automation were taken into account since the beginning of the construction, in order to avoid problems during the development of the project. Then, its basic functions including amount of supported weight, both maximum and minimum heights, required pressure for movement, feed type and speed control system thereof are determined. In addition, a control station is made where a control panel will be located, it will be easily used by the operators; different push buttons are found there and they are able to activate and deactivate the solenoid valve, phase connections and control circuit.

Index Terms—Building, automation, weight, pressure, control, speed, operators, valve, phase, system.

I. INTRODUCTION

EN los últimos años se ha hecho de vital importancia el control y automatización de sistemas industriales, por este motivo, se pretende implementar algunos parámetros de la mesa elevadora, al crear un entorno amigable con el usuario.

El control de las alturas, nos permitirá parametrizar su valor máximo y mínimo hasta los cuales se tendrá acceso; el peso, controlado mediante una celda de carga nos dará indicios de lo máximo que la plataforma implementada podrá soportar; la presión del aceite en los diferentes puntos de la planta podrá ser medida mediante un instrumento previamente seleccionado. Además, el diseño de una interfaz amigable para el operario, visualizando las mediciones de las variables seleccionadas.

González D. Sonia Alejandra. Estudiante de décimo semestre de la facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja (e-mail: sonia.gonzalez@usantotoma.edu.co)

Zarate S. Sander Ferney. Estudiante de décimo semestre de la facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja. (e-mail: sander.zarate@usantotoma.edu.co)

II. JUSTIFICACIÓN

En las tareas diarias del hombre, uno de las limitaciones es la mover objetos que se encuentran en alturas superiores a su capacidad, y el uso de una escalera no es seguro, además de la cantidad de accidentes que se presentan diariamente debido a que las personas no tienen en cuenta las normas de seguridad industrial, es por eso que nosotros hemos enfocado nuestro proyecto a la implementación de una mesa elevadora en la cual se tiene en cuenta las normas de seguridad, las alturas máximas permitidas y la facilidad de movilidad del prototipo. Sin embargo, es importante resaltar que la estructura es totalmente mecánica, por eso, se implementa una instrumentación electrónica por medio de la cual controlamos dicho prototipo con el fin de que sea más eficiente y eficaz, evitando de esta forma la mayor cantidad posible de accidentes, teniendo claro sus principales aplicaciones para de esta manera tener un control de todas las variables que intervienen directa e indirectamente en nuestro proyecto.

III. OBJETIVOS

General:

Acoplar un sistema mecánico y electrónico, creando una mesa elevadora tecnificada y automatizada; la cual tenga una estructura para uso industrial, con el fin de facilitar las labores diarias de estas.

Específicos:

- Implementar un sistema mecánico en el cual se tengan en cuenta las dimensiones para uso industrial y la calidad de los materiales.
- Instalar a la mesa elevadora el motor eléctrico, la bomba hidráulica, el pistón y una celda de carga que nos permita controlar las alturas y peso máximo que pueda soportar la estructura.
- Construir un sistema en el cual se controlen las alturas y desplazamientos de la mesa elevadora.

- Diseñar un sistema de visualización de las variables controladas, en un tablero instalado en la cabina de mando, amigable para el usuario, garantizando el buen uso de la estructura.
- Tener en cuenta las medidas de seguridad reglamentarias con el fin de garantizar que en determinado momento la vida del ser humano que esté usando el dispositivo no se vaya a encontrar en peligro.

IV. MARCO TEÓRICO

- Motor eléctrico:

Un motor eléctrico es una máquina eléctrica rotativa que transforma energía eléctrica en energía mecánica. En diversas circunstancias presenta muchas ventajas respecto a los motores de combustión.

Componentes de los motores eléctricos:

1. La carcasa o caja que envuelve las partes eléctricas del motor, es la parte externa.
2. El inductor, llamado estator cuando se trata de motores de corriente alterna, consta de un apilado de chapas magnéticas y sobre ellas está enrollado el bobinado estático, que es una parte fija y unida a la carcasa.
3. El inducido, llamado rotor cuando se trata de motores de corriente alterna, consta de un apilado de chapas magnéticas y sobre ellas está enrollado el bobinado rotórico, que constituye la parte móvil del motor y resulta ser la salida o eje del motor.

Los motores eléctricos los podemos clasificar de varias formas:

Por su velocidad de giro.

1. Asíncronos. Un motor se considera asíncrono cuando la velocidad del campo magnético generado por el estator supera a la velocidad de giro del rotor.
2. Sincronos. Un motor se considera síncrono cuando la velocidad del campo magnético del estator es igual a la velocidad de giro del rotor. Recordar que el rotor es la parte móvil del motor. Dentro de los motores sincrónicos, nos encontramos con una sub clasificación:
 - Motores sincrónicos trifásicos.
 - Motores asíncronos sincronizados.
 - Motores con un rotor de imán permanente.

Por su número de fases de alimentación.

- Motores monofásicos.
- Motores bifásicos.
- Motores trifásicos.
- Motores con arranque auxiliar bobinado.
- Motores con arranque auxiliar bobinado y con condensador.

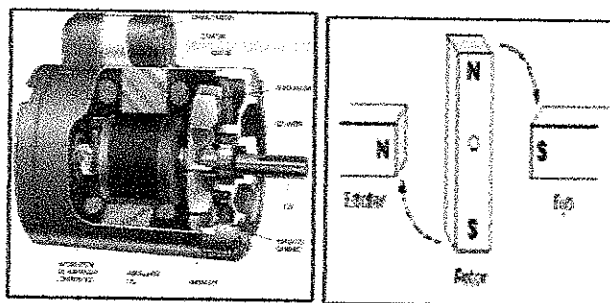


Fig. 1. Motor Eléctrico internamente

Fuente: <http://transmisionyconformacion.blogspot.com/2010/11/tipos-de-motres-electricos.html>

- Bomba hidráulica:

La ciencia de la hidráulica se ha considerado desde los primeros días de la civilización humana. A pesar de su antigüedad, la hidráulica se constituye en una de las ramas de la ingeniería civil con mayor influencia en el desarrollo de las sociedades, porque a diario su utilización es vital para vencer distintos obstáculos o para desarrollar diferentes actividades, sin importar que todavía presente algún grado de incertidumbre.

Una bomba hidráulica es una máquina generadora que transforma la energía (generalmente energía mecánica) con la que es accionada en energía hidráulica del fluido incompresible que mueve.

Principio de funcionamiento de las bombas hidráulicas:

El funcionamiento de una bomba hidráulica está basado sobre el principio de pascal el cual nos dice que el incremento de la presión aplicada a una superficie de un fluido incompresible (líquido), contenido en un recipiente indeformable, se transmite con el mismo valor a cada uno de las partes del mismo.

Tipos de bombas hidráulicas según su principio de funcionamiento:

La principal clasificación de las bombas según el funcionamiento en que se base:

Bombas de desplazamiento positivo o volumétrico, en las que el principio de funcionamiento está basado en la hidrostática, de modo que el aumento de presión se realiza por el empuje de las paredes de las cámaras que varían su volumen. En este tipo de bombas, en cada ciclo el órgano propulsor genera de manera positiva un volumen dado o cilindrada, por lo que también se denominan bombas volumétricas. En caso de poder variar el volumen máximo de la cilindrada se habla de bombas de volumen variable. Si ese volumen no se puede variar, entonces se dice que la bomba es de volumen fijo.

Bombas neumáticas que son bombas de desplazamiento positivo en las que la energía de entrada es neumática, normalmente a partir de aire comprimido.

Por su forma, hay tres tipos de válvula solenoide de uso común: 1) De dos vías, 2) De tres vías y 3) De cuatro vías o reversibles. Igualmente puede haber válvulas solenoide con combinaciones de los tipos anteriormente mencionados. Así por ejemplo, hay válvulas operadas por piloto normalmente abiertas y también normalmente cerradas.

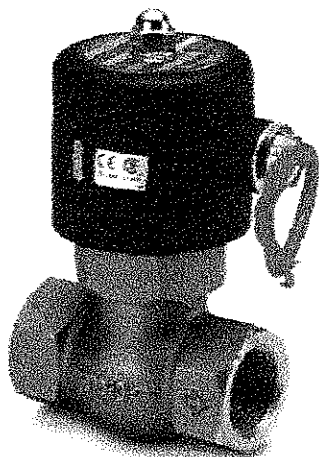


Fig. 4. Válvula Solenoide normalmente cerradas.

Fuente: http://www.valveco.com.co/p/valvula-solenoide-uni-d-vapor-modelo-us-_4398454

• Celda de carga:

Una celda de carga es un transductor que es utilizado para convertir una fuerza en una señal eléctrica. Esta conversión es indirecta y se realiza en dos etapas. Mediante un dispositivo mecánico, la fuerza que se desea medir deforma una galga extensiométrica. La galga extensiométrica convierte el desplazamiento o deformación en señales eléctricas. Una celda de carga por lo general se compone de cuatro galgas extensiométricas conectadas en una configuración tipo puente de Wheatstone.

Sin embargo es posible adquirir celdas de carga con solo uno o dos galga extensiométricas. La señal eléctrica de salida es típicamente del orden de unos pocos mili voltios y debe ser amplificada mediante un amplificador de instrumentación antes de que pueda ser utilizada. La salida del transductor se conecta en un algoritmo para calcular la fuerza aplicada al transductor.

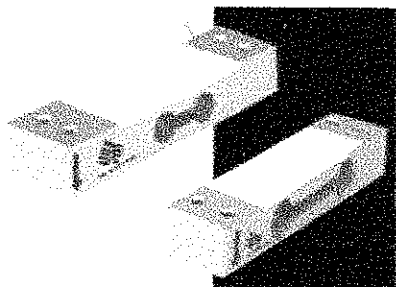


Fig. 5. Celda de Carga

Fuente: <http://www.wm-instruments.com/celdas-de-carga-una-ula-que-son.html>

V. DISEÑO METODOLÓGICO

•Diseño de la mesa y selección de los materiales adecuados para cumplir con las especificaciones de construcción del sistema con capacidad para soportar hasta 200 Kg de peso.

•Acondicionamiento del motor eléctrico, la bomba hidráulica, el pistón y el tanque de almacenamiento en el prototipo.

•Diseñar los circuitos electrónicos a implementar en la mesa para el control del sistema mecánico.

•Implementar el sistema de seguridad y prevención, tanto de los circuitos como de la mesa elevadora.

•Diseño e implementación de los circuitos electrónicos y obtención de la curva de calibración de los sensores.

•Implementación de los circuitos diseñados y pruebas finales del prototipo.

•Interfaz gráfica o tablero de mando en donde se instalen los visualizadores de potencia y de control.

•Modelamiento matemático del sistema electrónico, y selección del controlador.

Fig. 6. Metodología, etapas de desarrollo

Fuente: Autores

VI. RESULTADOS OBTENIDOS

En este momento nos encontramos en la etapa cuatro del desarrollo del proyecto, en la cual hacemos pruebas de los circuitos ya diseñados y la respectiva caracterización y análisis de funcionamiento de los sensores que se están instalando.

Empezamos con el diseño y construcción de la mesa, en donde se elabora la parte mecánica del mismo en un taller de ornamentación y cuyas características son:

Dimensiones: Se realiza el estudio en donde se tienen en cuenta factores como lo son estabilidad, entorno en donde va a ser utilizada y peso soportada teniendo en cuenta todos estos parámetros se llega a la conclusión que las dimensiones

adecuadas para el prototipo son 1 metro de ancho por 1.55 metros de larga.

Materiales de construcción: Debido a que la mesa se va a usar en entornos industriales y que el diseño inicial es para que la estructura soporte 200 kilogramos sobre la plataforma del operario se llega a la conclusión que el material adecuado es metal y la selección de este metal se realiza por el calibre y el diámetro del mismo que para nuestro caso es Angulo metálico.

Diseño: El diseño realizado para este prototipo consiste en elaborar la mesa por secciones en donde estas tienen una forma de X esto con el fin de garantizar el desplazamiento deseado tanto hacia arriba y hacia abajo para satisfacer los parámetros de diseño en donde la altura máxima es de 5 metros se realiza el análisis de cuanto recorrido nos brinda una sección en forma de X en donde el resultado fue de aproximadamente 1.60 metros dado esto se toma la decisión de construir el prototipo con 3 secciones en forma de X a cada lado, estas secciones van a ir soportadas en un cubo el cual se construye con ángulo y en donde las dimensiones son de 1 metro de ancho, 1.55 metros de largo y 70 cm de alto. Para la plataforma superior se realiza un marco de las mismas dimensiones del prototipo y en donde se va a soportar una tabla en donde va a ir ubicado el operario.

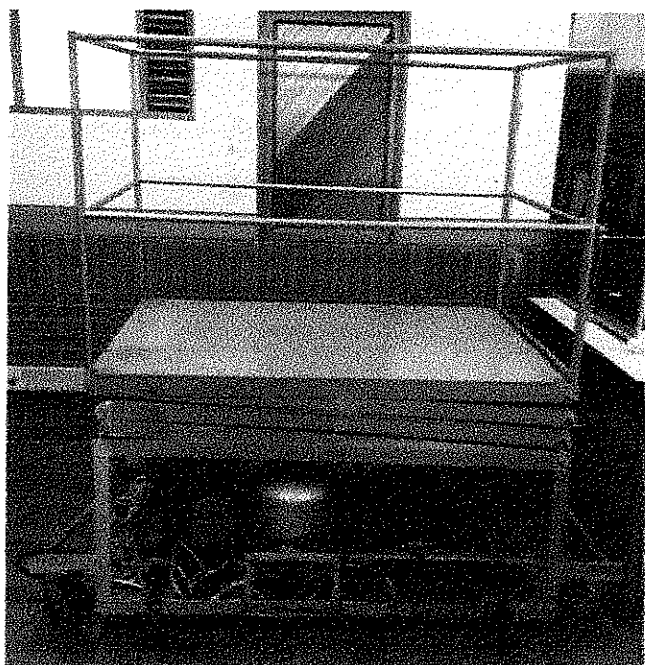


Fig. 7. Estructura de la Mesa Elevadora
Fuente: Autores

Componentes electrónicos de automatización: para lograr el desplazamiento se realizó un análisis en donde se concluye que el sistema electrónico y de desplazamiento va a estar compuesto por un motor trifásico de 5 hp, 220 Vac, 3420 RPM, consumo nominal 3 Amperios, una bomba hidráulica la cual nos genera aproximadamente 1000 libras de presión, un pistón el cual tiene una capacidad de levantamiento o carga de 10 toneladas, y sus dimensiones son: Longitud 80 cm y

diámetro 6", un tanque metálico para el almacenamiento del aceite hidráulico (ISO 60) y dos electroválvulas las cuales nos permiten el paso o no del hidráulico hacia el pistón y hacia un retorno a tanque implementado en el prototipo.

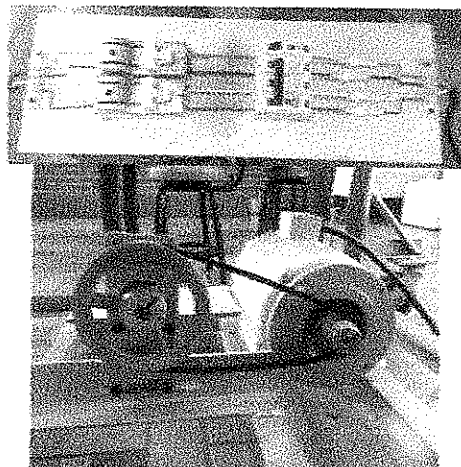


Fig. 5. Circuito de Potencia, y acoples bomba - motor
Fuente: Autores

Descripción del sistema electromecánico: El sistema cumple la función de generar la presión necesaria para lograr el desplazamiento del pistón hacia a arriba y hacia abajo en donde la bomba hidráulica es activada por el motor eléctrico haciendo una transformación de energía mecánica a energía de movimiento y en donde se acoplan por medio de poleas luego de esto la bomba absorbe el hidráulico y lo envía a el pistón realizando nuevamente una transformación de energía de movimiento a energía de desplazamiento la cual se ve reflejada por el desplazamiento del pistón en donde este va a estar anclado de forma mecánica a la primera sección de X que conforma nuestro prototipo, además de esto se realiza la implementación de dos electroválvulas en donde su única función es permitir el paso del hidráulico, la primera de ellas va ubicada entre la bomba hidráulica y el pistón esto con el fin de garantizar que la mesa se desplace solamente lo que el operario desee y la otra va ubicada entre una derivación de lo que llega al pistón y el suministro a tanque garantizando de esta forma que el prototipo se va a devolver sin ningún problema. Finalmente se realiza la implementación de un control de mando el cual nos va a permitir manipular las dos electroválvulas, realizar un paro de emergencia, energizar y des energizar el sistema de control y una visualización de las magnitudes más importantes como lo son peso sobre la estructura, presión entre otras.

Descripción del circuito de control: El circuito de control cumple la función de variar la velocidad del motor esto con el fin de variar la presión con la cual se está alimentando el pistón y generando directamente un cambio en la velocidad de desplazamiento del prototipo, el circuito consta de una variador de velocidad el cual funciona con una entra de 220 voltios ac y en donde se hacen cortes de fase según se necesita logrando así la variación de velocidad del motor estos cortes de fase generan unos pulsos los cuales se envía a un triac para posteriormente alimentar el motor.

Medición del peso sobre la estructura: La medición del peso se realizó por medio de una celda de carga la cual tiene una rango de 0 a 200 kilogramos y en donde esta nos brinda una sensibilidad de 4 mV por kilogramo y en donde su salida es sometida a un tratamiento para poder convertirla en una señal manipulable que nos brinde la información necesaria, este tratamiento se realiza por medio de un amplificador de instrumentación AD620 el cual nos brinda una ganancia de 1000 luego de este acoplamiento la señal se transforma logrando un nivel más deseable para su interpretación y por medio de esta se logró la visualización del peso sobre la estructura.

VII. CONCLUSIONES

- 1) En lo que hemos realizado hemos podido concluir que las mesas elevadoras en el mercado son de elevados costos, y nuestro proyecto busca disminuirlos, pero sin dejar de lado la calidad del producto.
- 2) Conocer muy bien del tema nos permitió, tener muy buenas proporciones en el diseño e implementación de la mesa con el fin de alcanzar la altura máxima y un buen desplazamiento de la misma.
- 3) Con la construcción de este proyecto, se busca satisfacer el objetivo principal de la ingeniería dándole soluciones y facilidades a los trabajos diarios de muchos operarios que se les dificulta alcanzar una altura elevada, usando una seguridad mínima, arriesgando su vida e integridad.
- 4) Las electroválvulas permiten efectuar el control de la elevación de una manera segura y fácil para el operario.
- 5) La adecuada selección de los sensores empleados permite la disminución de errores en las mediciones y no sobrepasar el rango dinámico de las variables de la mesa, además tener una lectura sencilla, de fácil visualización para el operario.
- 6) El recolectar información acerca de la seguridad industrial en las alturas para la implementación de la mesa, con el fin de cumplir completamente con la norma reglamentaria, y velar por la seguridad de los operarios.

REFERENCIAS

- [1] CREUS, Antonio. Instrumentación Industrial. Séptima Edición.
- [2] COOPER, William. HELFRICK, Albert. Instrumentación electrónica moderna y técnicas de medición.
- [3] GRAY Wallace. Electrotecnia.
- [4] GUZMÁN, Arsenio. BARBÓN, Javier. GÓMEZ, Alejandro. Variación de la velocidad de los motores eléctricos. Control Trifásico.
- [5] SPERRY, Vikers. Manual de Oleohidráulica
- [6] MILLÁN, Salvador. Automatización neumática y electropneumática
- [7] Mesas Elevadoras, Construcción [Online]: http://www.flexlift.de/uploads/media/Mesas_elevadoras_planas_es.pdf
- [8] Motor eléctrico, Funcionamiento, [Online]: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6022982>

[9] Bomba Hidráulica, Principio de Funcionamiento [Online]: www.scopus.com. Permanent magnet synchronous machine sizing: Effect on the energy efficiency of an electro-hydraulic forklift.

[10] Jun Yang, approximate variable structure control for transient load in large hydraulic press. School of Mechanical and Electrical Engineering, Central South University, Changsha, China. sacado el 20 de Mayo de 2013 de: <https://www.scopus.org/record/display.url?eid=2-s2.0-84876573403&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=press&nl=&ntr=&sid=c388cb>We>

[11] K.a Osakada, Mechanical Servo Press Technology for Metal Forming, School of Engineering Science, Osaka University, Japan. Sacado el 20 de Mayo de 2013 de: <https://www.scopus.org/record/display.url?eid=2-s2.0-8005167327&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=press=c388cbfo.Welam>

[12] Hab, Shi, School of Mechanical Engineering, Xi'an, China. Compliance of Hydraulic System and its Applications in Thrust System Desig of Shield Tunneling Machine. sacado el 20 de Mayo de 2013 de: <https://www.scopus.com/record/display.url?eid=2-s2.0-8487773549&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=hydraulic+press&sid=c388cbf0c5.Welam>

[13] Q. Chen, Marine Engineering Institute, Jimei University, China. Weight Reduction Design Methods of Wring Based on Load Spectrum. sacado el 20 de Mayo de 2013 de: <https://www.scopus.com/record/display.url?eid=2-s2.0-84874214801&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=hydraulic+press&nl=&ntr=&nls=&c388cbf0f0c.Welam>

[14] J. Higino and C. Couto, "Digital Filtering in Smart Load Cells," pp. 0-5, 1995.

[15] J. A. Ferreira and P. Sun, "Design and control of a hydraulic press," pp. 1-5, 2006.

[16] W. Yi-xiang and S. Hui-xue, "Influence of the Initial Deformation on the Working Performance for MLE Hydraulic Press," 2010 Third International Conference on Information and Computing, pp. 1-4, Jun. 2010.

[17] R. P. Jr, C. Ihrke, L. Bridgewater, D. Linn, R. Diftler, M. Abdallah, S. Askew, and F. Permenter, "A miniature load cell suitable for mounting on the phalanges of human-sized robot fingers," pp. 1-6, 2011.

[18] D. Crescini, "Load Cell for Dynamic Force Measurements: an Example in Thick-Film Technology," no. Dii, pp. 1-6, 2012.

BIOGRAFÍAS

Sonia Alejandra González Duarte, Nacida en Tunja, Boyacá, Colombia el 20 de Abril de 1992. Estudios secundarios, Colegio de Boyacá, con profundización en Matemáticas. Estudiante de Ingeniería Electrónica, de la Universidad Santo Tomás de Tunja; formada con principios éticos y valores, capaz de dar soluciones a problemas planteados en el manejo y manipulación de sistemas electrónicos. Facilidad de aprendizaje de nuevas herramientas y tecnologías de la información. (soniahil6@hotmail.com)



Sander Ferney Zarate Saboya, Nacido en Puerto Boyacá, Boyacá, Colombia el 04 de Febrero de 1989. Estudios secundarios, en el Colegio Santa Teresita de Puerto Boyacá. Estudiante de Ingeniería Electrónica, de la Universidad Santo Tomás de Tunja. Conocimientos básicos sobre electricidad y electrónica. Con amplia formación ética y humana, alto nivel de compromiso, responsabilidad y cumplimiento de las labores asignadas. (ferney_zarate@hotmail.com)



ANEXO 2

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS							
LABORATORIO D							
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA							
REGISTRO DE CALIBRACIÓN							
Código	USTMD1			Página	1 de 3		
Fecha de Calibración							
Día	Mes		Año	Hora de Inicio			
04	06		2013	10:30:12			
Representante de la Empresa							
Ing. Oscar Eduardo Umaña Méndez							
Empresa		Universidad Santo Tomas					
DATOS DEL INSTRUMENTO DE MEDIDA							
Instrumento			Marca		Modelo		
Pinza Amperimetrica			Clamp Meter		DT 266		
Número de serie							
Función			Rango		División de Escala		
Corriente			200 a 1000 A		1		
CONDICIONES DE CALIBRACIÓN							
Variable	Inicial		Final		Promedio		
Temperatura	16°C		17°C		16,5°C		
Humedad	48%		50%		49%		
Observaciones							
DATOS DE CALIBRACIÓN DEL INSTRUMENTO							
Función a calibrar		Voltaje					
Rango	Valor	Lectura Instrumento	Lectura Patrón				
0 a 3	0	0	0,06	0,04	0,05	0,03	
	0,6	0,6	0,71	0,62	0,65	0,56	
	1,2	1,3	1,28	1,24	1,21	1,19	
	1,8	1,8	1,76	1,82	1,78	1,76	
	2,4	2,4	2,38	2,43	2,41	2,39	
	3	3	3,05	2,96	3,04	2,98	
Elaborado por		Sonia Alejandra González Duarte y Ferney Zarate Saboyá					
Revisado por		Ing. Oscar Eduardo Umaña Méndez					

ANEXO 3

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS							
CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE Y ANÁLISIS DE RESULTADOS							
Código	USTMD1		Página		2 de 3		
Fecha de Calibración		04/06/2011		Hora	10:30		
DATOS DEL SOLICITANTE							
Representante de la Empresa							
Ing. Oscar Eduardo Umaña Méndez							
Empresa		Universidad Santo Tomas					
DATOS DEL INSTRUMENTO DE MEDIDA							
Instrumento		Pinza Amperimetrica					
Marca		Clamp Meter					
Número de Serie							
Modelo		DT 266					
Función		Rango	División de Escala		Clase		
Corriente		200 a 1000	1		1		
REGISTRO DE CALIBRACIÓN							
Función Calibrada		Corriente					
Frecuencia de uso							
Rango	Lectura Instrumento	Patrón					Unidad
0 A 3	0	0,06	0,04	0,05	0,03	AMPERE	
	0,6	0,71	0,62	0,65	0,56		
	1,3	1,28	1,24	1,21	1,19		
	1,8	1,76	1,82	1,78	1,76		
	2,4	2,38	2,43	2,41	2,39		
	3	3,05	2,96	3,04	2,98		
Elaborado por		Sonia Alejandra González Duarte y Ferney Zarate Saboyá					
Revisado por		Ing. Oscar Eduardo Umaña Méndez					

ANEXO 4

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS							
DOCUMENTO DE RESULTADOS							
Función calibrada			Corriente				
Frecuencia de uso							
Rango	Ai	Lectura del patrón					
0 y 3	0		0,006	0,004	0,005	0,003	
	0,6		0,071	0,062	0,065	0,056	
	1,3		0,128	0,124	0,121	0,119	
	1,8		0,176	0,182	0,178	0,176	
	2,4		0,238	0,243	0,241	0,239	
	3		0,305	0,296	0,304	0,298	
ANÁLISIS DE RESULTADOS							
Ai	Ar	Error	Tolerancia	K	UE	Estado del Instrumento	
0	0,045	0,045	0,02	2,57	0,01291	FES	
0,6	0,635	0,035	0,02	2,57	0,06245	DES	
1,3	1,23	-0,07	0,02	2,57	0,00392	FES	
1,8	1,78	-0,02	0,02	2,57	0,00283	IND	
2,4	2,4025	0,0025	0,02	2,57	0,00222	DES	
3	3,0075	0,0075	0,02	2,57	0,00443	FES	
CONSIDERACIONES							
FES		FUERA DE ESPECIFICACIONES					
DES		DENTRO DE ESPECIFICACIONES					
IND		INDETERMINADO					
Elaborado por			Sonia Alejandra González Duarte y Ferney Zarate Saboyá				
Revisado por			Ing. Oscar Eduardo Umaña Méndez				
FECHA			Junio 04 de 2013				

ANEXO 5

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS – TUNJA
LABORATORIO D FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

SOLICITANTE: Ing. Oscar Eduardo Umaña Méndez

DIRECCIÓN: Calle 19 Número 11 – 64, Tunja, Boyacá, Colombia

INSTRUMENTO: Pinza Amperimetrica

FABRICANTE: Digital Clamp Multimeter

MODELO: DT 266

NÚMERO DE SERIE:

FECHA DE CALIBRACIÓN: Mayo 31 de 2013

FECHA DE RECEPCIÓN: Junio 04 de 2013

NÚMERO DE PÁGINAS: TRES (3)

Este reporte expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas. Sólo podrá ser reproducido en su totalidad. Los resultados contenidos en el presente reporte se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de la información aquí contenida y de los instrumentos calibrados.

Elaborado por:

Sonia Alejandra González Duarte
Estudiante de Noveno Semestre de Ing. Electrónica

Sander Ferney Zarate Saboyá
Estudiante de Noveno Semestre de Ing. Electrónica

Revisado por:

Ing. Oscar Eduardo Umaña Méndez
Director

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN NÚMERO USTMD1

ESPECIFICACIONES DE EXACTITUD DEL INSTRUMENTO

Función	Rango	Clase de exactitud
Corriente	0 a 3 A	1

TRABAJO REALIZADO: CALIBRACIÓN

MÉTODO DE MEDICIÓN E IDENTIFICACIÓN DEL INSTRUMENTO

Comparación de lecturas entre el instrumento patrón y el instrumento de medida. Procedimiento USTC MD 1.

CONDICIONES AMBIENTALES

Temperatura. 17°C
Humedad relativa. 49%

EQUIPO UTILIZADO

EQUIPO. Pinza Amperimetrica
Número de serie.

RESULTADOS DE LA MEDICIÓN

El equipo en referencia se encuentra **DENTRO, FUERA, INDETERMINADO**, de las especificaciones de exactitud según valores de medición, dadas por el fabricante para los rangos calibrados.

INFORMACIÓN DE TRAZABILIDAD

Equipo. Pinza Amperimetrica
Número de serie.
Certificado Número: 1

OBSERVACIONES

El solicitante es responsable de la calibración de sus instrumentos a intervalos adecuados.

Elaborado por:

Sonia Alejandra González Duarte
Estudiante de Noveno Semestre de Ing. Electrónica

Sander Ferney Zarate Saboyá
Estudiante de Noveno Semestre de Ing. Electrónica

Revisado por:

Ing. Oscar Eduardo Umaña Méndez
Director

ANEXOS

CALIBRACIÓN DE LA FUNCIÓN CORRIENTE

RANGO	Lectura instrumento	Lectura Patrón	Error	Tolerancia	K	Estado
0 a 3 A	0	0,045	0,045	0,02	2,57	FES
	0,6	0,635	0,035	0,02	2,57	DES
	1,3	1,23	-0,07	0,02	2,57	FES
	1,8	1,78	-0,02	0,02	2,57	IND
	2,4	2,4025	0,0025	0,02	2,57	DES
	3	3,0075	0,0075	0,02	2,57	FES

Los valores de K se calculan para un nivel de confianza del 95%

ANEXO 6

Phase Control IC

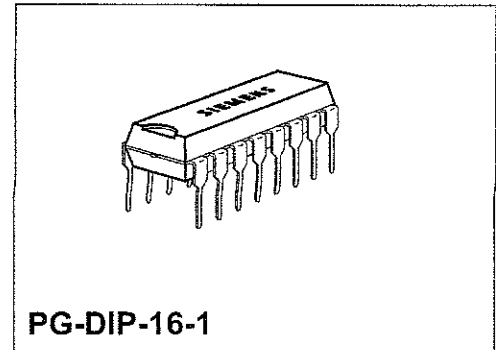
TCA 785

Pb-free lead plating; RoHS compliant

Bipolar IC

Features

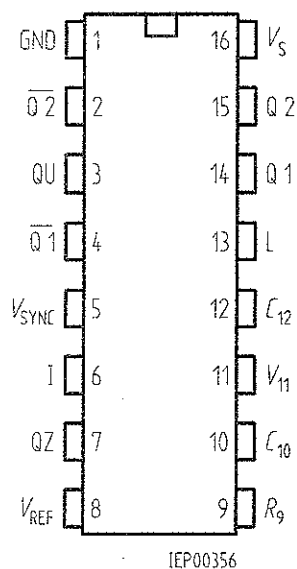
- Reliable recognition of zero passage
- Large application scope
- May be used as zero point switch
- LSL compatible
- Three-phase operation possible (3 ICs)
- Output current 250 mA
- Large ramp current range
- Wide temperature range



Type	Ordering Code	Package
TCA 785	Q67000-A2321	PG-DIP-16-1

This phase control IC is intended to control thyristors, triacs, and transistors. The trigger pulses can be shifted within a phase angle between 0 ° and 180 °. Typical applications include converter circuits, AC controllers and three-phase current controllers.

This IC replaces the previous types TCA 780 and TCA 780 D.



Pin Configuration
(top view)

Pin Definitions and Functions

Pin	Symbol	Function
1	GND	Ground
2	$\overline{Q2}$	Output 2 inverted
3	$\overline{QU}$	Output U
4	$\overline{Q2}$	Output 1 inverted
5	V_{SYNC}	Synchronous voltage
6	I	Inhibit
7	$\overline{QZ}$	Output Z
8	V_{REF}	Stabilized voltage
9	R_9	Ramp resistance
10	C_{10}	Ramp capacitance
11	V_{11}	Control voltage
12	C_{12}	Pulse extension
13	L	Long pulse
14	Q 1	Output 1
15	Q 2	Output 2
16	V_S	Supply voltage

Functional Description

The synchronization signal is obtained via a high-ohmic resistance from the line voltage (voltage V_s). A zero voltage detector evaluates the zero passages and transfers them to the synchronization register.

This synchronization register controls a ramp generator, the capacitor C_{10} of which is charged by a constant current (determined by R_9). If the ramp voltage V_{10} exceeds the control voltage V_{11} (triggering angle φ), a signal is processed to the logic. Dependent on the magnitude of the control voltage V_{11} , the triggering angle φ can be shifted within a phase angle of 0° to 180° .

For every half wave, a positive pulse of approx. $30 \mu s$ duration appears at the outputs Q 1 and Q 2. The pulse duration can be prolonged up to 180° via a capacitor C_{12} . If pin 12 is connected to ground, pulses with a duration between φ and 180° will result.

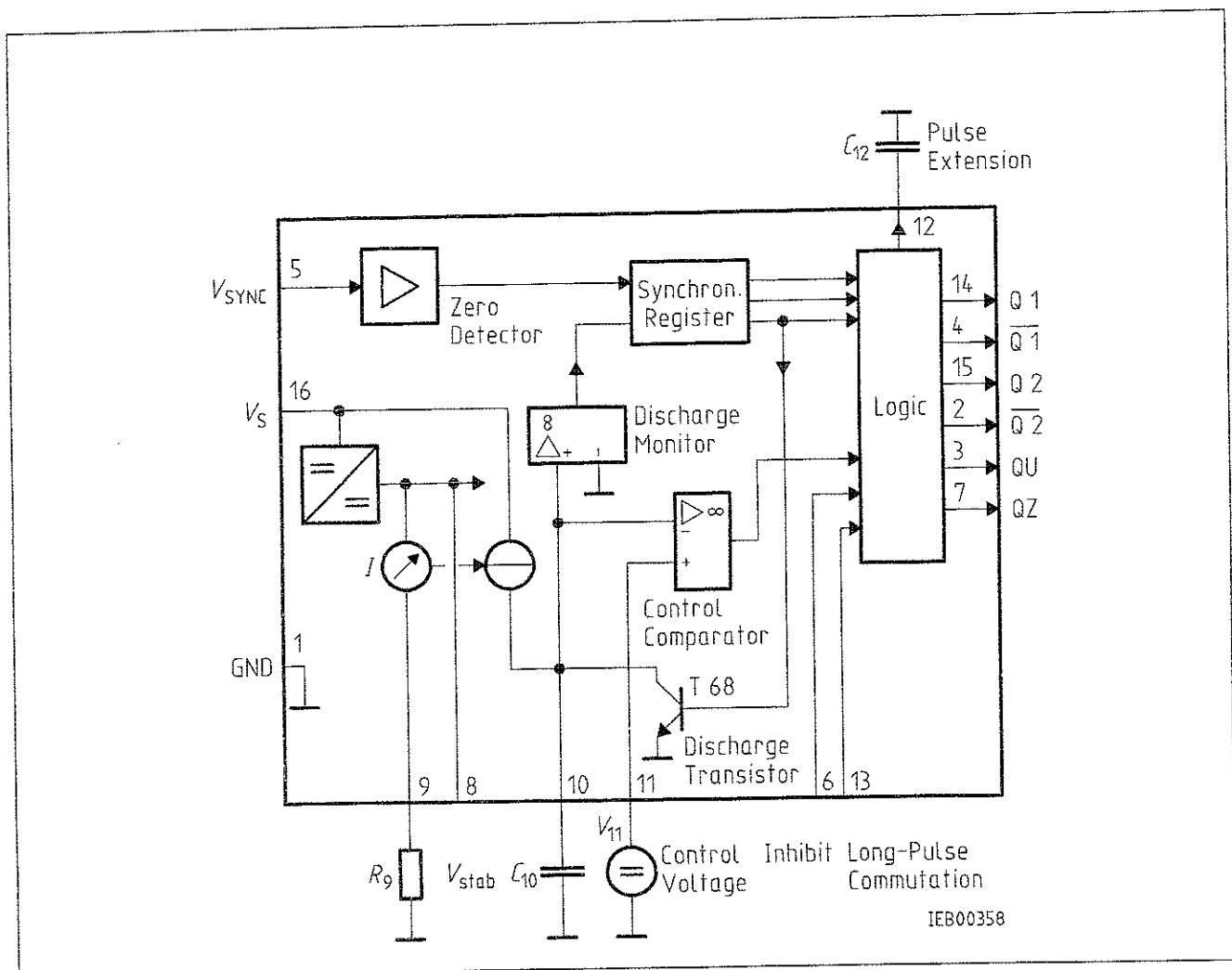
Outputs $\overline{Q}1$ and $\overline{Q}2$ supply the inverse signals of Q 1 and Q 2.

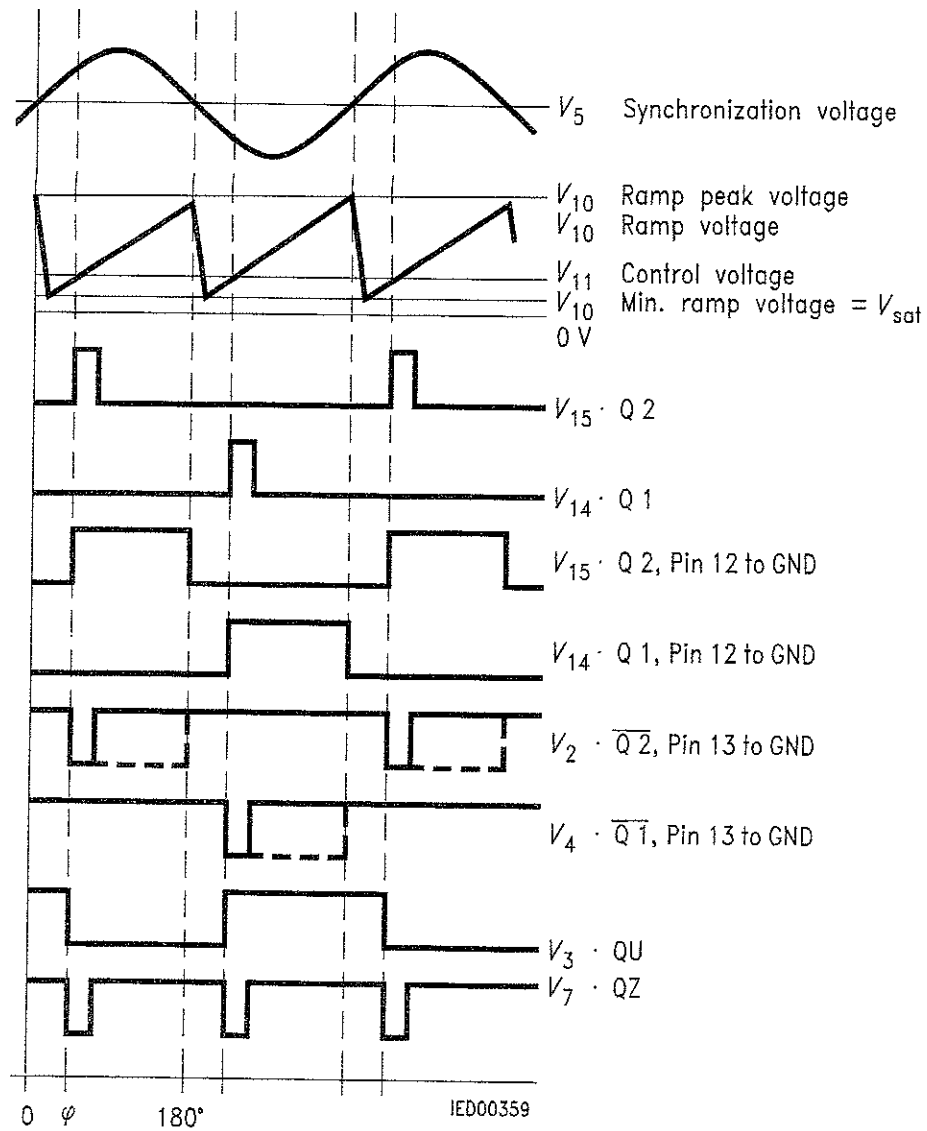
A signal of $\varphi + 180^\circ$ which can be used for controlling an external logic, is available at pin 3.

A signal which corresponds to the NOR link of Q 1 and Q 2 is available at output Q Z (pin 7).

The inhibit input can be used to disable outputs Q1, Q2 and $\overline{Q}1$, $\overline{Q}2$.

Pin 13 can be used to extend the outputs $\overline{Q}1$ and $\overline{Q}2$ to full pulse length ($180^\circ - \varphi$).





Pulse Diagram

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Limit Values		Unit
		min.	max.	
Supply voltage	V_s	- 0.5	18	V
Output current at pin 14, 15	I_Q	- 10	400	mA
Inhibit voltage	V_6	- 0.5	V_s	V
Control voltage	V_{11}	- 0.5	V_s	V
Voltage short-pulse circuit	V_{13}	- 0.5	V_s	V
Synchronization input current	V_5	- 200	± 200	μA
Output voltage at pin 14, 15	V_Q		V_s	V
Output current at pin 2, 3, 4, 7	I_Q		10	mA
Output voltage at pin 2, 3, 4, 7	V_Q		V_s	V
Junction temperature	T_j		150	$^{\circ}C$
Storage temperature	T_{stg}	- 55	125	$^{\circ}C$
Thermal resistance system - air	$R_{th SA}$		80	K/W

Operating Range

Supply voltage	V_s	8	18	V
Operating frequency	f	10	500	Hz
Ambient temperature	T_A	- 25	85	$^{\circ}C$

Characteristics

$8 \leq V_s \leq 18 \text{ V}; -25^{\circ}C \leq T_A \leq 85^{\circ}C; f = 50 \text{ Hz}$

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Test Circuit
		min.	typ.	max.		
Supply current consumption S1 ... S6 open $V_{11} = 0 \text{ V}$ $C_{10} = 47 \text{ nF}; R_9 = 100 \text{ k}\Omega$	I_s	4.5	6.5	10	mA	1
Synchronization pin 5 Input current	$I_{5 \text{ rms}}$	30		200	μA	1
Offset voltage	ΔV_5		30	75	mV	4
Control input pin 11 Control voltage range	V_{11}	0.2		$V_{10 \text{ peak}}$	V	1
Input resistance	R_{11}		15		$k\Omega$	5

Characteristics (cont'd)
 $8 \leq V_S \leq 18 \text{ V}; -25^\circ\text{C} \leq T_A \leq 85^\circ\text{C}; f = 50 \text{ Hz}$

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Test Circuit
		min.	typ.	max.		
Ramp generator Charge current	I_{10}	10		1000	μA	
Max. ramp voltage	V_{10}			$V_2 - 2$	V	1
Saturation voltage at capacitor	V_{10}	100	225	350	mV	1.6
Ramp resistance	R_9	3		300	k Ω	1
Sawtooth return time	t_f		80		μs	1
Inhibit pin 6 switch-over of pin 7	V_{6L}		3.3	2.5	V	1
Outputs disabled	V_{6H}	4	3.3		V	1
Outputs enabled	t_r	1		5	μs	1
Signal transition time	I_{6H}		500	800	μA	1
Input current $V_6 = 8 \text{ V}$						
Input current $V_6 = 1.7 \text{ V}$	$-I_{6L}$	80	150	200	μA	1
Deviation of I_{10} $R_9 = \text{const.}$ $V_S = 12 \text{ V}; C_{10} = 47 \text{ nF}$	I_{10}	-5		5	%	1
Deviation of I_{10} $R_9 = \text{const.}$ $V_S = 8 \text{ V to } 18 \text{ V}$	I_{10}	-20		20	%	1
Deviation of the ramp voltage between 2 following half-waves, $V_S = \text{const.}$	$\Delta V_{10 \text{ max}}$		± 1		%	
Long pulse switch-over pin 13						
switch-over of S8	V_{13H}	3.5	2.5		V	1
Short pulse at output	V_{13L}		2.5	2	V	1
Long pulse at output	I_{13H}			10	μA	1
Input current $V_{13} = 8 \text{ V}$						
Input current $V_{13} = 1.7 \text{ V}$	$-I_{13L}$	45	65	100	μA	1
Outputs pin 2, 3, 4, 7						
Reverse current	I_{CEO}			10	μA	2.6
$V_Q = V_S$						
Saturation voltage	V_{sat}	0.1	0.4	2	V	2.6
$I_Q = 2 \text{ mA}$						

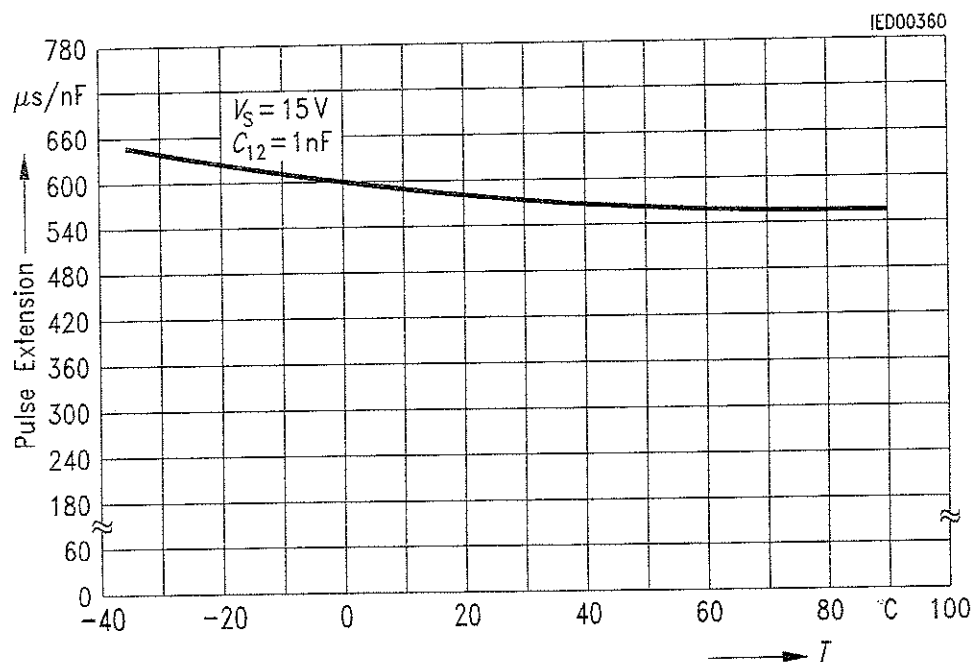
Characteristics (cont'd) $8 \leq V_s \leq 18 \text{ V}; -25^\circ\text{C} \leq T_A \leq 85^\circ\text{C}; f = 50 \text{ Hz}$

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Test Circuit
		min.	typ.	max.		
Outputs pin 14, 15						
H-output voltage – $I_Q = 250 \text{ mA}$	$V_{14/15 H}$	$V_s - 3$	$V_s - 2.5$	$V_s - 1.0$	V	3.6
L-output voltage $I_Q = 2 \text{ mA}$	$V_{14/15 L}$	0.3	0.8	2	V	2.6
Pulse width (short pulse) S9 open	t_p	20	30	40	μs	1
Pulse width (short pulse) with C_{12}	t_p	530	620	760	$\mu\text{s}/\text{nF}$	1
Internal voltage control						
Reference voltage	V_{REF}	2.8	3.1	3.4	V	1
Parallel connection of 10 ICs possible						
TC of reference voltage	α_{REF}		2×10^{-4}	5×10^{-4}	1/K	1

Application Hints for External Components

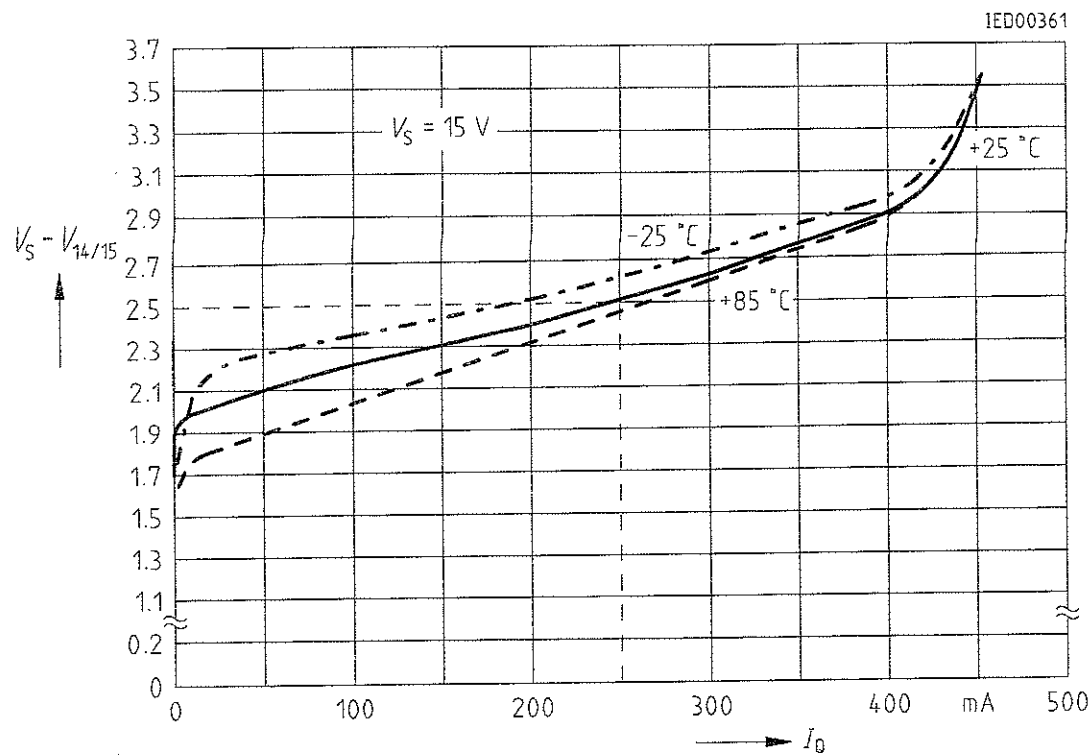
Ramp capacitance	C_{10}	min 500 pF	max $1 \mu\text{F}^{1)}$	The minimum and maximum values of I_{10} are to be observed
Triggering point	$t_{tr} = \frac{V_{11} \times R_9 \times C_{10}}{V_{REF} \times K}$		2)	
Charge current	$I_{10} = \frac{V_{REF} \times K}{R_9}$		2)	Ramp voltage $V_{10 \max} = V_S - 2 \text{ V}$ $V_{10} = \frac{V_{REF} \times K \times t}{R_9 \times C_{10}}$ 2)

Pulse Extension versus Temperature

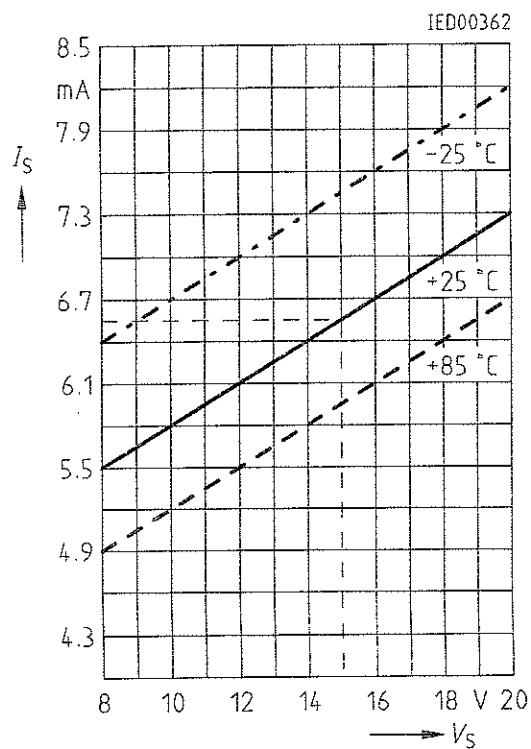


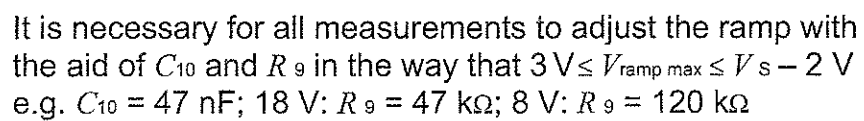
1) Attention to flyback times

2) $K = 1.10 \pm 20 \%$

Output Voltage measured to + V_S 

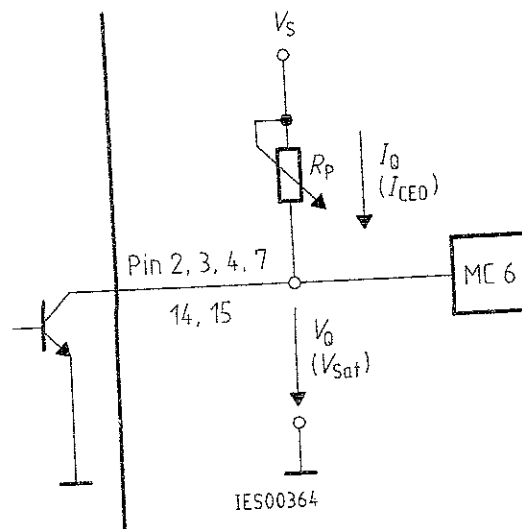
Supply Current versus Supply Voltage





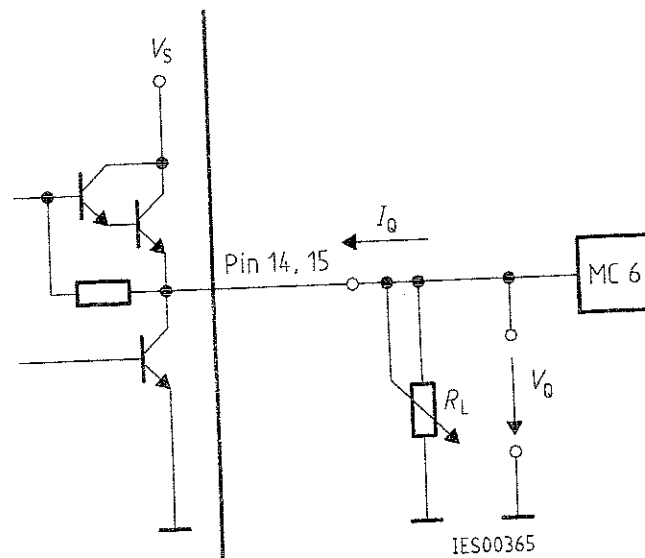
Test Circuit 1

SIEMENS



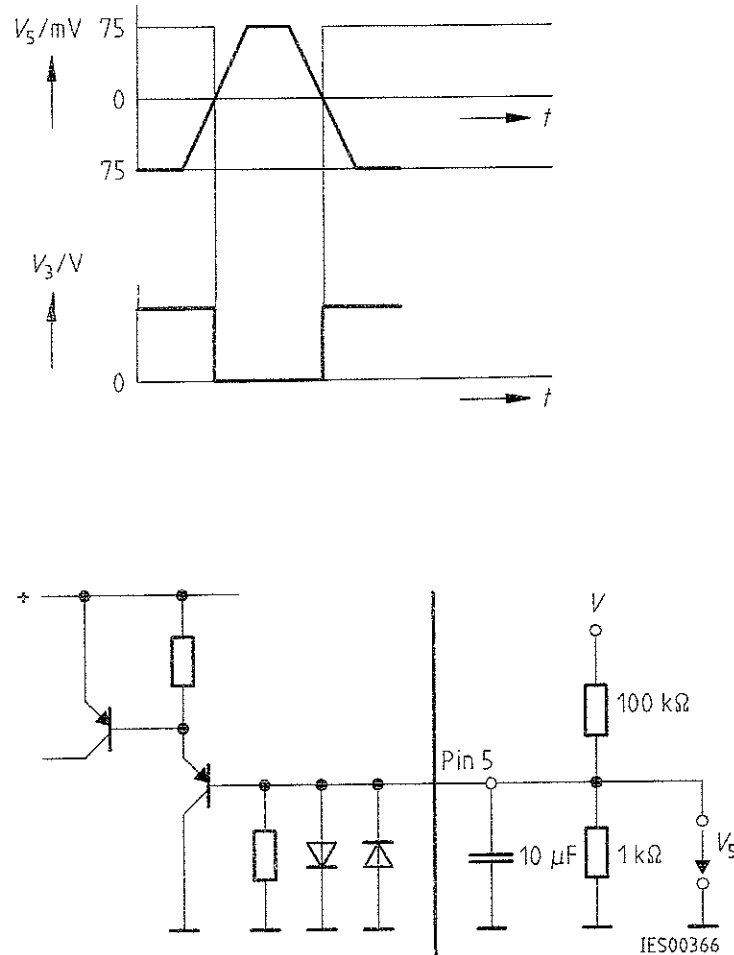
The remaining pins are connected as in test circuit 1

Test Circuit 2



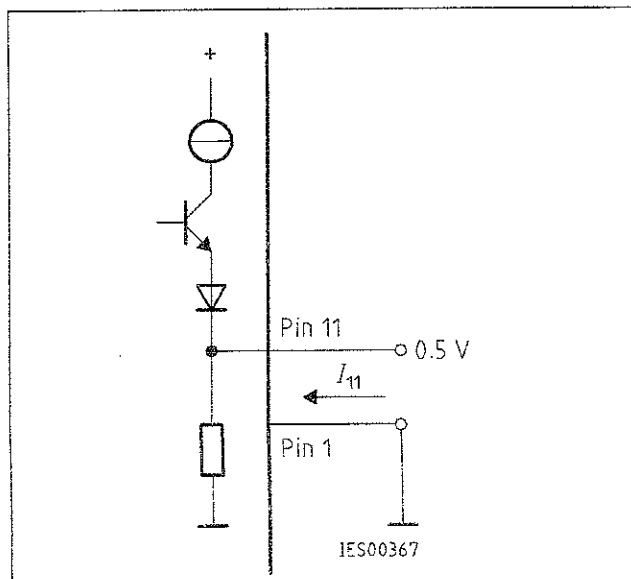
The remaining pins are connected as in test circuit 1

Test Circuit 3

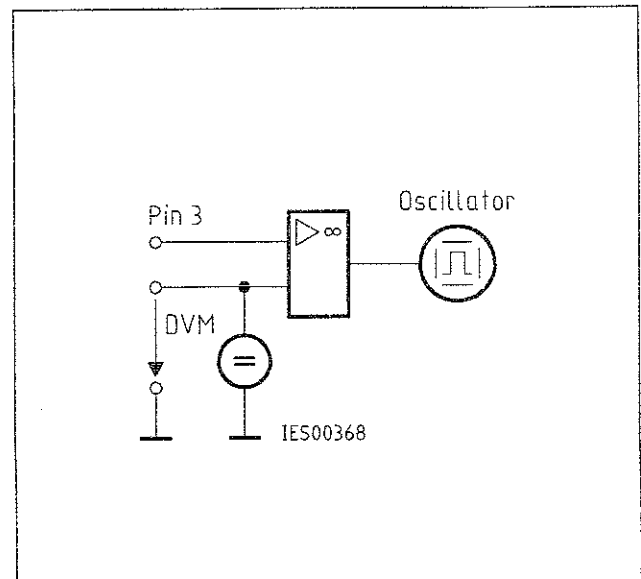


Remaining pins are connected as in test circuit 1
The 10 μF capacitor at pin 5 serves only for test purposes

Test Circuit 4

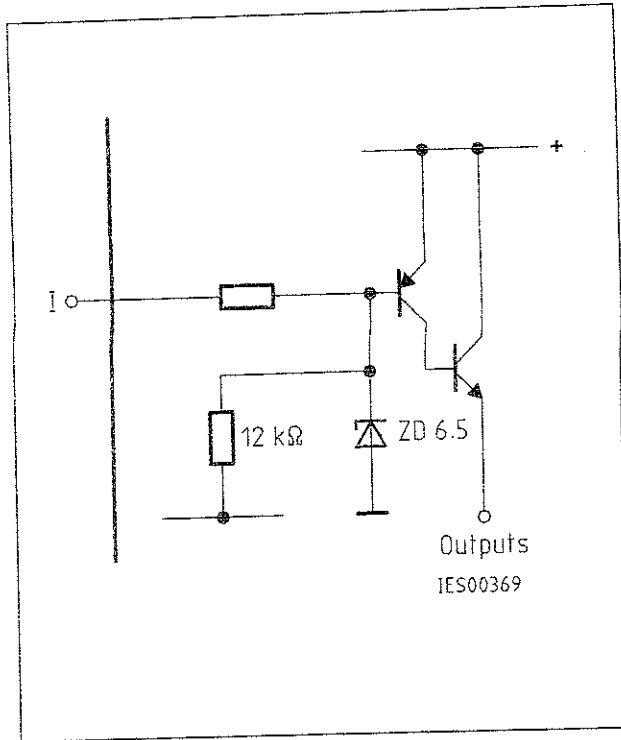


Test Circuit 5

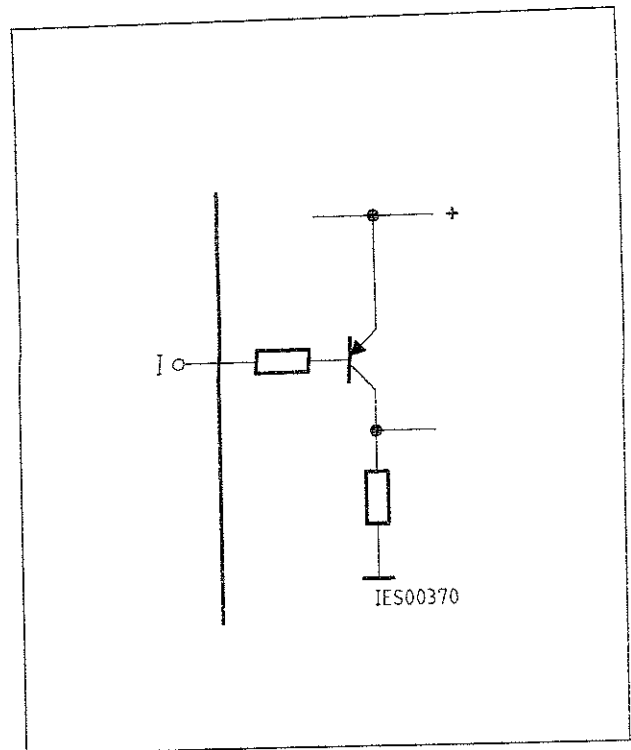


Test Circuit 6

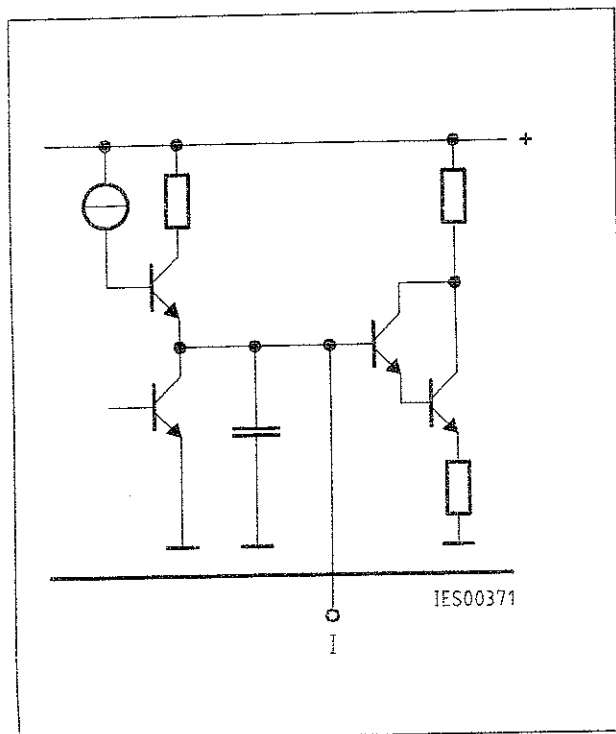
SIEMENS



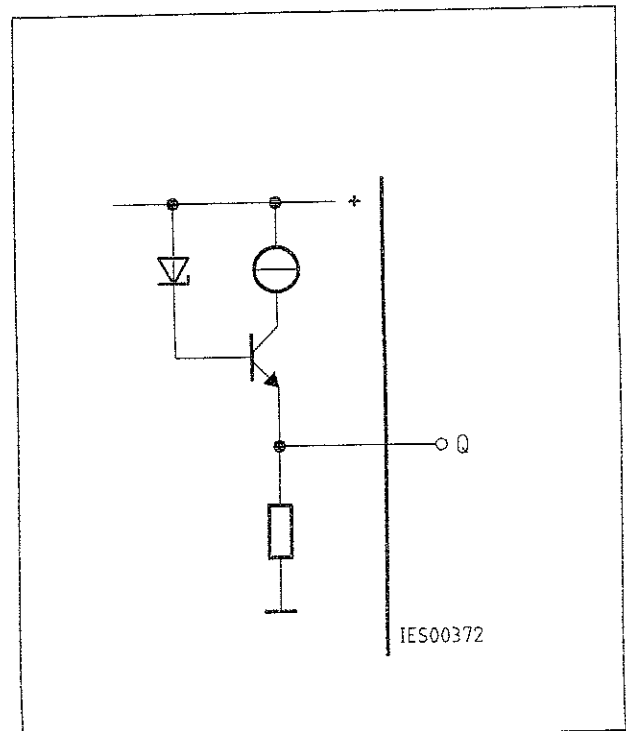
Inhibit 6



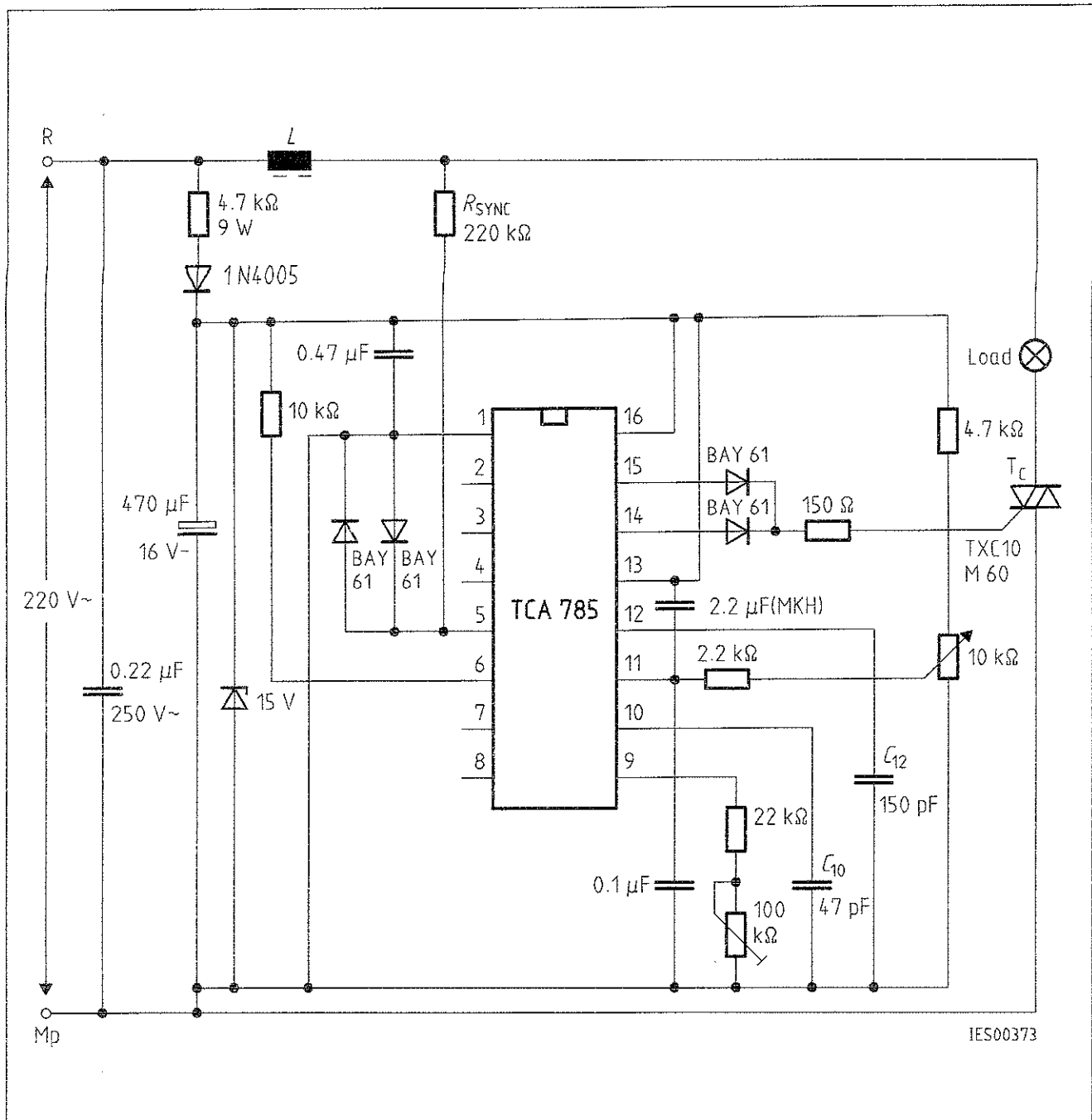
Long Pulse 13



Pulse Extension 12



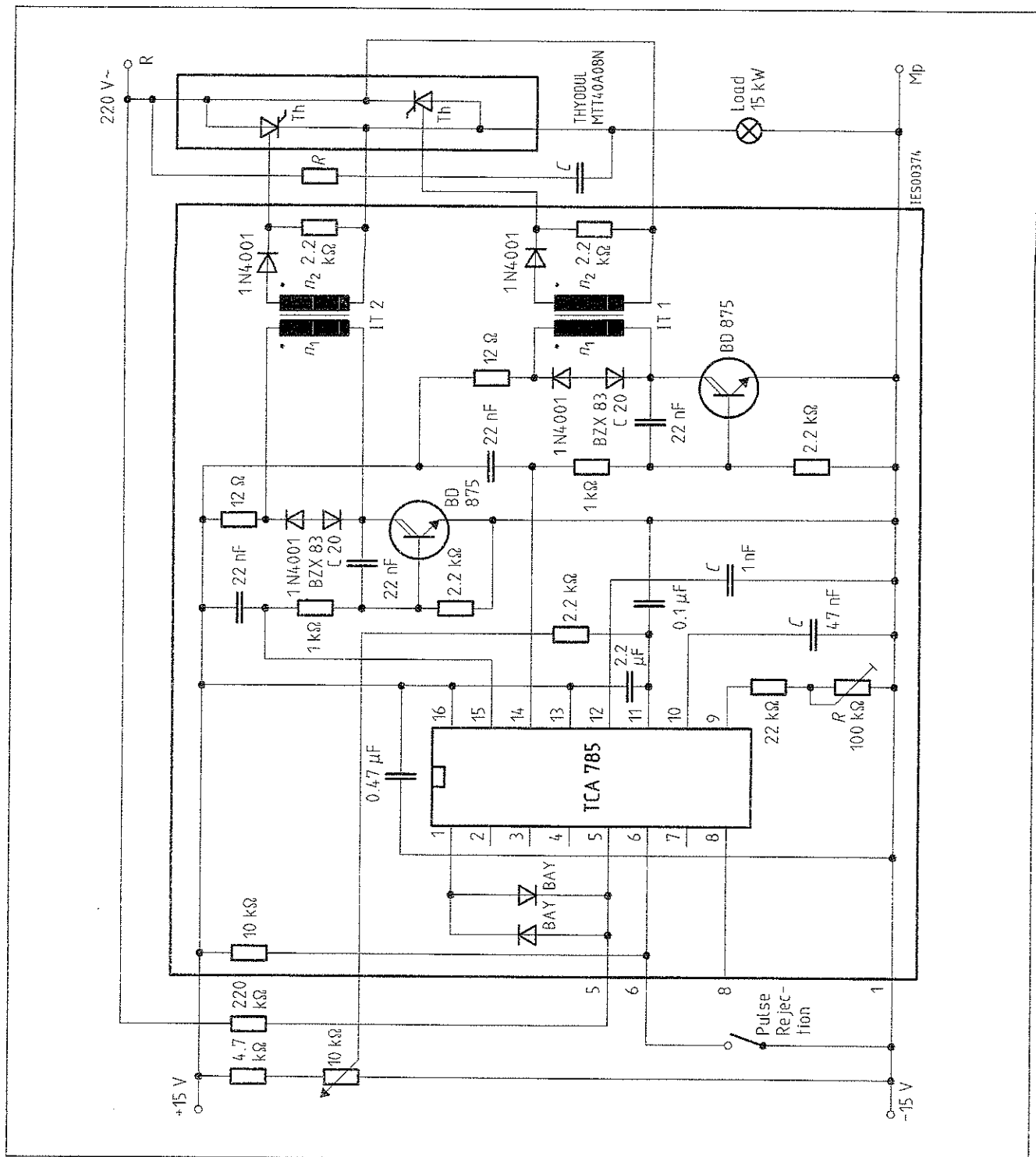
Reference Voltage 8



Application Examples

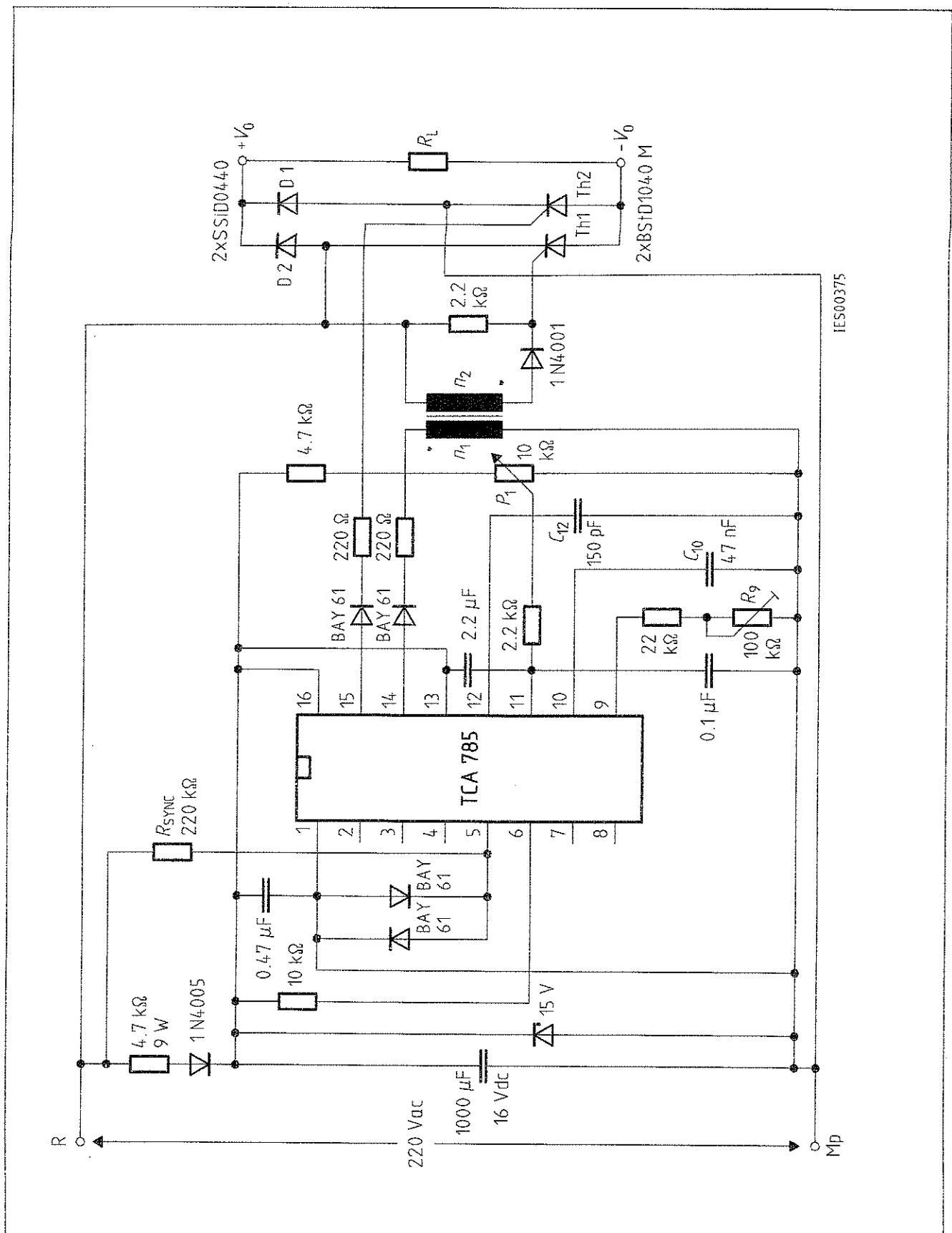
Triac Control for up to 50 mA Gate Trigger Current

A phase control with a directly controlled triac is shown in the figure. The triggering angle of the triac can be adjusted continuously between 0° and 180° with the aid of an external potentiometer. During the positive half-wave of the line voltage, the triac receives a positive gate pulse from the IC output pin 15. During the negative half-wave, it also receives a positive trigger pulse from pin 14. The trigger pulse width is approx. 100 μs.

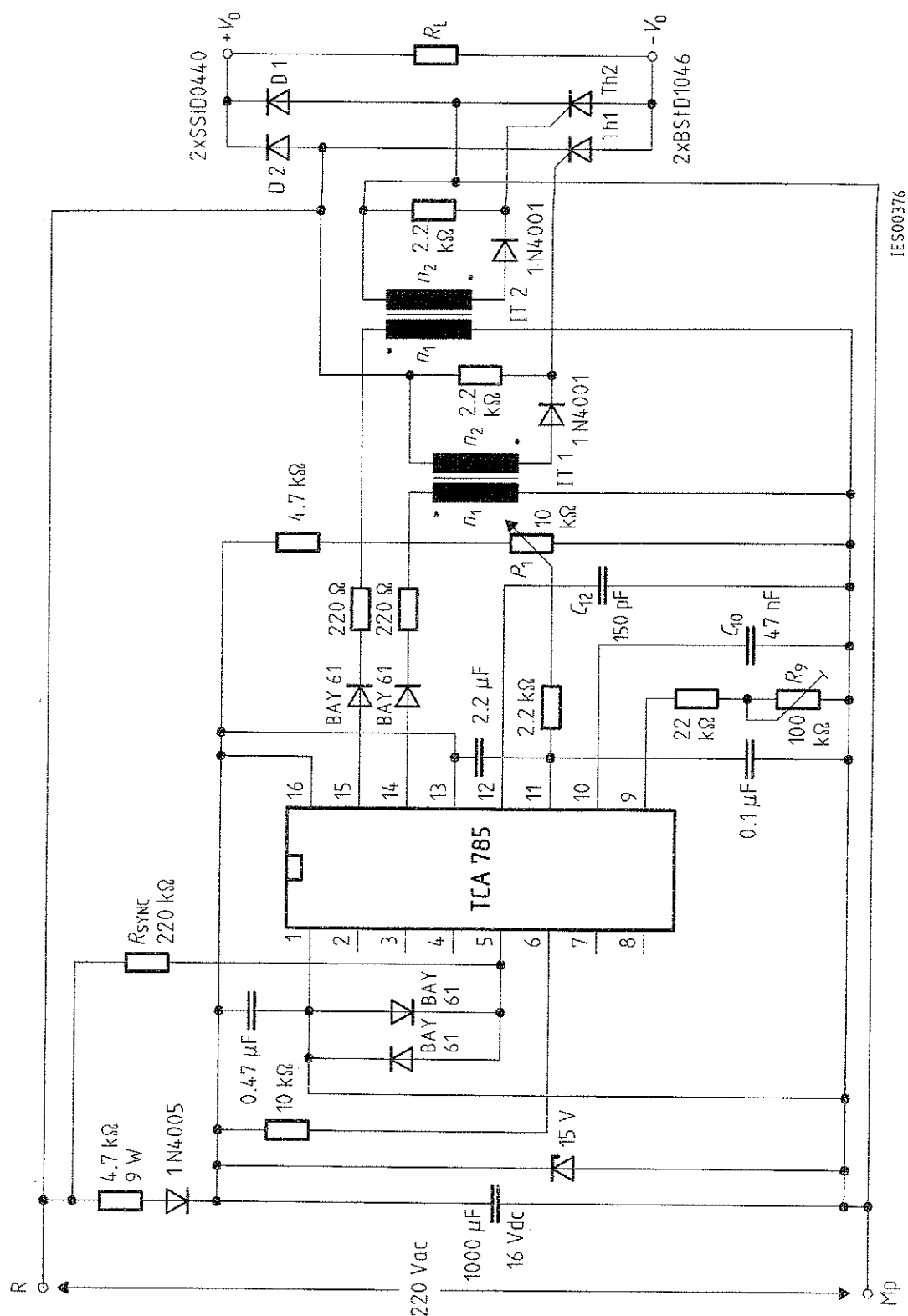


**Fully Controlled AC Power Controller
Circuit for Two High-Power Thyristors**

Shown is the possibility to trigger two antiparalleled thyristors with one IC TCA 785. The trigger pulse can be shifted continuously within a phase angle between 0° and 180° by means of a potentiometer. During the negative line half-wave the trigger pulse of pin 14 is fed to the relevant thyristor via a trigger pulse transformer. During the positive line half-wave, the gate of the second thyristor is triggered by a trigger pulse transformer at pin 15.



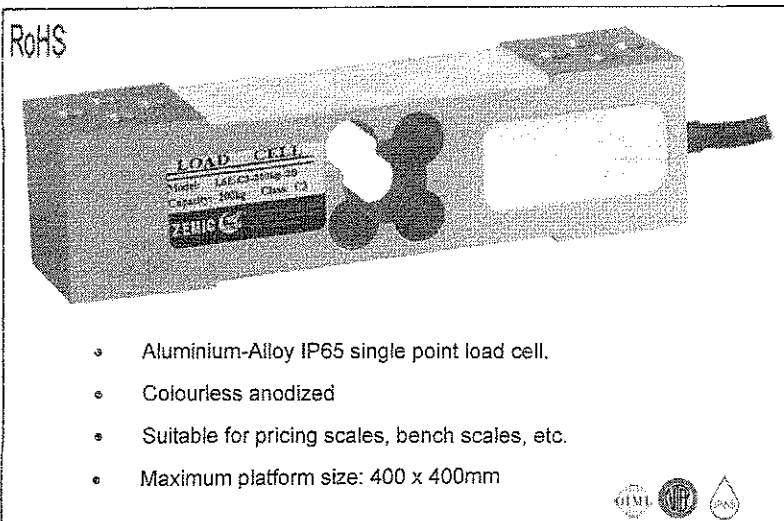
Half-Controlled Single-Phase Bridge Circuit with Trigger Pulse Transformer and Direct Control for Low-Power Thyristors



Half-Controlled Single-Phase Bridge Circuit with Two Trigger Pulse Transformers for Low-Power Thyristors

ANEXO 7

Capacity	Accuracy	Part-Number
50 kg	Cx	L6E-Cx-50kg-2B
60 kg	Cx	L6E-Cx-60kg-2B
80 kg	Cx	L6E-Cx-80kg-2B
100 kg	Cx	L6E-Cx-100kg-2B
150 kg	Cx	L6E-Cx-150kg-2B
200 kg	Cx	L6E-Cx-200kg-2B
300 kg	Cx	L6E-Cx-300kg-2B



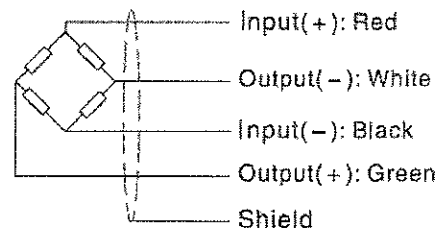
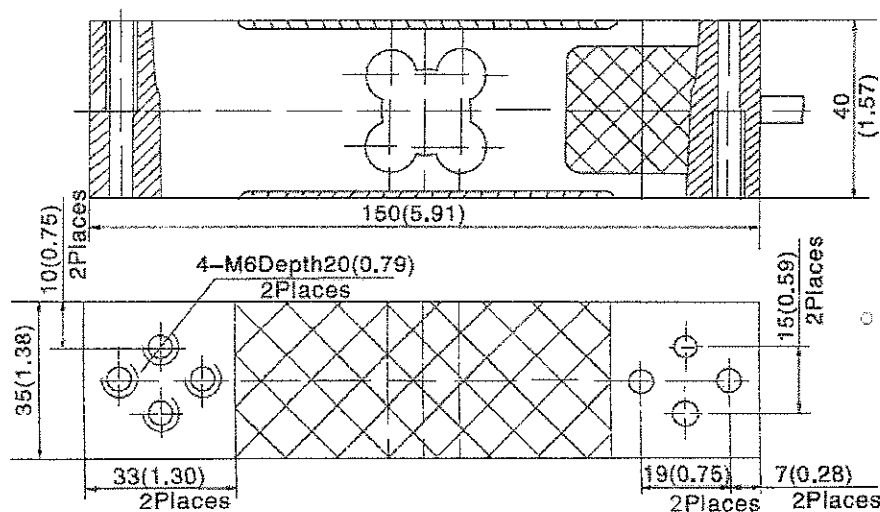
- Aluminium-Alloy IP65 single point load cell.
- Colourless anodized
- Suitable for pricing scales, bench scales, etc.
- Maximum platform size: 400 x 400mm



Specification:

Accuracy class		OIML R60 C3	OIML R60 C4	OIML R60 C5
Output sensitivity (= FS)	mV/V	2.0 ± 0.2		
Maximum capacity (E _{max})	kg	50, 60, 80, 100,	150, 200, 300	50, 60, 80, 100, 150, 200, 300
Maximum number of load cell intervals (n _{LC})		3000	4000	5000
Ratio of minimum LC verification interval $Y = E_{max} / v_{min}$	Y	10000	15000	20000
Ratio of minimum dead load output return $Z = E_{max} / 2 \cdot DR$	Z	4200	3300	5600
Combined Error	%FS	≤ ± 0.0230	≤ ± 0.0175	≤ ± 0.0140
Minimum dead load	kg	0		
Safe overload	of E _{max}	150 %		
Ultimate overload	of E _{max}	300 %		
Zero balance	of FS	≤ ± 2.0 %		
Excitation, recommended voltage	V	5 ~ 12		
Excitation maximum	V	18		
Terminal resistance, input	Ω	406 ± 6		
Terminal resistance, output	Ω	350 ± 3		
Insulation resistance	MΩ	≥ 5000 (at 50VDC)		
Temperature range, compensated	°C	-10 ~ +40		
Temperature range, operating	°C	-35 ~ +65		
Element material		Aluminium		
Corner correction		≤ ± 0.02% Load value/100mm		
Recommended torque on fixation bolts	Nm	10		
Ingress Protection (according to EN 60529)		IP65		

Outline Dimensions in mm (inch)



- Dimensions and specifications are subject to change without notice.

Wiring:

- Adopt a shielded, 4 conductor cable, and cable jacket is PVC.
- Cable length: 2 ± 0.1m
- Cable diameter: 5 ± 0.2mm.
- Shield not connected to element.
- Different cable lengths are available on customer request

ANEXO 8

FEATURES

EASY TO USE

Gain Set with One External Resistor
(Gain Range 1 to 1000)

Wide Power Supply Range (± 2.3 V to ± 18 V)

Higher Performance than Three Op Amp IA Designs

Available in 8-Lead DIP and SOIC Packaging

Low Power, 1.3 mA max Supply Current

EXCELLENT DC PERFORMANCE ("B GRADE")

50 μ V max, Input Offset Voltage

0.6 μ V/ $^{\circ}$ C max, Input Offset Drift

1.0 nA max, Input Bias Current

100 dB min Common-Mode Rejection Ratio ($G = 10$)

LOW NOISE

9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$, @ 1 kHz, Input Voltage Noise

0.28 μ V p-p Noise (0.1 Hz to 10 Hz)

EXCELLENT AC SPECIFICATIONS

120 kHz Bandwidth ($G = 100$)

15 μ s Settling Time to 0.01%

APPLICATIONS

Weigh Scales

ECG and Medical Instrumentation

Transducer Interface

Data Acquisition Systems

Industrial Process Controls

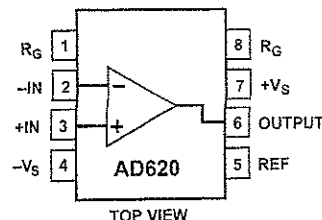
Battery Powered and Portable Equipment

PRODUCT DESCRIPTION

The AD620 is a low cost, high accuracy instrumentation amplifier that requires only one external resistor to set gains of 1 to

CONNECTION DIAGRAM

8-Lead Plastic Mini-DIP (N), Cerdip (Q)
and SOIC (R) Packages



1000. Furthermore, the AD620 features 8-lead SOIC and DIP packaging that is smaller than discrete designs, and offers lower power (only 1.3 mA max supply current), making it a good fit for battery powered, portable (or remote) applications.

The AD620, with its high accuracy of 40 ppm maximum nonlinearity, low offset voltage of 50 μ V max and offset drift of 0.6 μ V/ $^{\circ}$ C max, is ideal for use in precision data acquisition systems, such as weigh scales and transducer interfaces. Furthermore, the low noise, low input bias current, and low power of the AD620 make it well suited for medical applications such as ECG and noninvasive blood pressure monitors.

The low input bias current of 1.0 nA max is made possible with the use of SuperBeta processing in the input stage. The AD620 works well as a preamplifier due to its low input voltage noise of 9 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$ at 1 kHz, 0.28 μ V p-p in the 0.1 Hz to 10 Hz band, 0.1 pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$ input current noise. Also, the AD620 is well suited for multiplexed applications with its settling time of 15 μ s to 0.01% and its cost is low enough to enable designs with one in-amp per channel.

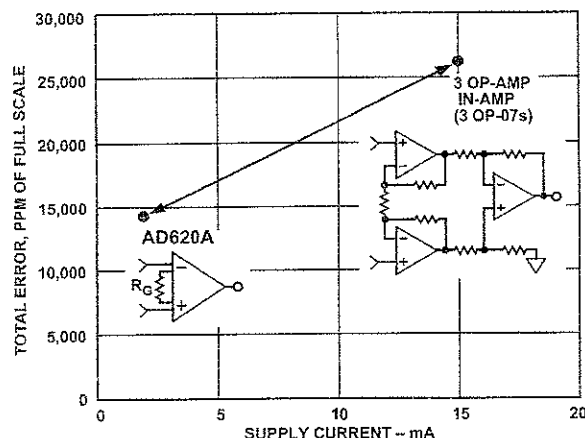


Figure 1. Three Op Amp IA Designs vs. AD620

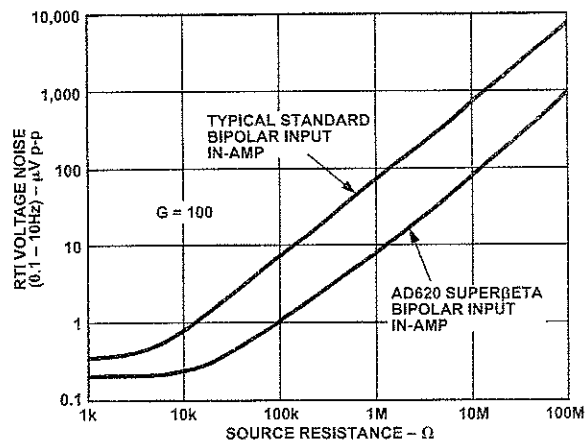


Figure 2. Total Voltage Noise vs. Source Resistance

REV. E

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

AD620—SPECIFICATIONS

(Typical @ +25°C, $V_S = \pm 15$ V, and $R_L = 2$ k Ω , unless otherwise noted)

Model	Conditions	AD620A			AD620B			AD620S ¹			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
GAIN	$G = 1 + (49.4 \text{ k}\Omega/R_G)$										
Gain Range		1		10,000	1		10,000	1		10,000	
Gain Error ²	$V_{OUT} = \pm 10$ V										
G = 1			0.03	0.10		0.01	0.02		0.03	0.10	%
G = 10			0.15	0.30		0.10	0.15		0.15	0.30	%
G = 100			0.15	0.30		0.10	0.15		0.15	0.30	%
G = 1000			0.40	0.70		0.35	0.50		0.40	0.70	%
Nonlinearity,	$V_{OUT} = -10$ V to $+10$ V,										
G = 1–1000	$R_L = 10$ k Ω		10	40		10	40		10	40	ppm
G = 1–100	$R_L = 2$ k Ω		10	95		10	95		10	95	ppm
Gain vs. Temperature	G = 1			10			10			10	ppm/°C
	Gain > 1 ²			–50			–50			–50	ppm/°C
VOLTAGE OFFSET	(Total RTI Error = $V_{OSI} + V_{OSO}/G$)										
Input Offset, V_{OSI}	$V_S = \pm 5$ V to ± 15 V		30	125		15	50		30	125	μ V
Over Temperature	$V_S = \pm 5$ V to ± 15 V			185			85			225	μ V
Average TC	$V_S = \pm 5$ V to ± 15 V		0.3	1.0		0.1	0.6		0.3	1.0	μ V/°C
Output Offset, V_{OSO}	$V_S = \pm 15$ V		400	1000		200	500		400	1000	μ V
	$V_S = \pm 5$ V			1500			750			1500	μ V
Over Temperature	$V_S = \pm 5$ V to ± 15 V			2000			1000			2000	μ V
Average TC	$V_S = \pm 5$ V to ± 15 V		5.0	15		2.5	7.0		5.0	15	μ V/°C
Offset Referred to the Input vs. Supply (PSR)	$V_S = \pm 2.3$ V to ± 18 V										
G = 1		80	100		80	100		80	100		dB
G = 10		95	120		100	120		95	120		dB
G = 100		110	140		120	140		110	140		dB
G = 1000		110	140		120	140		110	140		dB
INPUT CURRENT											
Input Bias Current			0.5	2.0		0.5	1.0		0.5	2	nA
Over Temperature				2.5			1.5			4	nA
Average TC			3.0			3.0			8.0		pA/°C
Input Offset Current			0.3	1.0		0.3	0.5		0.3	1.0	nA
Over Temperature				1.5			0.75			2.0	nA
Average TC			1.5			1.5			8.0		pA/°C
INPUT											
Input Impedance											
Differential			10 2			10 2			10 2		G Ω pF
Common-Mode			10 2			10 2			10 2		G Ω pF
Input Voltage Range ³	$V_S = \pm 2.3$ V to ± 5 V	$-V_S + 1.9$		$+V_S - 1.2$	$-V_S + 1.9$		$+V_S - 1.2$	$-V_S + 1.9$		$+V_S - 1.2$	V
Over Temperature	$V_S = \pm 5$ V to ± 18 V	$-V_S + 2.1$		$+V_S - 1.3$	$-V_S + 2.1$		$+V_S - 1.3$	$-V_S + 2.1$		$+V_S - 1.3$	V
		$-V_S + 1.9$		$+V_S - 1.4$	$-V_S + 1.9$		$+V_S - 1.4$	$-V_S + 1.9$		$+V_S - 1.4$	V
Over Temperature		$-V_S + 2.1$		$+V_S - 1.4$	$-V_S + 2.1$		$+V_S - 1.4$	$-V_S + 2.3$		$+V_S - 1.4$	V
Common-Mode Rejection Ratio DC to 60 Hz with 1 k Ω Source Imbalance	$V_{CM} = 0$ V to ± 10 V										
G = 1		73	90		80	90		73	90		dB
G = 10		93	110		100	110		93	110		dB
G = 100		110	130		120	130		110	130		dB
G = 1000		110	130		120	130		110	130		dB
OUTPUT											
Output Swing	$R_L = 10$ k Ω , $V_S = \pm 2.3$ V to ± 5 V	$-V_S + 1.1$		$+V_S - 1.2$	$-V_S + 1.1$		$+V_S - 1.2$	$-V_S + 1.1$		$+V_S - 1.2$	V
Over Temperature	$V_S = \pm 5$ V to ± 18 V	$-V_S + 1.4$		$+V_S - 1.3$	$-V_S + 1.4$		$+V_S - 1.3$	$-V_S + 1.6$		$+V_S - 1.3$	V
		$-V_S + 1.2$		$+V_S - 1.4$	$-V_S + 1.2$		$+V_S - 1.4$	$-V_S + 1.2$		$+V_S - 1.4$	V
Over Temperature		$-V_S + 1.6$		$+V_S - 1.5$	$-V_S + 1.6$		$+V_S - 1.5$	$-V_S + 2.3$		$+V_S - 1.5$	V
Short Current Circuit		± 18			± 18			± 18			mA

Model	Conditions	AD620A			AD620B			AD620S ¹			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
DYNAMIC RESPONSE											
Small Signal -3 dB Bandwidth	10 V Step		1000		1000		1000		1000		kHz
G = 1			800		800		800		800		kHz
G = 10			120		120		120		120		kHz
G = 100			12		12		12		12		kHz
G = 1000		0.75	1.2		0.75	1.2		0.75	1.2		V/μs
Slew Rate											
Settling Time to 0.01%			15		15		15		15		μs
G = 1-100		150		150		150		150		μs	
G = 1000											
NOISE											
Voltage Noise, 1 kHz	f = 1 kHz	$Total\ RTI\ Noise = \sqrt{(e_{ni}^2) + (e_{no}/G)^2}$									
Input, Voltage Noise, e_{ni}			9	13		9	13		9	13	nV/√Hz
Output, Voltage Noise, e_{no}			72	100		72	100		72	100	nV/√Hz
RTI, 0.1 Hz to 10 Hz						3.0	6.0		3.0	6.0	μV p-p
G = 1			3.0			0.55	0.8		0.55	0.8	μV p-p
G = 10			0.55			0.28	0.4		0.28	0.4	μV p-p
G = 100-1000			0.28			100			100		fA/√Hz
Current Noise			100			10			10		pA p-p
0.1 Hz to 10 Hz			10								
REFERENCE INPUT											
R_{IN}	$V_{IN+}, V_{REF} = 0$		20		20		20		20		kΩ
I_{IN}			+50	+60		+50	+60		+50	+60	μA
Voltage Range		$-V_S + 1.6$		$+V_S - 1.6$	$-V_S + 1.6$		$+V_S - 1.6$	$-V_S + 1.6$		$+V_S - 1.6$	V
Gain to Output			1 ± 0.0001			1 ± 0.0001			1 ± 0.0001		
POWER SUPPLY											
Operating Range ⁴	$V_S = \pm 2.3\text{ V to } \pm 18\text{ V}$	± 2.3		± 18	± 2.3		± 18	± 2.3		± 18	V
Quiescent Current			0.9	1.3		0.9	1.3		0.9	1.3	mA
Over Temperature			1.1	1.6		1.1	1.6		1.1	1.6	mA
TEMPERATURE RANGE											
For Specified Performance			-40 to +85			-40 to +85			-55 to +125		°C

NOTES

¹See Analog Devices military data sheet for 883B tested specifications.²Does not include effects of external resistor R_G .³One input grounded. $G = 1$.⁴This is defined as the same supply range which is used to specify PSR.

Specifications subject to change without notice.

AD620

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS¹

Supply Voltage	 ± 18 V
Internal Power Dissipation ²	 650 mW
Input Voltage (Common Mode)	 $\pm V_S$
Differential Input Voltage	 ± 25 V
Output Short Circuit Duration	 Indefinite
Storage Temperature Range (Q)	 -65°C to $+150^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range (N, R)	 -65°C to $+125^\circ\text{C}$
Operating Temperature Range	
AD620 (A, B)	 -40°C to $+85^\circ\text{C}$
AD620 (S)	 -55°C to $+125^\circ\text{C}$
Lead Temperature Range (Soldering 10 seconds)	 $+300^\circ\text{C}$

NOTES

¹Stresses above those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only; functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational section of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

²Specification is for device in free air:

8-Lead Plastic Package: $\theta_{JA} = 95^\circ\text{C/W}$

8-Lead Cerdip Package: $\theta_{JA} = 110^\circ\text{C/W}$

8-Lead SOIC Package: $\theta_{JA} = 155^\circ\text{C/W}$

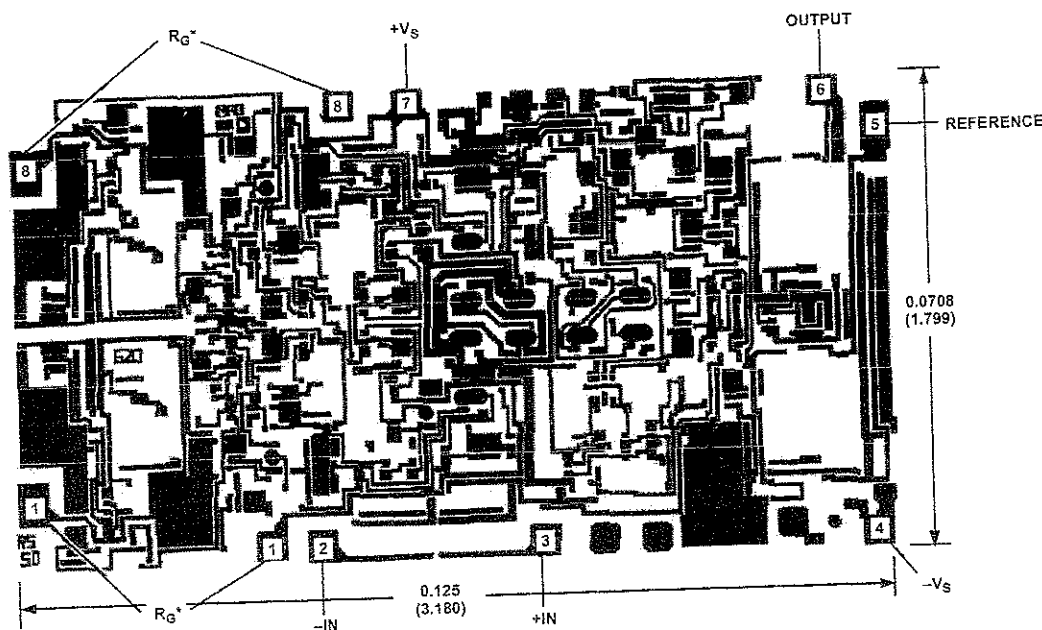
ORDERING GUIDE

Model	Temperature Ranges	Package Options*
AD620AN	-40°C to $+85^\circ\text{C}$	N-8
AD620BN	-40°C to $+85^\circ\text{C}$	N-8
AD620AR	-40°C to $+85^\circ\text{C}$	SO-8
AD620AR-REEL	-40°C to $+85^\circ\text{C}$	13" REEL
AD620AR-REEL7	-40°C to $+85^\circ\text{C}$	7" REEL
AD620BR	-40°C to $+85^\circ\text{C}$	SO-8
AD620BR-REEL	-40°C to $+85^\circ\text{C}$	13" REEL
AD620BR-REEL7	-40°C to $+85^\circ\text{C}$	7" REEL
AD620ACHIPS	-40°C to $+85^\circ\text{C}$	Die Form
AD620SQ/883B	-55°C to $+125^\circ\text{C}$	Q-8

*N = Plastic DIP; Q = Cerdip; SO = Small Outline.

METALIZATION PHOTOGRAPH

Dimensions shown in inches and (mm).
Contact factory for latest dimensions.



*FOR CHIP APPLICATIONS: THE PADS $1R_G$ AND $8R_G$ MUST BE CONNECTED IN PARALLEL TO THE EXTERNAL GAIN REGISTER R_G . DO NOT CONNECT THEM IN SERIES TO R_G . FOR UNITY GAIN APPLICATIONS WHERE R_G IS NOT REQUIRED, THE PADS $1R_G$ MAY SIMPLY BE BONDED TOGETHER, AS WELL AS THE PADS $8R_G$.

CAUTION

ESD (electrostatic discharge) sensitive device. Electrostatic charges as high as 4000 V readily accumulate on the human body and test equipment and can discharge without detection. Although the AD620 features proprietary ESD protection circuitry, permanent damage may occur on devices subjected to high energy electrostatic discharges. Therefore, proper ESD precautions are recommended to avoid performance degradation or loss of functionality.



Typical Characteristics (@ +25°C, $V_S = \pm 15$ V, $R_L = 2$ k Ω , unless otherwise noted)

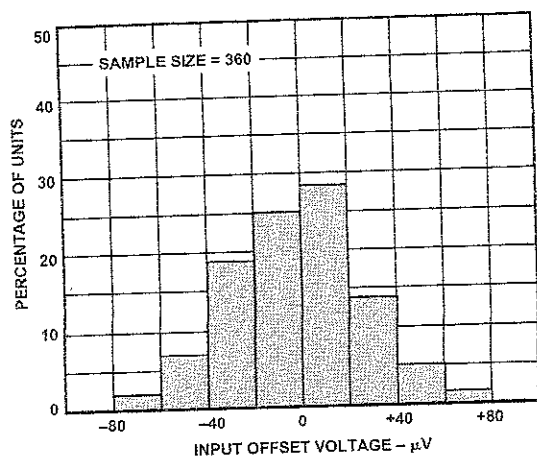


Figure 3. Typical Distribution of Input Offset Voltage

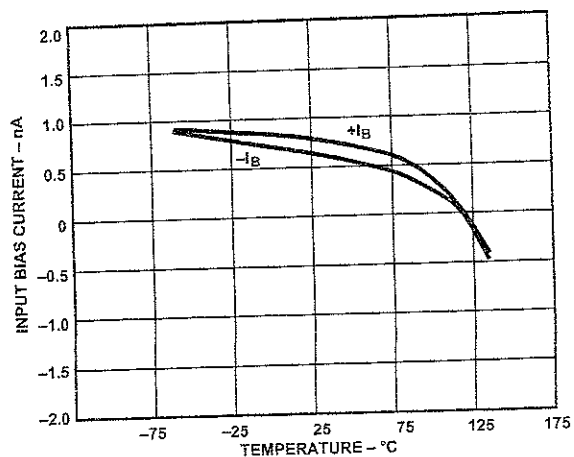


Figure 6. Input Bias Current vs. Temperature

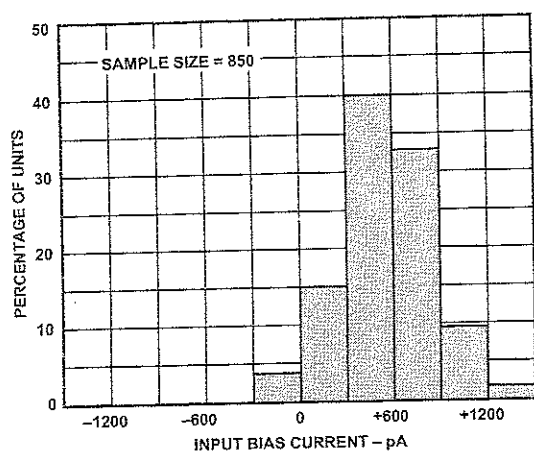


Figure 4. Typical Distribution of Input Bias Current

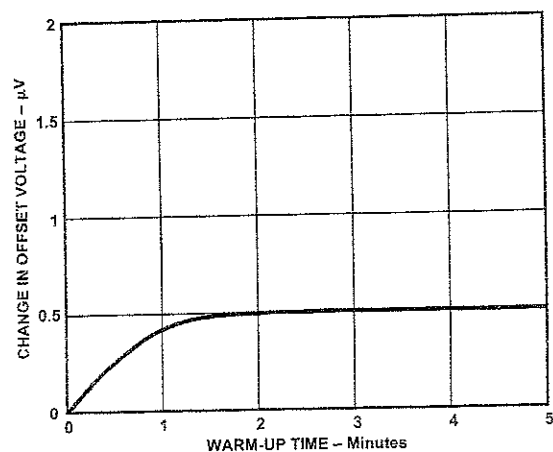


Figure 7. Change in Input Offset Voltage vs. Warm-Up Time

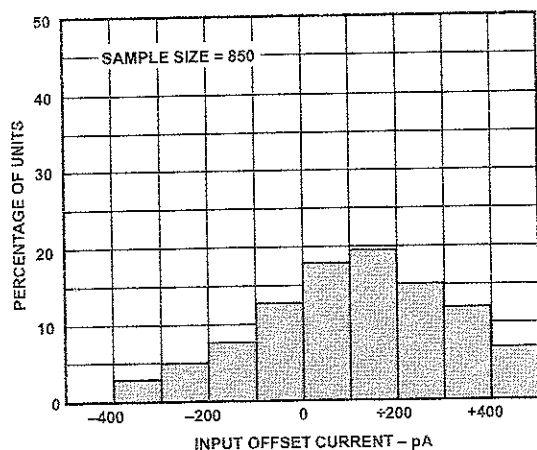


Figure 5. Typical Distribution of Input Offset Current

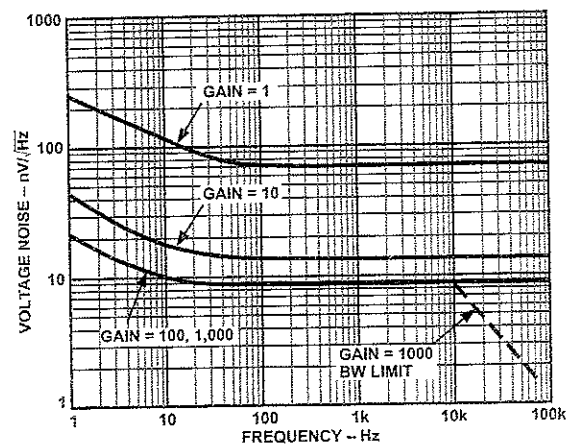


Figure 8. Voltage Noise Spectral Density vs. Frequency, ($G = 1-1000$)

AD620—Typical Characteristics

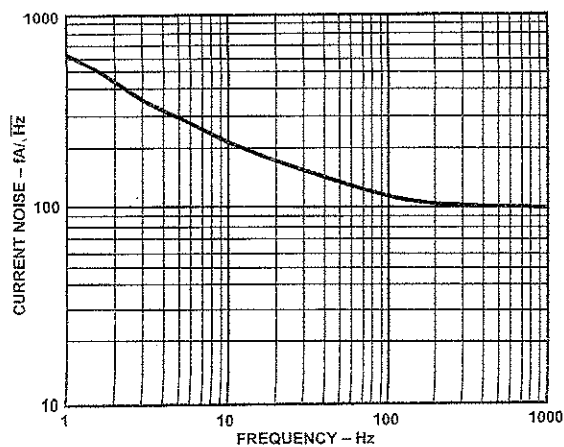


Figure 9. Current Noise Spectral Density vs. Frequency

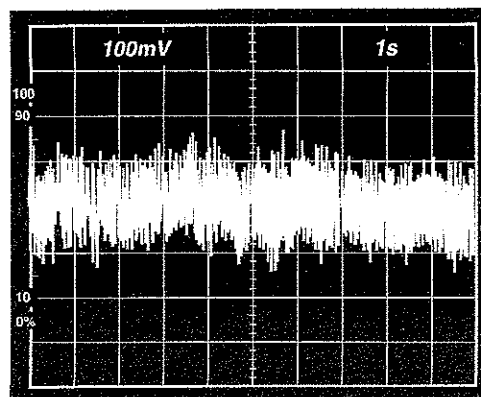


Figure 11. 0.1 Hz to 10 Hz Current Noise, 5 pA/Div

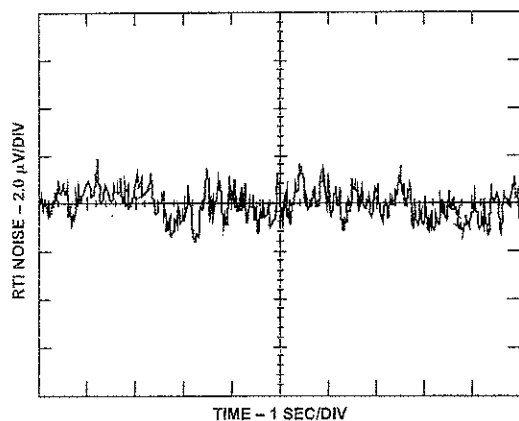


Figure 10a. 0.1 Hz to 10 Hz RTI Voltage Noise ($G = 1$)

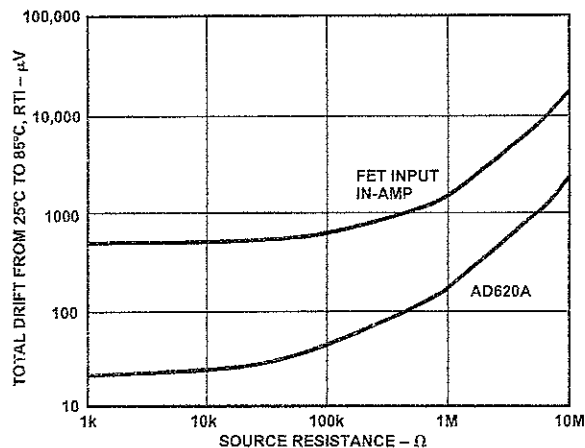


Figure 12. Total Drift vs. Source Resistance

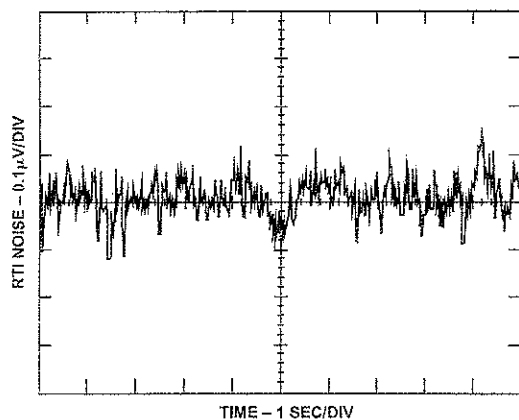


Figure 10b. 0.1 Hz to 10 Hz RTI Voltage Noise ($G = 1000$)

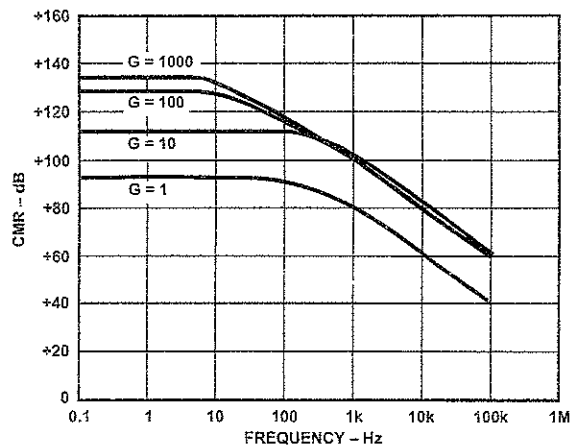


Figure 13. CMR vs. Frequency, RTI, Zero to 1 k Ω Source Imbalance

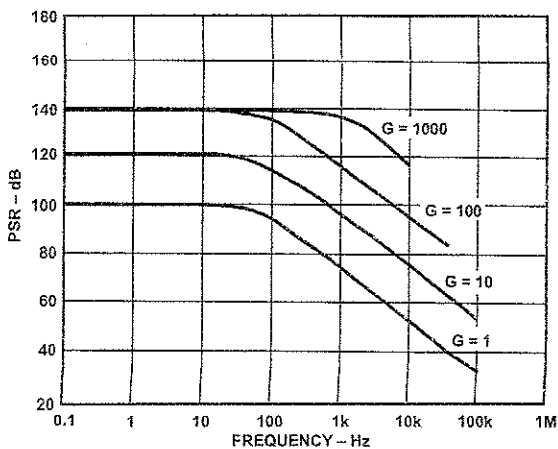
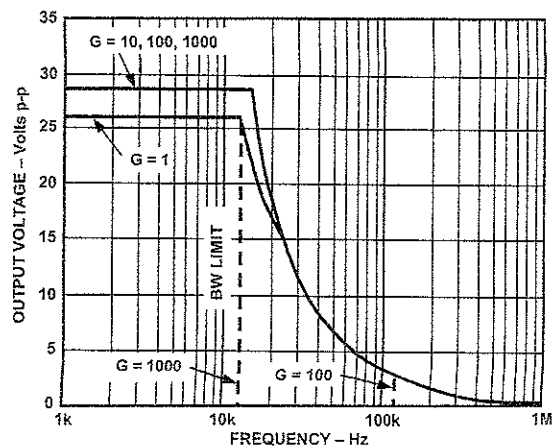
Figure 14. Positive PSR vs. Frequency, RTI ($G = 1-1000$)

Figure 17. Large Signal Frequency Response

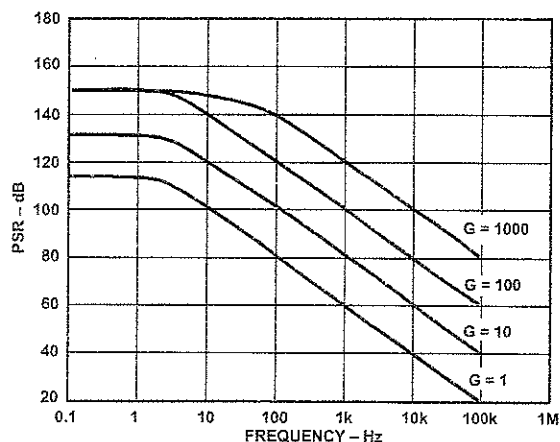
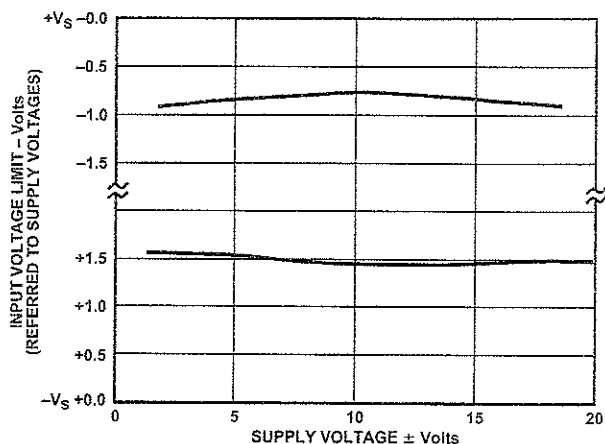
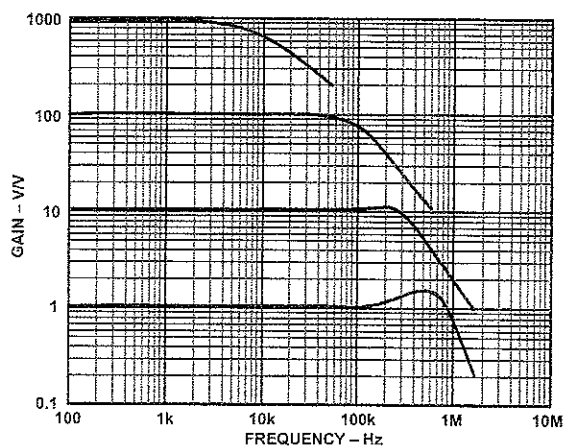
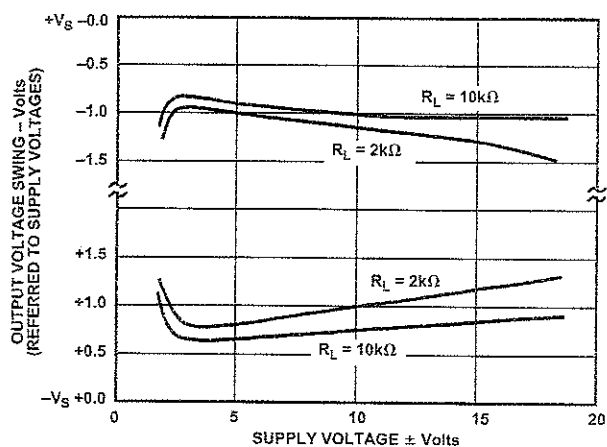
Figure 15. Negative PSR vs. Frequency, RTI ($G = 1-1000$)Figure 18. Input Voltage Range vs. Supply Voltage, $G = 1$ 

Figure 16. Gain vs. Frequency

Figure 19. Output Voltage Swing vs. Supply Voltage, $G = 10$

AD620

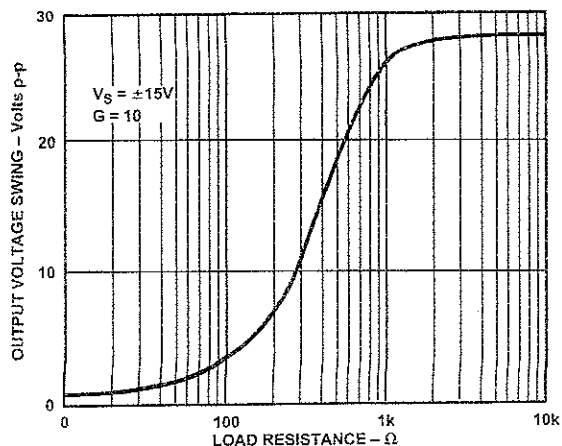


Figure 20. Output Voltage Swing vs. Load Resistance

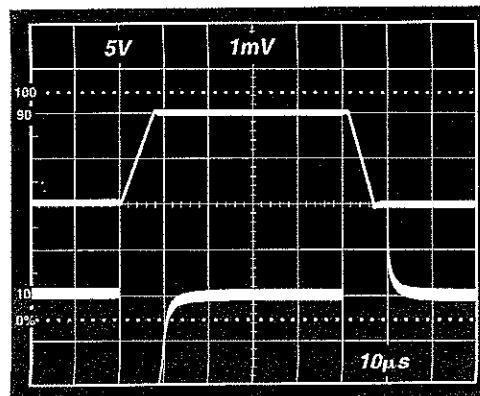


Figure 23. Large Signal Response and Settling Time, $G = 10$ ($0.5 \text{ mV} = 0.01\%$)

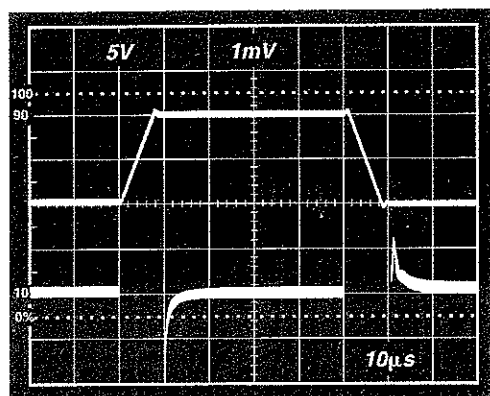


Figure 21. Large Signal Pulse Response and Settling Time $G = 1$ ($0.5 \text{ mV} = 0.01\%$)

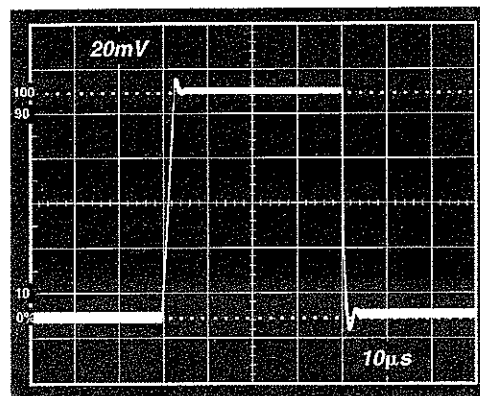


Figure 24. Small Signal Response, $G = 10$, $R_L = 2 \text{ k}\Omega$, $C_L = 100 \text{ pF}$

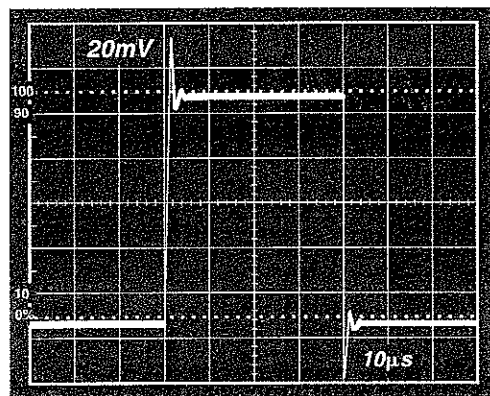


Figure 22. Small Signal Response, $G = 1$, $R_L = 2 \text{ k}\Omega$, $C_L = 100 \text{ pF}$

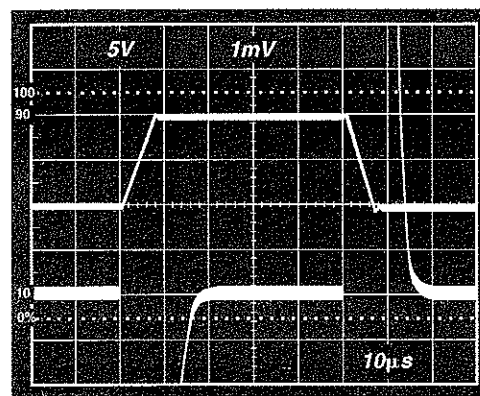


Figure 25. Large Signal Response and Settling Time, $G = 100$ ($0.5 \text{ mV} = 0.01\%$)

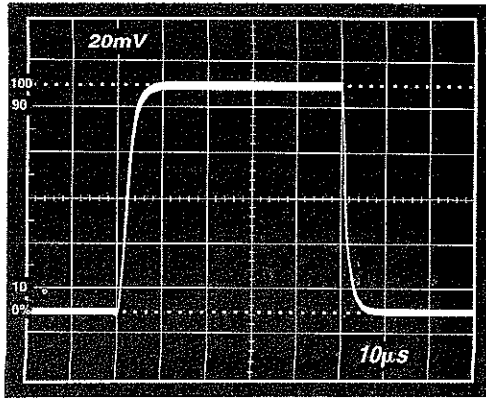


Figure 26. Small Signal Pulse Response, $G = 100$, $R_L = 2 \text{ k}\Omega$, $C_L = 100 \text{ pF}$

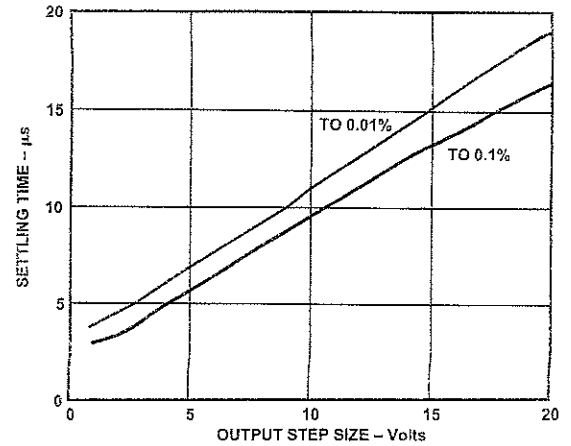


Figure 29. Settling Time vs. Step Size ($G = 1$)

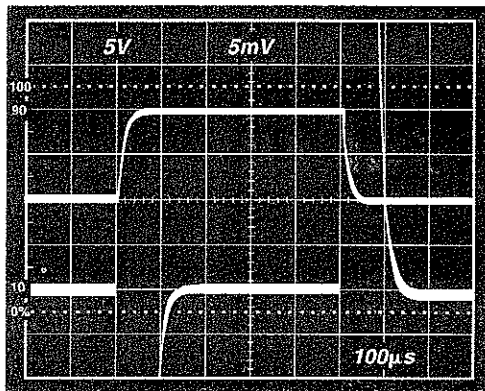


Figure 27. Large Signal Response and Settling Time, $G = 1000$ ($0.5 \text{ mV} = 0.01\%$)

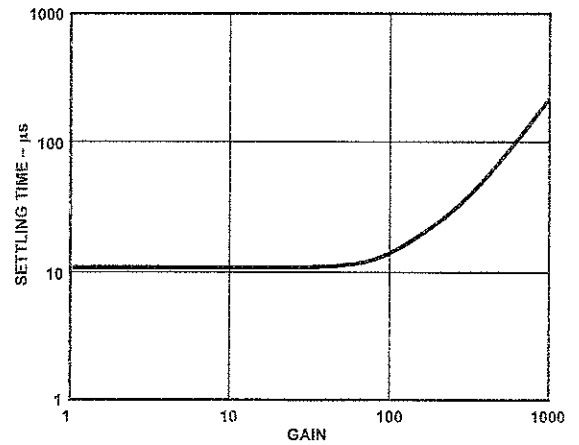


Figure 30. Settling Time to 0.01% vs. Gain, for a 10 V Step

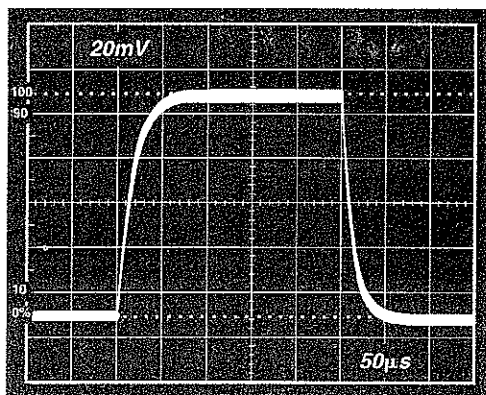


Figure 28. Small Signal Pulse Response, $G = 1000$, $R_L = 2 \text{ k}\Omega$, $C_L = 100 \text{ pF}$

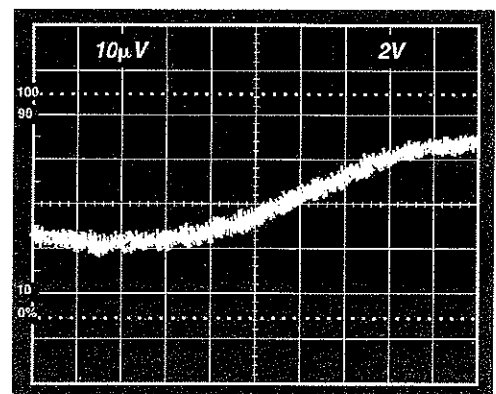


Figure 31a. Gain Nonlinearity, $G = 1$, $R_L = 10 \text{ k}\Omega$ ($10 \mu\text{V} = 1 \text{ ppm}$)

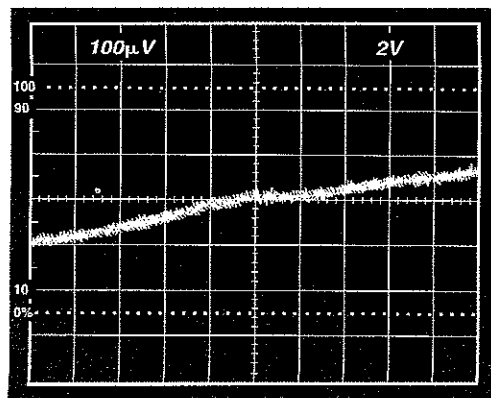


Figure 31b. Gain Nonlinearity, $G = 100$, $R_L = 10 \text{ k}\Omega$
($100 \mu\text{V} = 10 \text{ ppm}$)

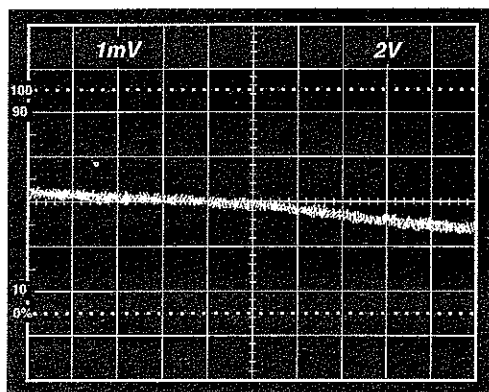


Figure 31c. Gain Nonlinearity, $G = 1000$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$
(1 mV = 100 ppm)

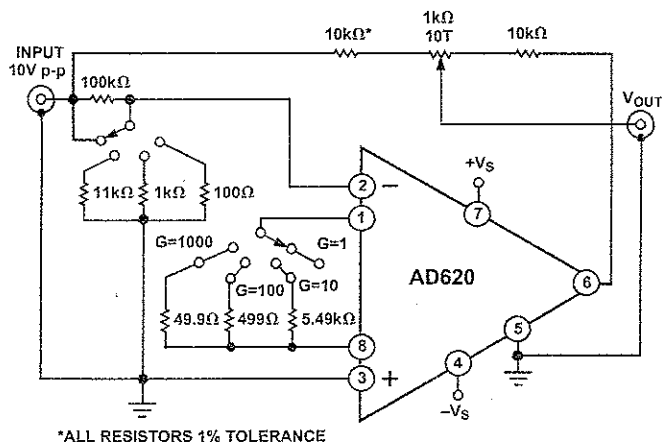


Figure 32. Settling Time Test Circuit

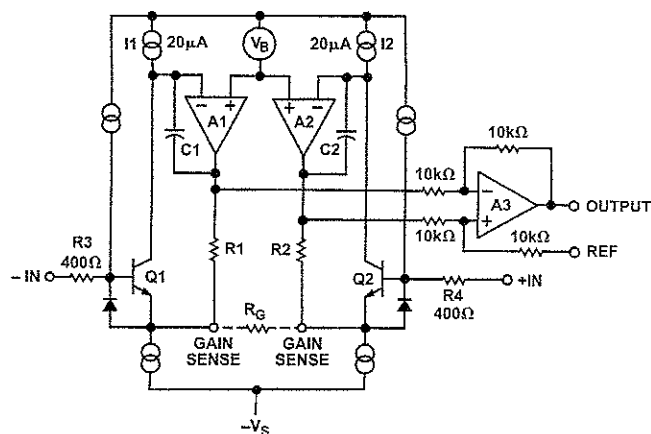


Figure 33. Simplified Schematic of AD620

THEORY OF OPERATION

The AD620 is a monolithic instrumentation amplifier based on a modification of the classic three op amp approach. Absolute value trimming allows the user to program gain *accurately* (to 0.15% at $G = 100$) with only one resistor. Monolithic construction and laser wafer trimming allow the tight matching and tracking of circuit components, thus ensuring the high level of performance inherent in this circuit.

The input transistors Q1 and Q2 provide a single differential-pair bipolar input for high precision (Figure 33), yet offer 10× lower Input Bias Current thanks to SuperBeta processing. Feedback through the Q1-A1-R1 loop and the Q2-A2-R2 loop maintains constant collector current of the input devices Q1, Q2 thereby impressing the input voltage across the external gain setting resistor R_G . This creates a differential gain from the inputs to the A1/A2 outputs given by $G = (R1 + R2)/R_G + 1$. The unity-gain subtracter A3 removes any common-mode signal, yielding a single-ended output referred to the REF pin potential.

The value of R_G also determines the transconductance of the preamp stage. As R_G is reduced for larger gains, the transconductance increases asymptotically to that of the input transistors. This has three important advantages: (a) Open-loop gain is boosted for increasing programmed gain, thus reducing gain-related errors. (b) The gain-bandwidth product (determined by $C1$, $C2$ and the preamp transconductance) increases with programmed gain, thus optimizing frequency response. (c) The input voltage noise is reduced to a value of $9 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$, determined mainly by the collector current and base resistance of the input devices.

The internal gain resistors, R1 and R2, are trimmed to an absolute value of 24.7 k Ω , allowing the gain to be programmed accurately with a single external resistor.

The gain equation is then

$$= \frac{49.4 \text{ } \Omega}{G} + 1$$

so that

$$G = \frac{49.4 \text{ } \Omega}{-1}$$

Make vs. Buy: A Typical Bridge Application Error Budget

The AD620 offers improved performance over "homebrew" three op amp IA designs, along with smaller size, fewer components and 10× lower supply current. In the typical application, shown in Figure 34, a gain of 100 is required to amplify a bridge output of 20 mV full scale over the industrial temperature range of -40°C to +85°C. The error budget table below shows how to calculate the effect various error sources have on circuit accuracy.

Regardless of the system in which it is being used, the AD620 provides greater accuracy, and at low power and price. In simple

systems, absolute accuracy and drift errors are by far the most significant contributors to error. In more complex systems with an intelligent processor, an autogain/autozero cycle will remove all absolute accuracy and drift errors leaving only the resolution errors of gain nonlinearity and noise, thus allowing full 14-bit accuracy.

Note that for the homebrew circuit, the OP07 specifications for input voltage offset and noise have been multiplied by $\sqrt{2}$. This is because a three op amp type in-amp has two op amps at its inputs, both contributing to the overall input error.

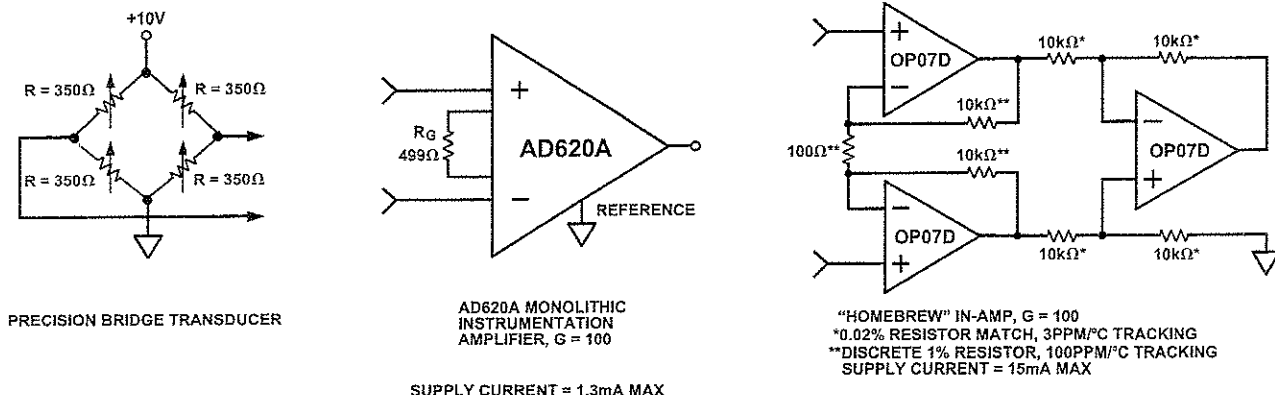


Figure 34. Make vs. Buy

Table I. Make vs. Buy Error Budget

Error Source	AD620 Circuit Calculation	"Homebrew" Circuit Calculation	Error, ppm of Full Scale	
			AD620	Homebrew
ABSOLUTE ACCURACY at $T_A = +25^\circ\text{C}$				
Input Offset Voltage, μV	125 $\mu\text{V}/20\text{ mV}$	$(150\text{ } \mu\text{V} \times \sqrt{2})/20\text{ mV}$	6,250	10,607
Output Offset Voltage, μV	1000 $\mu\text{V}/100/20\text{ mV}$	$((150\text{ } \mu\text{V} \times 2)/100)/20\text{ mV}$	500	150
Input Offset Current, nA	2 nA $\times 350\text{ } \Omega/20\text{ mV}$	$(6\text{ nA} \times 350\text{ } \Omega)/20\text{ mV}$	18	53
CMR, dB	110 dB $\rightarrow 3.16\text{ ppm} \times 5\text{ V}/20\text{ mV}$	$(0.02\% \text{ Match} \times 5\text{ V})/20\text{ mV}/100$	791	500
DRIFT TO $+85^\circ\text{C}$				
Gain Drift, ppm/ $^\circ\text{C}$	$(50\text{ ppm} + 10\text{ ppm}) \times 60^\circ\text{C}$	100 ppm/ $^\circ\text{C}$ Track $\times 60^\circ\text{C}$	3,600	6,000
Input Offset Voltage Drift, $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	1 $\mu\text{V}/^\circ\text{C} \times 60^\circ\text{C}/20\text{ mV}$	$(2.5\text{ } \mu\text{V}/^\circ\text{C} \times \sqrt{2} \times 60^\circ\text{C})/20\text{ mV}$	3,000	10,607
Output Offset Voltage Drift, $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	15 $\mu\text{V}/^\circ\text{C} \times 60^\circ\text{C}/100/20\text{ mV}$	$(2.5\text{ } \mu\text{V}/^\circ\text{C} \times 2 \times 60^\circ\text{C})/100/20\text{ mV}$	450	150
RESOLUTION				
Gain Nonlinearity, ppm of Full Scale	40 ppm	40 ppm	40	40
Typ 0.1 Hz–10 Hz Voltage Noise, $\mu\text{V p-p}$	0.28 $\mu\text{V p-p}/20\text{ mV}$	$(0.38\text{ } \mu\text{V p-p} \times \sqrt{2})/20\text{ mV}$	14	27
Total Resolution Error			54	67
Grand Total Error			14,662	28,134

G = 100, $V_S = \pm 15\text{ V}$.

(All errors are min/max and referred to input.)

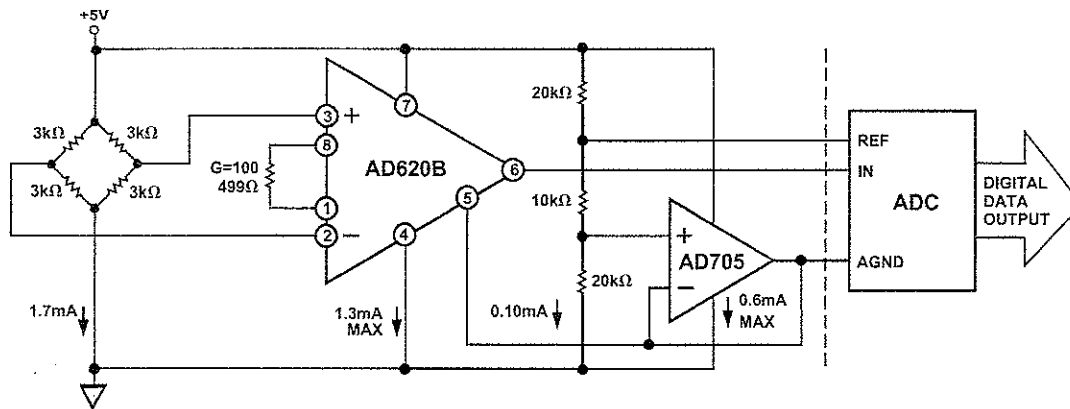


Figure 35. A Pressure Monitor Circuit which Operates on a +5 V Single Supply

Pressure Measurement

Although useful in many bridge applications such as weigh scales, the AD620 is especially suitable for higher resistance pressure sensors powered at lower voltages where small size and low power become more significant.

Figure 35 shows a 3 kΩ pressure transducer bridge powered from +5 V. In such a circuit, the bridge consumes only 1.7 mA. Adding the AD620 and a buffered voltage divider allows the signal to be conditioned for only 3.8 mA of total supply current.

Small size and low cost make the AD620 especially attractive for voltage output pressure transducers. Since it delivers low noise and drift, it will also serve applications such as diagnostic non-invasive blood pressure measurement.

Medical ECG

The low current noise of the AD620 allows its use in ECG monitors (Figure 36) where high source resistances of 1 MΩ or higher are not uncommon. The AD620's low power, low supply voltage requirements, and space-saving 8-lead mini-DIP and SOIC package offerings make it an excellent choice for battery powered data recorders.

Furthermore, the low bias currents and low current noise coupled with the low voltage noise of the AD620 improve the dynamic range for better performance.

The value of capacitor C1 is chosen to maintain stability of the right leg drive loop. Proper safeguards, such as isolation, must be added to this circuit to protect the patient from possible harm.

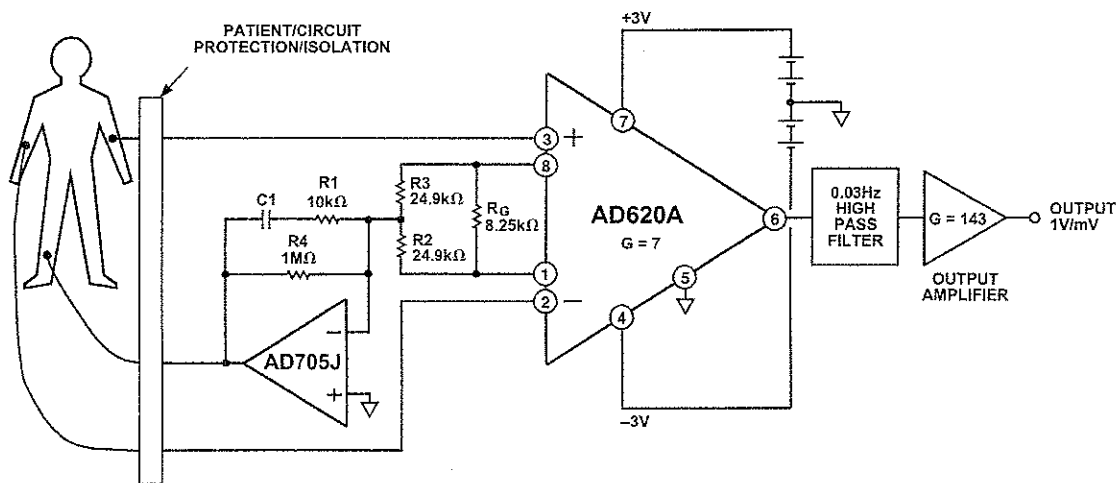


Figure 36. A Medical ECG Monitor Circuit

Precision V-I Converter

The AD620, along with another op amp and two resistors, makes a precision current source (Figure 37). The op amp buffers the reference terminal to maintain good CMR. The output voltage V_x of the AD620 appears across R_1 , which converts it to a current. This current, less only, the input bias current of the op amp, then flows out to the load.

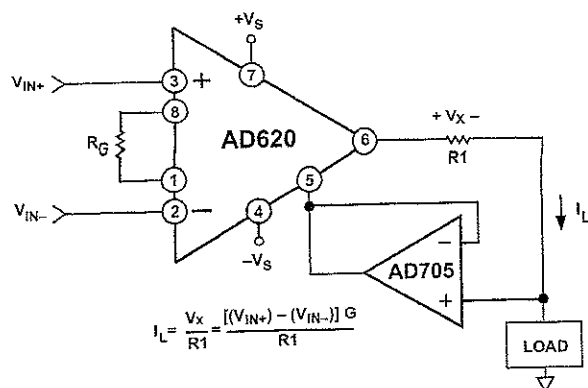


Figure 37. Precision Voltage-to-Current Converter
(Operates on 1.8 mA, ± 3 V)

GAIN SELECTION

The AD620's gain is resistor programmed by R_G , or more precisely, by whatever impedance appears between Pins 1 and 8. The AD620 is designed to offer accurate gains using 0.1%–1% resistors. Table II shows required values of R_G for various gains. Note that for $G = 1$, the R_G pins are unconnected ($R_G = \infty$). For any arbitrary gain G can be calculated by using the formula:

$$R_G = \frac{49.4 \text{ k}\Omega}{G - 1}$$

To minimize gain error, avoid high parasitic resistance in series with R_G ; to minimize gain drift, R_G should have a low TC—less than 10 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ —for the best performance.

Table II. Required Values of Gain Resistors

1% Std Table Value of R_G , Ω	Calculated Gain	0.1% Std Table Value of R_G , Ω	Calculated Gain
49.9 k	1.990	49.3 k	2.002
12.4 k	4.984	12.4 k	4.984
5.49 k	9.998	5.49 k	9.998
2.61 k	19.93	2.61 k	19.93
1.00 k	50.40	1.01 k	49.91
499	100.0	499	100.0
249	199.4	249	199.4
100	495.0	98.8	501.0
49.9	991.0	49.3	1,003

INPUT AND OUTPUT OFFSET VOLTAGE

The low errors of the AD620 are attributed to two sources, input and output errors. The output error is divided by G when referred to the input. In practice, the input errors dominate at high gains and the output errors dominate at low gains. The total V_{OS} for a given gain is calculated as:

$$\text{Total Error RTI} = \text{input error} + (\text{output error}/G)$$

$$\text{Total Error RTO} = (\text{input error} \times G) + \text{output error}$$

REFERENCE TERMINAL

The reference terminal potential defines the zero output voltage, and is especially useful when the load does not share a precise ground with the rest of the system. It provides a direct means of injecting a precise offset to the output, with an allowable range of 2 V within the supply voltages. Parasitic resistance should be kept to a minimum for optimum CMR.

INPUT PROTECTION

The AD620 features 400 Ω of series thin film resistance at its inputs, and will safely withstand input overloads of up to ± 15 V or ± 60 mA for several hours. This is true for all gains, and power on and off, which is particularly important since the signal source and amplifier may be powered separately. For longer time periods, the current should not exceed 6 mA ($I_{IN} \leq V_{IN}/400 \Omega$). For input overloads beyond the supplies, clamping the inputs to the supplies (using a low leakage diode such as an FD333) will reduce the required resistance, yielding lower noise.

RF INTERFERENCE

All instrumentation amplifiers can rectify out of band signals, and when amplifying small signals, these rectified voltages act as small dc offset errors. The AD620 allows direct access to the input transistor bases and emitters enabling the user to apply some first order filtering to unwanted RF signals (Figure 38), where $RC = 1/(2\pi f)$ and where $f \geq$ the bandwidth of the AD620; $C \leq 150$ pF. Matching the extraneous capacitance at Pins 1 and 8 and Pins 2 and 3 helps to maintain high CMR.

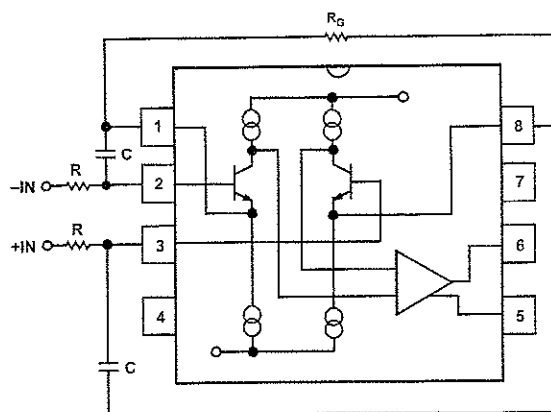


Figure 38. Circuit to Attenuate RF Interference

AD620

COMMON-MODE REJECTION

Instrumentation amplifiers like the AD620 offer high CMR, which is a measure of the change in output voltage when both inputs are changed by equal amounts. These specifications are usually given for a full-range input voltage change and a specified source imbalance.

For optimal CMR the reference terminal should be tied to a low impedance point, and differences in capacitance and resistance should be kept to a minimum between the two inputs. In many applications shielded cables are used to minimize noise, and for best CMR over frequency the shield should be properly driven. Figures 39 and 40 show active data guards that are configured to improve ac common-mode rejections by "bootstrapping" the capacitances of input cable shields, thus minimizing the capacitance mismatch between the inputs.

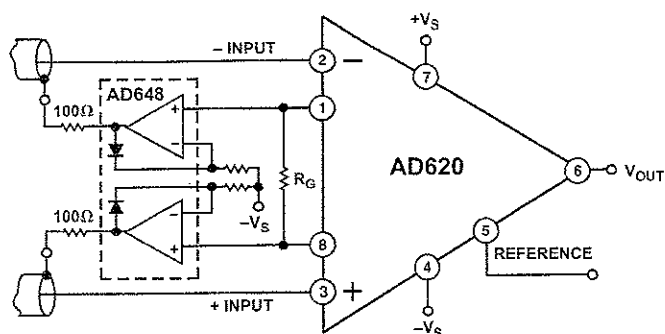


Figure 39. Differential Shield Driver

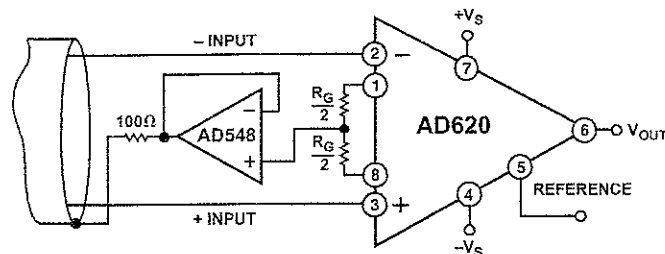


Figure 40. Common-Mode Shield Driver

GROUNDING

Since the AD620 output voltage is developed with respect to the potential on the reference terminal, it can solve many grounding problems by simply tying the REF pin to the appropriate "local ground."

In order to isolate low level analog signals from a noisy digital environment, many data-acquisition components have separate analog and digital ground pins (Figure 41). It would be convenient to use a single ground line; however, current through ground wires and PC runs of the circuit card can cause hundreds of millivolts of error. Therefore, separate ground returns should be provided to minimize the current flow from the sensitive points to the system ground. These ground returns must be tied together at some point, usually best at the ADC package as shown.

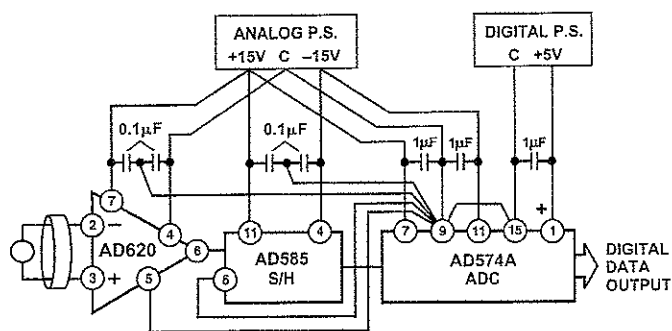


Figure 41. Basic Grounding Practice

GROUND RETURNS FOR INPUT BIAS CURRENTS

Input bias currents are those currents necessary to bias the input transistors of an amplifier. There must be a direct return path for these currents; therefore, when amplifying "floating" input

sources such as transformers, or ac-coupled sources, there must be a dc path from each input to ground as shown in Figure 42. Refer to the (from Analog Devices) for more information regarding in amp applications.

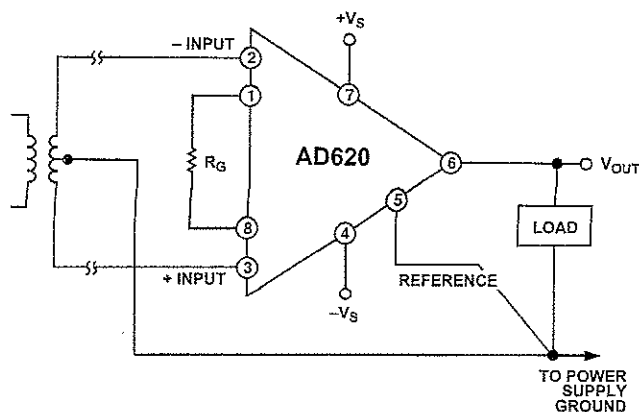


Figure 42a. Ground Returns for Bias Currents with Transformer Coupled Inputs

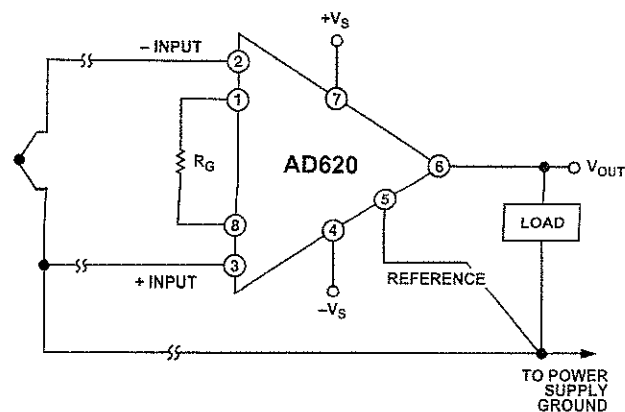


Figure 42b. Ground Returns for Bias Currents with Thermocouple Inputs

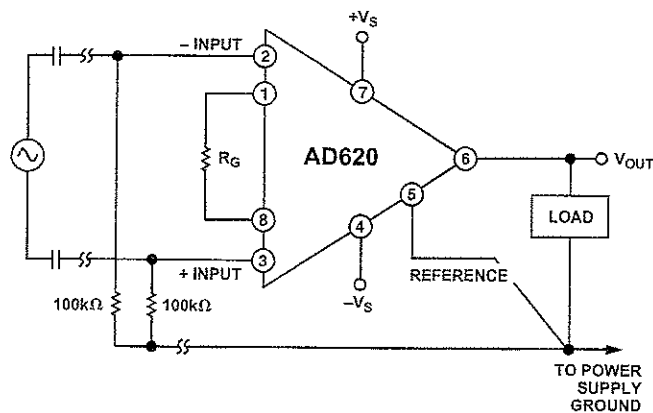


Figure 42c. Ground Returns for Bias Currents with AC Coupled Inputs

ANEXO 9

LM741

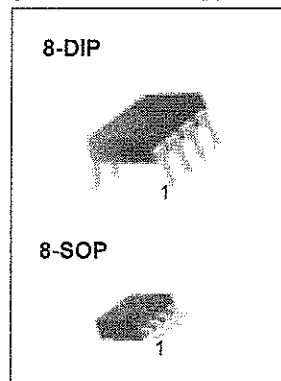
Single Operational Amplifier

Features

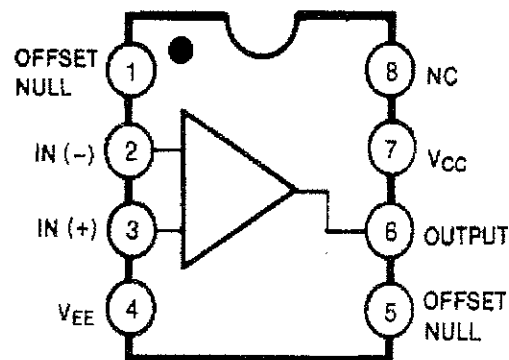
- Short circuit protection
- Excellent temperature stability
- Internal frequency compensation
- High Input voltage range
- Null of offset

Description

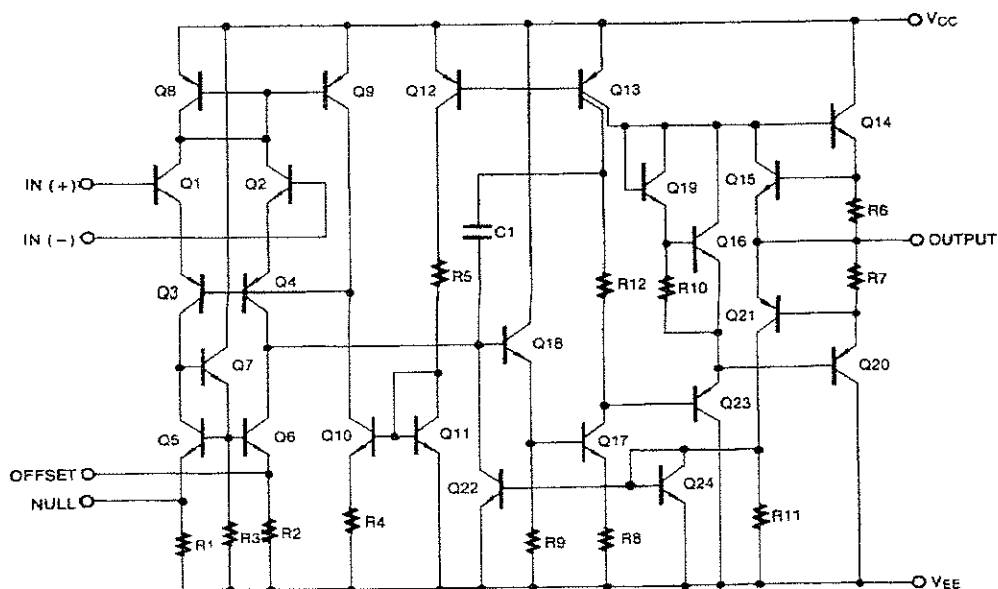
The LM741 series are general purpose operational amplifiers. It is intended for a wide range of analog applications. The high gain and wide range of operating voltage provide superior performance in integrator, summing amplifier, and general feedback applications.



Internal Block Diagram



Schematic Diagram



Absolute Maximum Ratings ($T_A = 25^\circ\text{C}$)

Parameter	Symbol	Value	Unit
Supply Voltage	VCC	± 18	V
Differential Input Voltage	$V_{I(DIFF)}$	30	V
Input Voltage	V_I	± 15	V
Output Short Circuit Duration	-	Indefinite	-
Power Dissipation	PD	500	mW
Operating Temperature Range	TOPR	0 ~ +70 -40 ~ +85	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	TSTG	-65 ~ +150	$^\circ\text{C}$

Electrical Characteristics

($V_{CC} = 15V$, $V_{EE} = -15V$, $T_A = 25^\circ C$, unless otherwise specified)

Parameter		Symbol	Conditions	LM741C/LM741I			Unit
				Min.	Typ.	Max.	
Input Offset Voltage		V_{IO}	$R_S \leq 10K\Omega$	-	2.0	6.0	mV
			$R_S \leq 50\Omega$	-	-	-	
Input Offset Voltage Adjustment Range		$V_{IO(R)}$	$V_{CC} = \pm 20V$	-	± 15	-	mV
Input Offset Current		I_{IO}	-	-	20	200	nA
Input Bias Current		I_{BIAS}	-	-	80	500	nA
Input Resistance (Note1)		R_i	$V_{CC} = \pm 20V$	0.3	2.0	-	$M\Omega$
Input Voltage Range		$V_{I(R)}$	-	± 12	± 13	-	V
Large Signal Voltage Gain		G_v	$R_L \geq 2K\Omega$	$V_{CC} = \pm 20V$, $V_{O(P-P)} = \pm 15V$	-	-	V/mV
				$V_{CC} = \pm 15V$, $V_{O(P-P)} = \pm 10V$	20	200	
Output Short Circuit Current		I_{SC}	-	-	25	-	mA
Output Voltage Swing		$V_{O(P-P)}$	$V_{CC} = \pm 20V$	$R_L \geq 10K\Omega$	-	-	V
				$R_L \geq 2K\Omega$	-	-	
			$V_{CC} = \pm 15V$	$R_L \geq 10K\Omega$	± 12	± 14	
				$R_L \geq 2K\Omega$	± 10	± 13	
Common Mode Rejection Ratio		CMRR	$R_S \leq 10K\Omega$, $V_{CM} = \pm 12V$	70	90	-	dB
			$R_S \leq 50\Omega$, $V_{CM} = \pm 12V$	-	-	-	
Power Supply Rejection Ratio		PSRR	$V_{CC} = \pm 15V$ to $V_{CC} = \pm 15V$ $R_S \leq 50\Omega$	-	-	-	dB
			$V_{CC} = \pm 15V$ to $V_{CC} = \pm 15V$ $R_S \leq 10K\Omega$	77	96	-	
Transient Response	Rise Time	T_R	Unity Gain	-	0.3	-	μs
	Overshoot	OS		-	10	-	%
Bandwidth		BW	-	-	-	-	MHz
Slew Rate		SR	Unity Gain	-	0.5	-	V/ μs
Supply Current		I_{CC}	$R_L = \infty\Omega$	-	1.5	2.8	mA
Power Consumption		P_C	$V_{CC} = \pm 20V$	-	-	-	mW
			$V_{CC} = \pm 15V$	-	50	85	

Note:

1. Guaranteed by design.

Electrical Characteristics

($0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 70^{\circ}\text{C}$ $V_{CC} = \pm 15\text{V}$, unless otherwise specified)

The following specification apply over the range of $0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +70^{\circ}\text{C}$ for the LM741C; and the $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$ for the LM741I

Parameter	Symbol	Conditions	LM741C/LM741I			Unit
			Min.	Typ.	Max.	
Input Offset Voltage	V_{IO}	$R_S \leq 50\Omega$	-	-	-	mV
		$R_S \leq 10\text{K}\Omega$	-	-	7.5	
Input Offset Voltage Drift	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	-	-	-	-	$\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$
Input Offset Current	I_{IO}	-	-	-	300	nA
Input Offset Current Drift	$\Delta I_{IO}/\Delta T$	-	-	-	-	$\text{nA}/^{\circ}\text{C}$
Input Bias Current	I_{BIAS}	-	-	-	0.8	μA
Input Resistance (Note1)	R_I	$V_{CC} = \pm 20\text{V}$	-	-	-	$\text{M}\Omega$
Input Voltage Range	$V_{I(R)}$	-	± 12	± 13	-	V
Output Voltage Swing	$V_{O(P-P)}$	$V_{CC} = \pm 20\text{V}$	$R_S \geq 10\text{K}\Omega$	-	-	V
			$R_S \geq 2\text{K}\Omega$	-	-	
		$V_{CC} = \pm 15\text{V}$	$R_S \geq 10\text{K}\Omega$	± 12	± 14	
			$R_S \geq 2\text{K}\Omega$	± 10	± 13	
Output Short Circuit Current	I_{SC}	-	10	-	40	mA
Common Mode Rejection Ratio	CMRR	$R_S \leq 10\text{K}\Omega$, $V_{CM} = \pm 12\text{V}$	70	90	-	dB
		$R_S \leq 50\Omega$, $V_{CM} = \pm 12\text{V}$	-	-	-	
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$V_{CC} = \pm 20\text{V}$ to $\pm 5\text{V}$	$R_S \leq 50\Omega$	-	-	dB
			$R_S \leq 10\text{K}\Omega$	77	96	
Large Signal Voltage Gain	GV	$R_S \geq 2\text{K}\Omega$	$V_{CC} = \pm 20\text{V}$, $V_{O(P-P)} = \pm 15\text{V}$	-	-	V/mV
			$V_{CC} = \pm 15\text{V}$, $V_{O(P-P)} = \pm 10\text{V}$	15	-	
			$V_{CC} = \pm 15\text{V}$, $V_{O(P-P)} = \pm 2\text{V}$	-	-	

Note :

1. Guaranteed by design.

Typical Performance Characteristics

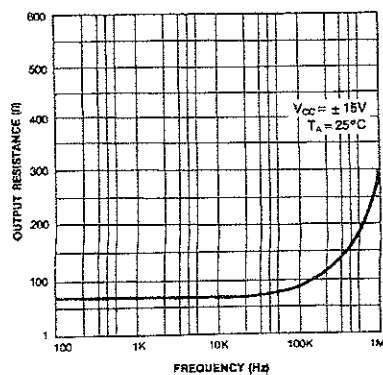


Figure 1. Output Resistance vs Frequency

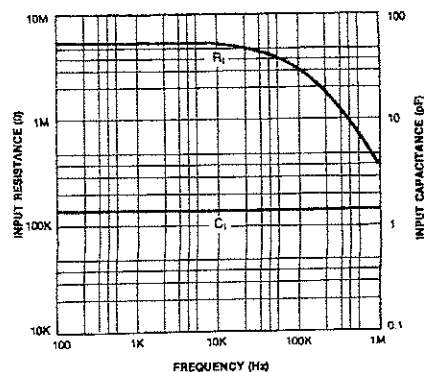


Figure 2. Input Resistance and Input Capacitance vs Frequency

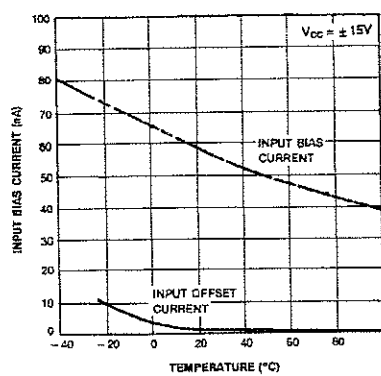


Figure 3. Input Bias Current vs Ambient Temperature

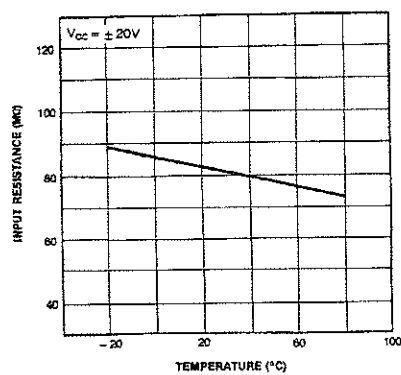


Figure 4. Power Consumption vs Ambient Temperature

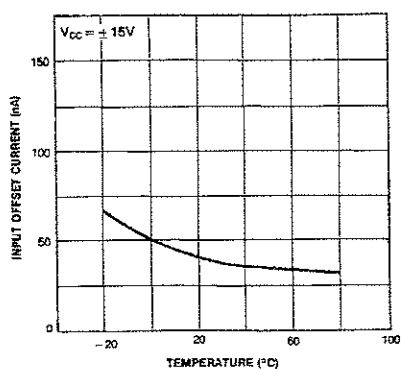


Figure 5. Input Offset Current vs Ambient Temperature

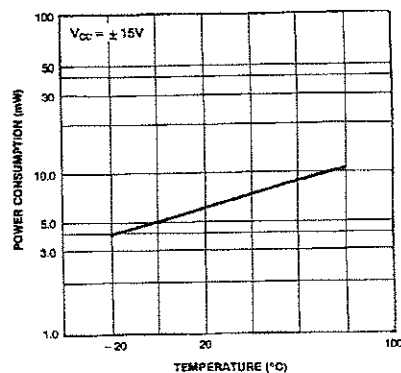


Figure 6. Input Resistance vs Ambient Temperature

Typical Performance Characteristics (continued)

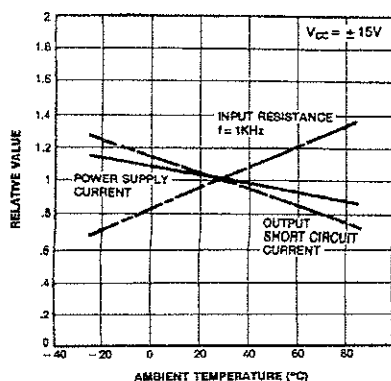


Figure 7. Normalized DC Parameters vs Ambient Temperature

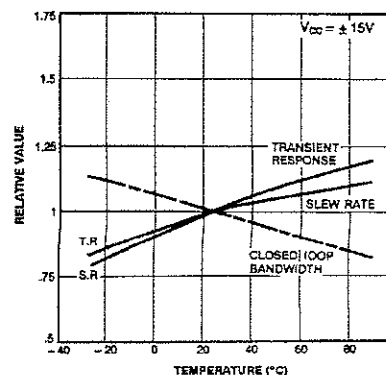


Figure 8. Frequency Characteristics vs Ambient Temperature

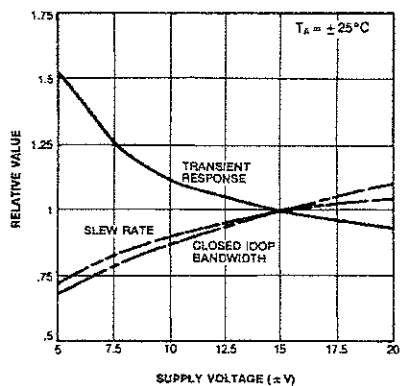


Figure 9. Frequency Characteristics vs Supply Voltage

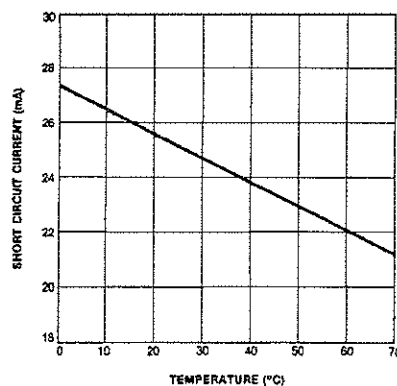


Figure 10. Output Short Circuit Current vs Ambient Temperature

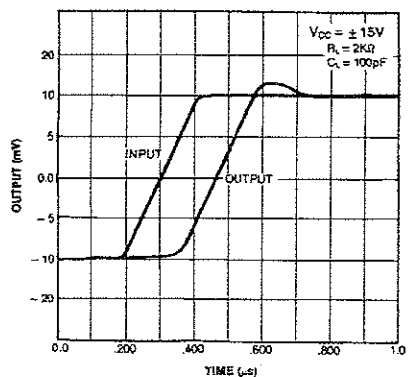


Figure 11. Transient Response

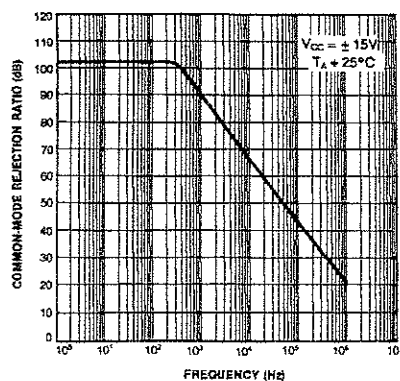


Figure 12. Common-Mode Rejection Ratio vs Frequency

Typical Performance Characteristics (continued)

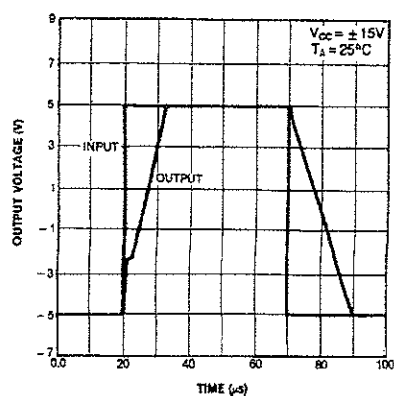


Figure 13. Voltage Follower Large Signal Pulse Response

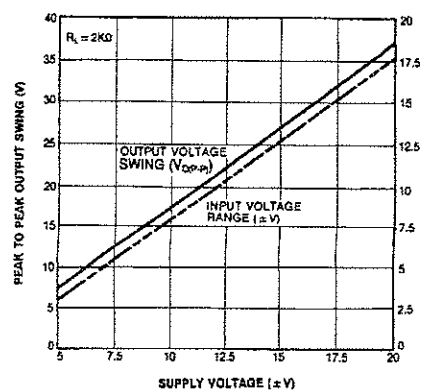


Figure 14. Output Swing and Input Range vs Supply Voltage

ANEXO 10

2.2 General Purpose

2L Series . Piston Pilot Operated. Normally Closed

Characteristic : 1. Pilot operated piston construction with low power consumption

2. Seal series longtime at steam ambient

3. Used for long-time working in pipeline system.

Medium : steam and hot water, Oil, etc.

Temperature: PTFE: -20°C ~ 180°C

VITON: -10°C ~ 120°C

Pressure: 0.05 ~ 1.60MPa

Body : Brass

Port Size: 1/2", 3/4", 1", 1 1/4", 1 1/2", 2"

Port Thread: BSP, BSPT, NPT, UNF

Orifice (mm): 15, 20, 25, 32, 40, 50

Voltage: AC: 12V, 24V

DC: 220V/250V, 110V/120V, 24V(50/60Hz)

Coils : Y42H, Y42A(A2), Y42B(DC), TP45, Y42WD

Material:

Valve Body : VITON

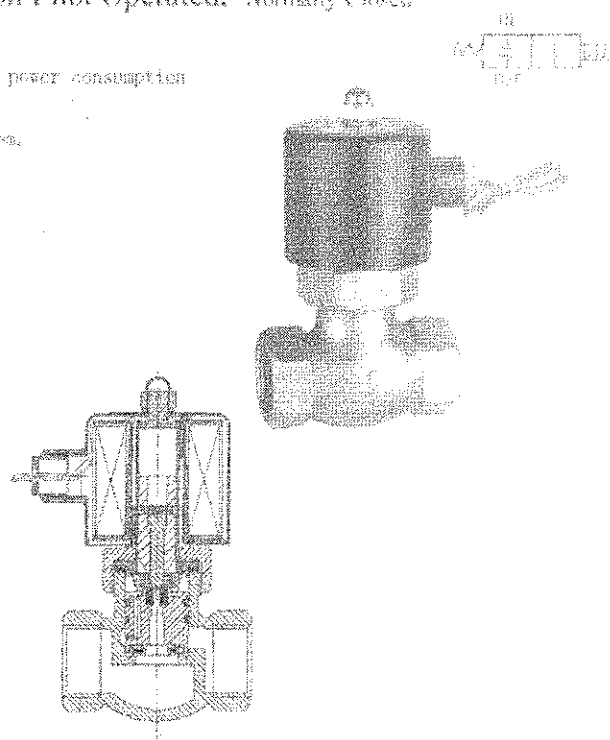
Actuator Tube : Stainless Steel 304

Flange : Stainless Steel 430F

Seal : SS304P

Diaphragm : SS 304

O-ring Rings : Stainless Steel 304



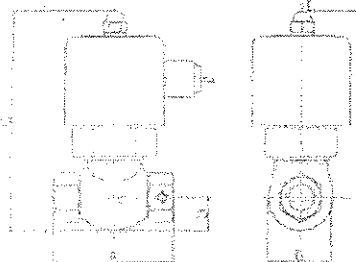
2L Series, Normally Closed, with Coils Y42H. (1.60MPa)

Port Size	Orifice	Cv	Min Pressure	Max Pressure		Seals Material	Body Material	Valve Body	Coils
				AC(35V/A)	DC(30W)				
1/2"	15	4.5	0.05MPa	1.6MPa	1.6MPa	PTFE or VITON	Brass	2L15XXX	Y42H
3/4"	20	9.3	0.05MPa	1.6MPa	1.6MPa			2L20XXX	Y42H
1"	25	12	0.05MPa	1.6MPa	1.6MPa			2L25XXX	Y42H
1 1/4"	32	24	0.05MPa	1.6MPa	1.6MPa			2L32XXX	Y42H
1 1/2"	40	29	0.05MPa	1.6MPa	1.6MPa			2L40XXX	Y42H
2"	50	48	0.05MPa	1.6MPa	1.6MPa			2L50XXX	Y42H

Determine Valve Body Code

Type	Orifice	Port Thread	Body	Seal	Coil	Voltage
2L	15, 20, 25 32, 40, 50	G-G Thread N-NPT Thread F-Flange	B-Brass	P-PTFE V-VITON	Y42H	1. AC220V 2. DC24V 3. AC110V 4. DC12V 5. AC24V 6. DC6V 7. AC250V 8. DC50V 9. VITON

Example: 2L15GHPY42H1



Body	2L15XX	2L20XX	2L25XX	2L32XX	2L40XX	2L50XX
A	80	82	91	111	111	183
B	50	50	55	75	75	95
C	116	146	162	183	196	215
D	20	23	29	37	37	50

Inspection Report

Inspection (YZJ) NO.20100526

Product Name Solenoid Valve

YUYAO YONGCHUANG SOLENOID VALVE CO., LTD

MAY 26th, 2010

YUYAO YONGCHUANG SOLENOID VALVE CO., LTD

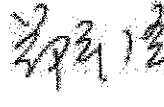
Inspection Report

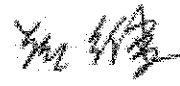
Internal Quality Audits NO.20100526

Page 1/3

Product name	Solenoid valve	Part No.	YCD2165/80
		Brand name	YONGCHUANG
Inspection category	General inspection	Sample's degree	confirmed
Spot check	YUYAO	Date	May. 26th, 2010
Qty.	3 pieces for each	Inspector	Zheng Nianze
Base of spot check	-----	Production date	-----
Inspection standard	JB 7352-94	Items	See below
Results of Inspection	According to JB 7352-94 standard, the finished products have been inspected by personnel. After the inspection, all the items are satisfied. Result: confirmed Date of issue: MAY. 26th, 2010		
Remark:			

Approved: 

Audited: 

Inspecting: 

NO.	Items and Requests		Sample No.	Result	conclusion
1	Ambient condition	Under the condition of 0~80 °C and 0.086 MPa ~ 0.106MPa, the valve can operate normally	1	Accordant	Confirmed
			2	Accordant	
			3	Accordant	
2	Operating pressure differential	Among the 0.3 ~ 1.0MPa pressure differential, the valve should be opened and closed flexibly without any noise.	1	Accordant	Confirmed
			2	Accordant	
			3	Accordant	
3	Variety of electric source	The valve operated well based on the rating voltages -15 % -10 % . (U=AC110V)	1	Accordant	Confirmed
			2	Accordant	
			3	Accordant	
4	Insulated resistance	The insulated resistance between terminal connector and coil cover should be over/ equal 20M Ω when it reaches 5~35 °C degree and 85% relative humidity.	1	500	Confirmed
			2	500	
			3	500	
5	Insulated standing	It can stand 500V between coil connector and the cover, which lasts for 1min with no phenomenon of insulated thrash and flashover on surface.	1	Accordant	Confirmed
			2	Accordant	
			3	Accordant	
6	Leakage	Testing medium: water Testing pressure: 1.2MPa leakage: 0ml/min	1	Accordant	Confirmed
			2	Accordant	
			3	Accordant	
7	Pressing resistance	Under the pressure of 1.5PN (1.5MPa), there is no visible leakage and slit.	1	Accordant	Confirmed
			2	Accordant	
			3	Accordant	
8	Sealed	There is no leakage between valve stuffing and port size under the 1.1PN (1.1MPa) pressure.	1	Accordant	Confirmed
			2	Accordant	
			3	Accordant	

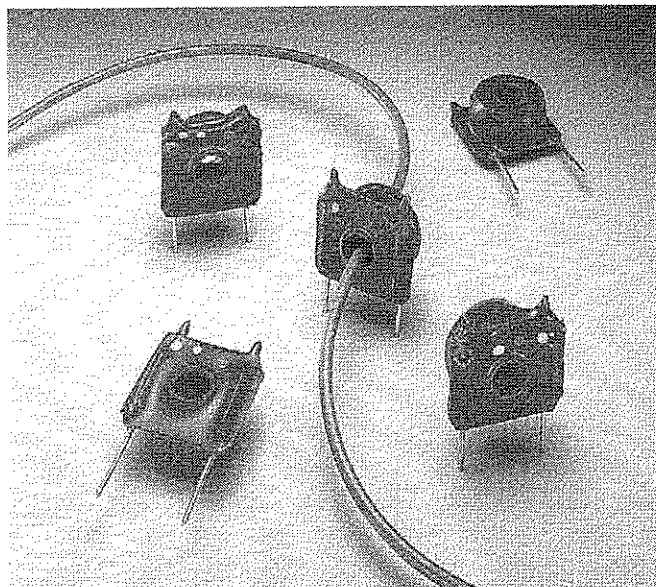
Internal Quality Audits NO. 20100126

N O.	Items and Requests		Sample No.	Result	conclusion
9	Permitted temperature rising	At normally working, the coil temperature rising $\leq 80^{\circ}\text{C}$	1	Accordant	Confirmed
			2	Accordant	
			3	Accordant	
10	Flow rate	The deviation value should below 10% for rating flow and actual flow rate.	1	Accordant	Confirmed
			2	Accordant	
			3	Accordant	
11	Lifespan	According to the standard usage and media temperature below 80°C and 1.0MPa, operating times > 300,000	1	Accordant	Confirmed
			2	Accordant	
			3	Accordant	
12	Operating libration	The sine scan vibration test is carried with $10 \sim 55\text{Hz}$, swing 0.15mm ; $55 \sim 150\text{Hz}$, $a=20\text{m/s}^2$. After 30 min syntonie frequency, the tightened firmware is fixed as usual and the valve opens well.	1	Accordant	Confirmed
			2	Accordant	
			3	Accordant	
13	Shipment temperature	Undergoing -40 to $+55^{\circ}\text{C}$ shipping temperature, the solenoid valve can operate well as normal.	1	Accordant	Confirmed
			2	Accordant	
			3	Accordant	
14	Continuous crashing on shipment	Under the interaction of $100 \pm 10\text{m/s}^2$ acceleration, $11 \pm 2\text{ms}$ pulse, 60 ~ 100 times operating and 1000 ± 10 times continuous crashing, there is no looseness of parts and the fixed firmware, and no bad effect on the operating of valve.	1	Accordant	Confirmed
			2	Accordant	
			3	Accordant	
15	Out looking	The surface should be clean and smooth without any flaking off, damage and scratch; the fixed firmware with no loosening; the nameplate visible and no quoining and shaking off	1	Accordant	Confirmed
			2	Accordant	
			3	Accordant	
16	Cover protect	Corresponding to the different media, it must show the IP grade outside.	1	---	---
			2	---	
			3	---	

ANEXO 11



50/60Hz Current Sensor – CS60-010



This Coilcraft current sensor is intended for measuring current from 1 to 10 A *rms*. The sensor functions as the encapsulated secondary of a current transformer, while the conductor carrying the current to be measured serves as the “one turn primary.” Sensitivity may be enhanced by increasing primary turns.

Minimum wall thickness of the hole is 0.5 mm to meet IEC 380 and other requirements when used with an insulated conductor.

Applications include sensing branch circuit overload and detecting load drop or shutdown.

Coilcraft **Designer's Kit P403** contains two samples of this sensor and 15 samples of nine different high frequency current sensors. To order, contact Coilcraft or visit <http://order.coilcraft.com>.

Part number ¹	Sensed current I_{rms}	V_{out} tolerance
CS60-010_	1–10 A <i>rms</i>	±10%

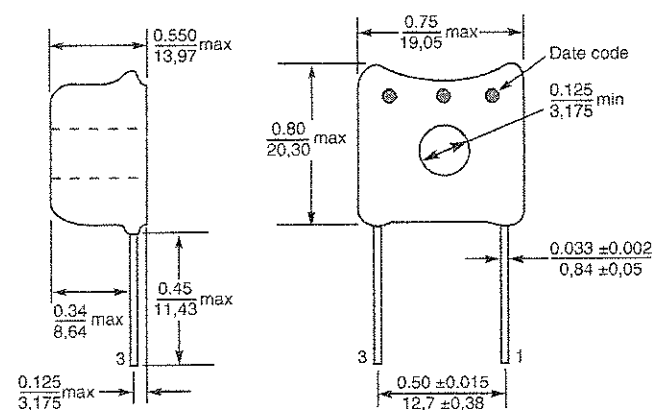
(For sensed current above 10 A *rms*, see CS60 data sheet)

1. When ordering, please specify termination code:

CS60-010 **L**

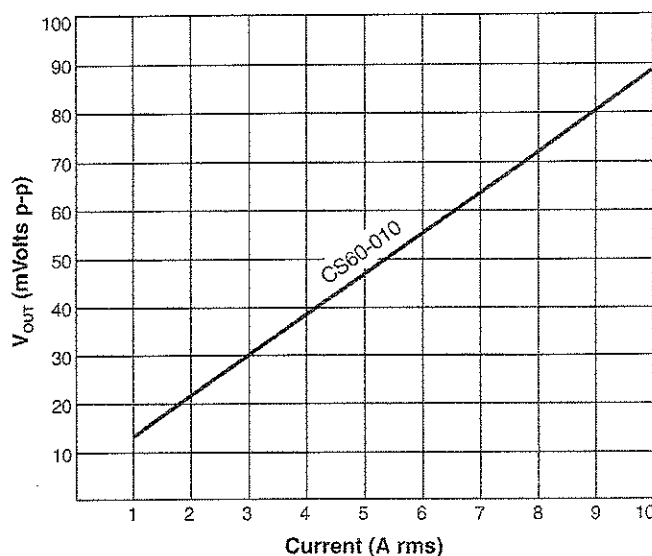
Termination: **L** = RoHS compliant tin-silver over copper.
Special order: **T** = RoHS tin-silver-copper (95.5/4/0.5)
or **S** = non-RoHS tin-lead (63/37).

2. Ambient temperature range –40°C to +85°C.
3. Electrical specifications at 25°C.

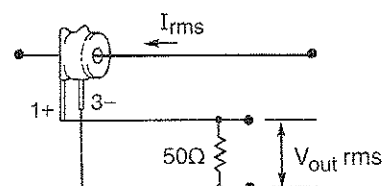


Weight: 5.8 g

Typical Response



Typical Application



Coilcraft®

Specifications subject to change without notice.
Please check our website for latest information.

Document 133 Revised 02/01/05

1102 Silver Lake Road Cary, Illinois 60013 Phone 847/639-6400 Fax 847/639-1469
E-mail info@coilcraft.com Web <http://www.coilcraft.com>

ANEXO 12



MINISTERIO DEL TRABAJO

RESOLUCIÓN NÚMERO 001409 DE 2012

(23 JUL 2012)

Por la cual se establece el Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas

**EL VICEMINISTRO DE RELACIONES LABORALES E INSPECCIÓN
ENCARGADO DE LAS FUNCIONES DEL DESPACHO DEL
MINISTRO DEL TRABAJO**

En ejercicio de sus atribuciones legales, en especial de las conferidas por los artículos 83 de la Ley 9ª de 1979, 348 del Código Sustantivo del Trabajo, y 2 y 6 del Decreto – Ley 4108 de 2011 y el Decreto 1562 de 2012 y,

CONSIDERANDO

Que el objetivo básico del Sistema General de Riesgos Laborales es la promoción de la salud ocupacional y la prevención de los riesgos laborales, para evitar accidentes de trabajo y enfermedades laborales.

Que conforme a lo previsto en los artículos 348 del Código Sustantivo del Trabajo; 80, 81 y 84 de la Ley 9ª de 1979; 21 del Decreto – Ley 1295 de 1994; 26 de la Ley 1562 de 2012, que modificó el literal g) del artículo 21 del Decreto – Ley 1295 de 1994; y el 2º de la Resolución 2400 de 1979 expedida por el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, los empleadores son responsables de la seguridad y salud de sus trabajadores en el trabajo.

Que conforme al Decreto 614 de 1984 es obligación de los empleadores organizar y garantizar el funcionamiento de un programa de salud ocupacional denominado actualmente Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo SG-SST.

Que conforme a los artículos 48 inciso 5 de la Constitución Política; 9º de la Ley 100 de 1993; 83 del Decreto 1295 de 1994; los aportes al Sistema General de Riesgos Laborales tienen el carácter de dineros públicos.

Que el trabajo en alturas está considerado como de alto riesgo debido a que en las estadísticas nacionales, es una de las primeras causas de accidentalidad y de muerte en el trabajo.

Que en virtud de lo anterior, se hace necesario establecer el Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas.

A

13

Continuación de la resolución "Por la cual se establece el Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas"

En mérito de lo expuesto,

RESUELVE

TÍTULO I

DISPOSICIONES GENERALES

CAPÍTULO I

OBJETO, CAMPO DE APLICACIÓN Y DEFINICIONES

ARTÍCULO 1. OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN. La presente resolución tiene por objeto establecer el Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas y aplica a todos los empleadores, empresas, contratistas, subcontratistas y trabajadores de todas las actividades económicas de los sectores formales e informales de la economía, que desarrollen trabajo en alturas con peligro de caídas.

Para efectos de la aplicación de la presente resolución, se entenderá su obligatoriedad en todo trabajo en el que exista el riesgo de caer a 1,50 m o más sobre un nivel inferior.

PARÁGRAFO 1. En el caso de la construcción de nuevas edificaciones y obras civiles, se entenderá la obligatoriedad de esta resolución una vez la obra haya alcanzado una altura de 1,80 m o más sobre un nivel inferior, momento en el cual el control de los riesgos se deberá hacer desde la altura de 1,50 m.

PARÁGRAFO 2. Si en el análisis de riesgo que realice el coordinador de trabajo en alturas o el responsable del programa de salud ocupacional denominado actualmente Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo SG-SST de la empresa, se identifican condiciones peligrosas que puedan afectar al trabajador en el momento de una caída, tales como áreas con obstáculos, bordes peligrosos, elementos salientes, puntiagudos, sistemas energizados, máquinas en movimiento, entre otros, incluso en alturas inferiores a las establecidas en este Reglamento, se deberán establecer medidas de prevención o protección contra caídas que protejan al trabajador.

PARÁGRAFO 3. Se exceptúan de la aplicación de la presente resolución, las siguientes actividades:

1. Actividades de atención de emergencias y rescate; y,
2. Actividades lúdicas, deportivas, de alta montaña o andinismo y artísticas.

19

23 JUL 2012

Continuación de la resolución "Por la cual se establece el Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas"

PARÁGRAFO 4. Para las actividades mencionadas en el parágrafo 3 del presente artículo, se deberán seguir estándares nacionales y en su ausencia, se deberán aplicar estándares internacionales, con equipos certificados y personal con formación especializada.

ARTÍCULO 2. DEFINICIONES. Para los efectos de la presente resolución, se aplican las siguientes definiciones:

- 1. Absorbedor de choque:** Equipo cuya función es disminuir las fuerzas de impacto en el cuerpo del trabajador o en los puntos de anclaje en el momento de una caída.
- 2. Acceso por cuerdas:** Técnica de ascenso, descenso y progresión por cuerdas con equipos especializados para tal fin, con el propósito de acceder a un lugar específico de una estructura.
- 3. Anclaje:** Punto seguro al que pueden conectarse equipos personales de protección contra caídas con resistencia certificada a la rotura y un factor de seguridad, diseñados y certificados en su instalación por un fabricante y/o una persona calificada. Puede ser fijo o móvil según la necesidad.
- 4. Aprobación de equipos:** Documento escrito y firmado por una persona calificada, emitiendo su concepto de cumplimiento con los requerimientos del fabricante.
- 5. Arnés de cuerpo completo:** Equipo de protección personal diseñado para distribuir en varias partes del cuerpo el impacto generado durante una caída. Es fabricado en correas cosidas y debidamente aseguradas, e incluye elementos para conectar equipos y asegurarse a un punto de anclaje. Debe ser certificado bajo un estándar nacional o internacionalmente aceptado.
- 6. Ayudante de Seguridad:** Trabajador designado por el empleador para verificar las condiciones de seguridad y controlar el acceso a las áreas de riesgo de caída de objetos o personas. Debe tener una constancia de capacitación en protección contra caídas para trabajo seguro en alturas en nivel avanzado o tener certificado de competencia laboral para trabajo seguro en alturas.
- 7. Baranda:** Barrera que se instala al borde de un lugar para prevenir la posibilidad de caída. Debe garantizar una capacidad de carga y contar con un travesaño de agarre superior, una barrera colocada a nivel del suelo para evitar la caída de objetos y un travesaño intermedio o barrera intermedia que prevenga el paso de personas entre el travesaño superior y la barrera inferior.
- 8. Capacitación:** Para efectos de esta norma, es toda actividad realizada en una empresa o institución autorizada, para responder a sus necesidades, con el objetivo de preparar el talento humano mediante un proceso en el cual el participante comprende, asimila, incorpora y aplica conocimientos, habilidades,

13

Continuación de la resolución "Por la cual se establece el Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas"

destrezas que lo hacen competente para ejercer sus labores en el puesto de trabajo.

9. Centro de Entrenamiento: Sitio destinado para la formación de personas en trabajo seguro en alturas, que cuenta con infraestructura adecuada para desarrollar y/o fundamentar el conocimiento y las habilidades necesarias para el desempeño del trabajador, y la aplicación de las técnicas relacionadas con el uso de equipos y configuración de sistemas de Protección Contra Caídas de alturas. Además de las estructuras, el Centro de Entrenamiento deberá contar con equipos de Protección Contra Caídas Certificados, incluyendo líneas de vida verticales y horizontales, sean portátiles o fijas y todos los recursos para garantizar una adecuada capacitación del trabajador.

Los centros de entrenamiento que se utilicen para impartir la formación de trabajo seguro en alturas, deben cumplir con las normas de calidad que adopte el Ministerio del Trabajo.

10. Certificación de equipos: Documento que certifica que un determinado elemento cumple con las exigencias de calidad de un estándar nacional que lo regula y en su ausencia, de un estándar avalado internacionalmente. Este documento es emitido generalmente por el fabricante de los equipos.

11. Certificado de competencia laboral: Documento otorgado por un organismo certificador investido con autoridad legal para su expedición, donde reconoce la competencia laboral de una persona para desempeñarse en esa actividad.

12. Certificado de capacitación: Documento que se expide al final del proceso en el que se da constancia que una persona cursó y aprobó la capacitación necesaria para desempeñar una actividad laboral. Este certificado no tiene vencimiento.

13. Certificación para trabajo seguro en alturas. Certificación que se obtiene mediante el certificado de capacitación de trabajo seguro en alturas ó mediante el certificado en dicha competencia laboral.

14. Conector: Cualquier equipo certificado que permita unir el arnés del trabajador al punto de anclaje.

15. Coordinador de Trabajo en alturas: Trabajador designado por el empleador, denominado antiguamente persona competente en la normatividad anterior, capaz de identificar peligros en el sitio en donde se realiza trabajo en alturas, relacionados con el ambiente o condiciones de trabajo y que tiene su autorización para aplicar medidas correctivas inmediatas para controlar los riesgos asociados a dichos peligros. Debe tener certificación en la norma de competencia laboral vigente para trabajo seguro en alturas, capacitación en el nivel de coordinador de trabajo en alturas y experiencia certificada mínima de un año relacionada con trabajo en alturas. Los requisitos de certificación, capacitación y experiencia del coordinador de trabajo en alturas, serán exigidos a partir de los dos años

19

Continuación de la resolución "Por la cual se establece el Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas"

siguientes a la expedición de la presente resolución, mientras que transcurre dicho tiempo deben contar como mínimo con el certificado de capacitación del nivel avanzado en trabajo en alturas o certificación de dicha competencia laboral.

La designación del coordinador de trabajo en alturas no significa la creación de un nuevo cargo, ni aumento en la nómina de la empresa, esta función puede ser llevada a cabo por ejemplo por el coordinador o ejecutor del programa de salud ocupacional o cualquier otro trabajador designado por el empleador.

16. Distancia de desaceleración: La distancia vertical entre el punto donde termina la caída libre y se comienza a activar el absorbedor de choque hasta que este último pare por completo.

17. Distancia de detención: La distancia vertical total requerida para detener una caída, incluyendo la distancia de desaceleración y la distancia de activación.

18. Entrenador en trabajo seguro en alturas: Persona con formación en el nivel de entrenador, certificado en la norma de competencia laboral para trabajo seguro en alturas vigente.

19. Equipo de protección contra caídas certificado: Equipo que cumple con las exigencias de calidad de la norma nacional o internacional que lo regula, sin que este último pueda ser menos exigente que el nacional.

20. Eslinga de protección contra caídas: Sistema de cuerda, reata, cable u otros materiales que permiten la unión al arnés del trabajador al punto de anclaje. Su función es detener la caída de una persona, absorbiendo la energía de la caída de modo que la máxima carga sobre el trabajador sea de 900 libras. Su longitud total, antes de la activación, debe ser máximo de 1,8 m. Deben cumplir los siguientes requerimientos:

- a) Todos sus componentes deben ser certificados;
- b) Resistencia mínima de 5.000 libras (22,2 Kilonewtons – 2.272 Kg);
- c) Tener un absorbedor de choque; y
- d) Tener en sus extremos sistemas de conexión certificados.

21. Eslinga de posicionamiento: Elemento de cuerda, cintas, cable u otros materiales con resistencia mínima de 5.000 libras (22,2 Kilonewtons – 2.272 Kg) que puede tener en sus extremos ganchos o conectores que permiten la unión al arnés del trabajador y al punto de anclaje, y que limita la distancia de caída del trabajador a máximo 60 cm. Su función es ubicar al trabajador en un sitio de trabajo, permitiéndole utilizar las dos manos para su labor.

22. Eslinga de restricción: Elemento de cuerda, reata, cable u otro material con resistencia mínima de 5.000 libras (22,2 Kilonewtons – 2.272 Kg) y de diferentes longitudes o graduable que permita la conexión de sistemas de bloqueo o freno.

13

Continuación de la resolución "Por la cual se establece el Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas"

Su función es limitar los desplazamientos del trabajador para que no llegue a un sitio del que pueda caer.

Todas las eslingas y sus componentes deben ser certificados de acuerdo con las normas nacionales o internacionales pertinentes.

23. Evaluación de competencias laborales para trabajo seguro en alturas: Proceso por medio del cual un evaluador recoge de una persona, información sobre su desempeño y conocimiento con el fin de determinar si es competente, o aún no, para desempeñar una función productiva de acuerdo a la norma técnica de competencia laboral vigente.

24. Evaluador de competencias laborales en protección contra caídas para trabajo seguro en alturas: Persona certificada como evaluador de competencia laborales y con certificación vigente en la norma de competencia laboral que va a evaluar y debe estar certificado en el nivel de entrenador.

25. Factor de seguridad: Número multiplicador de la carga real aplicada a un elemento, para determinar la carga a utilizar en el diseño.

26. Gancho: Equipo metálico con resistencia mínima de 5.000 libras (22.2 Kilonewtons – 2.272 Kg) que es parte integral de los conectores y permite realizar conexiones entre el arnés y los puntos de anclaje, sus dimensiones varían de acuerdo a su uso, los ganchos están provistos de una argolla u ojo al que está asegurado el material del equipo conector (cuerda, reata, cable, cadena, entre otros) y un sistema de apertura y cierre con doble sistema de accionamiento para evitar una apertura accidental, que asegure que el gancho no se salga de su punto de conexión.

27. Hueco: Para efecto de esta norma es el espacio vacío o brecha en una superficie o pared, sin protección, a través del cual se puede producir una caída de 1,50 m o más de personas u objetos.

28. Líneas de vida horizontales: Sistemas certificados de cables de acero, cuerdas, rieles u otros materiales que debidamente ancladas a la estructura donde se realizará el trabajo en alturas, permitan la conexión de los equipos personales de protección contra caídas y el desplazamiento horizontal del trabajador sobre una determinada superficie; la estructura de anclaje debe ser evaluada con métodos de ingeniería.

29. Líneas de vida horizontales fijas: Son aquellas que se encuentran debidamente ancladas a una determinada estructura, fabricadas en cable de acero o rieles metálicos y según su longitud, se soportan por puntos de anclaje intermedios; deben ser diseñadas e instaladas por una persona calificada. Los cálculos estructurales determinarán si se requiere de sistemas absorbentes de energía.

18

Continuación de la resolución "Por la cual se establece el Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas"

30. Líneas de vida horizontales portátiles: Son equipos certificados y preensamblados, elaborados en cuerda o cable de acero, con sistemas absorbentes de choque, conectores en sus extremos, un sistema tensionador y dos bandas de anclaje tipo Tie Off; estas se instalarán por parte de los trabajadores autorizados entre dos puntos de comprobada resistencia y se verificará su instalación por parte del coordinador de trabajo en alturas o de una persona calificada.

31. Líneas de vida verticales: Sistemas certificados de cables de acero, cuerdas, rieles u otros materiales que debidamente ancladas en un punto superior a la zona de labor, protegen al trabajador en su desplazamiento vertical (ascenso/descenso). Serán diseñadas por una persona calificada, y deben ser instaladas por una persona calificada o por una persona avalada por el fabricante o por la persona calificada

32. Máxima fuerza de detención, MFD: La máxima fuerza que puede soportar el trabajador sin sufrir una lesión, es 1.800 libras (8 Kilonewtons – 816 Kg).

33. Medidas de prevención: Conjunto de acciones individuales o colectivas que se implementan para advertir o evitar la caída de personas y objetos cuando se realizan trabajos en alturas y forman parte de las medidas de control. Entre ellas están: sistemas de ingeniería; programa de protección contra caídas y las medidas colectivas de prevención.

34. Medidas de protección: Conjunto de acciones individuales o colectivas que se implementan para detener la caída de personas y objetos una vez ocurra o para mitigar sus consecuencias.

35. Mosquetón: Equipo metálico en forma de argolla que permite realizar conexiones directas del arnés a los puntos de anclaje. Otro uso es servir de conexión entre equipos de protección contra caídas o rescate a su punto de anclaje.

36. Persona calificada: Ingeniero con experiencia certificada mínimo de dos años para calcular resistencia materiales, diseñar, analizar, evaluar, autorizar puntos de anclaje y elaborar especificaciones de trabajos, proyectos o productos acorde con lo establecido en la presente resolución. La persona calificada es la única persona que da la autorización a un punto de anclaje sobre el cual se tengan dudas.

37. Posicionamiento de trabajo: Conjunto de procedimientos mediante los cuales se mantendrá o sostendrá el trabajador a un lugar específico de trabajo en alturas, limitando la caída libre de éste a 2 pies (0,60 m) o menos.

38. Reentrenamiento: Proceso anual obligatorio, por el cual se actualizan conocimientos y se entrenan habilidades y destrezas en prevención y protección contra caídas. Su contenido y duración depende de los cambios en la norma para protección contra caídas en trabajo en alturas, o del repaso de la misma y de las fallas que en su aplicación que el empleador detecte, ya sea mediante una

13

Continuación de la resolución "Por la cual se establece el Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas"

evaluación a los trabajadores o mediante observación a los mismos por parte del coordinador de trabajo en alturas. El reentrenamiento debe realizarse anualmente o cuando el trabajador autorizado ingrese como nuevo en la empresa, o cambie de tipo de trabajo en alturas o haya cambiado las condiciones de operación o su actividad. Las empresas o los gremios en convenio con éstas puede efectuar el reentrenamiento directamente bajo el mecanismo de UVAE o a través de terceros autorizados por esta Resolución. Debe quedar prueba del reentrenamiento, que puede ser, mediante lista de asistencia, constancia o certificado.

39. Requerimiento de claridad o espacio libre de caída: Distancia vertical requerida por un trabajador en caso de una caída, para evitar que este impacte contra el suelo o contra un obstáculo. El requerimiento de claridad dependerá principalmente de la configuración del sistema de detención de caídas utilizado.

40. Restricción de caída: Técnica de trabajo que tiene por objetivo impedir que el trabajador sufra una caída de un borde o lado desprotegido.

41. Rodapié: Elemento de protección colectiva que fundamentalmente previene la caída de objetos o que ante el resbalón de una persona, evita que esta caiga al vacío. Debe ser parte de las barandas y proteger el área de trabajo a su alrededor.

42. Trabajador autorizado: Trabajador que posee el certificado de capacitación de trabajo seguro en alturas ó el certificado de competencia laboral para trabajo seguro en alturas.

43. Trabajos en suspensión: Tareas en las que el trabajador debe "suspenderse" o colgarse y mantenerse en esa posición, mientras realiza su tarea o mientras es subido o bajado.

44. Trabajo ocasional: Son las actividades que no realiza regularmente el trabajador o que son esporádicos o realizados de vez en cuando.

45. Trabajo rutinario: Son las actividades que regularmente desarrolla el trabajador, en el desempeño de sus funciones.

46. Unidades Vocacionales de Aprendizaje en Empresas UVAE: Las empresas, o los gremios en convenio con éstas, podrán crear unidades vocacionales de aprendizaje, las cuales son mecanismos dentro de las empresas que buscan desarrollar conocimiento en la organización mediante procesos de autoformación, con el fin de preparar, entrenar, reentrenar, complementar y certificar la capacidad del recurso humano para realizar labores seguras en trabajo en alturas dentro de la empresa. La formación que se imparta a través de las UVAES deberá realizarse con los entrenadores para trabajo seguro en alturas.

Para que la empresa, o los gremios en convenio con éstas, puedan crear una UVAE deberán cumplir en las instalaciones de las empresas o en la obra de

13

23 JUL 2012

RESOLUCIÓN NÚMERO 0001409 DE 2012 HOJA No 9

Continuación de la resolución "Por la cual se establece el Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas"

construcción con los requisitos para el trabajo seguro en alturas establecidos en la presente Resolución.

47. Sistemas de protección de caídas certificado: Conjunto de elementos y/o equipos diseñados e instalados que cumplen con las exigencias de calidad de la norma nacional o internacional que lo regula, y aprobado por una persona calificada si existen dudas. En ningún momento, el estándar internacional puede ser menos exigente que el nacional.

CAPÍTULO II

OBLIGACIONES Y REQUERIMIENTOS

ARTÍCULO 3. OBLIGACIONES DEL EMPLEADOR. Todo empleador que tenga trabajadores que realicen tareas de trabajo en alturas con riesgo de caídas como mínimo debe:

1. Realizar las evaluaciones médicas ocupacionales y el manejo y contenido de las historias clínicas ocupacionales conforme a lo establecido en las Resoluciones 2346 de 2007 y 1918 de 2009 expedidas por el Ministerio de la Protección Social o las normas que las modifiquen, sustituyan o adicionen.
2. Incluir en el programa de salud ocupacional denominado actualmente Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo SG-SST, el programa de protección contra caídas de conformidad con la presente resolución, así como las medidas necesarias para la identificación, evaluación y control de los riesgos asociados al trabajo en alturas, a nivel individual por empresa o de manera colectiva para empresas que trabajen en la misma obra;
3. Cubrir las condiciones de riesgo de caída en trabajo en alturas, mediante medidas de control contra caídas de personas y objetos, las cuales deben ser dirigidas a su prevención en forma colectiva, antes de implementar medidas individuales de protección contra caídas. En ningún caso, podrán ejecutarse trabajos en alturas sin las medidas de control establecidas en la presente resolución;
4. Adoptar medidas compensatorias y eficaces de seguridad, cuando la ejecución de un trabajo particular exija el retiro temporal de cualquier dispositivo de prevención colectiva contra caídas. Una vez concluido el trabajo particular, se volverán a colocar en su lugar los dispositivos de prevención colectiva contra caídas;

14

Continuación de la resolución "Por la cual se establece el Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas"

5. Garantizar que los sistemas y equipos de protección contra caídas, cumplan con los requerimientos de esta resolución;
6. Disponer de un coordinador de trabajo en alturas, de trabajadores autorizados en el nivel requerido y de ser necesario, un ayudante de seguridad según corresponda a la tarea a realizarse; lo cual no significa la creación de nuevos cargos sino la designación de trabajadores a estas funciones.
7. Garantizar que el suministro de equipos, la capacitación y el reentrenamiento, incluido el tiempo para recibir estos dos últimos, no generen costo alguno para el trabajador;
8. Garantizar un programa de capacitación a todo trabajador que se vaya a exponer al riesgo de trabajo en alturas, antes de iniciar labores.
9. Garantizar que todo trabajador autorizado para trabajo en alturas reciba al menos un reentrenamiento anual, para reforzar los conocimientos en protección contra caídas para trabajo seguro en alturas. En el caso que el trabajador autorizado ingrese como nuevo en la empresa, o cambie de tipo de trabajo en alturas o haya cambiado las condiciones de operación o su actividad, el empleador debe también garantizar un programa de reentrenamiento en forma inmediata, previo al inicio de la nueva actividad.
10. Garantizar la operatividad de un programa de inspección, conforme a las disposiciones de la presente resolución. Los sistemas de protección contra caídas deben ser inspeccionados por lo menos una vez al año, por intermedio de una persona o equipo de personas avaladas por el fabricante y/o calificadas según corresponda.
11. Asegurar que cuando se desarrollen trabajos con riesgo de caídas de alturas, exista acompañamiento permanente de una persona que esté en capacidad de activar el plan de emergencias en el caso que sea necesario;
12. Solicitar las pruebas que garanticen el buen funcionamiento del sistema de protección contra caídas y/o los certificados que lo avalen. Las pruebas deben cumplir con los estándares nacionales y en ausencia de ellos, con estándares internacionales vigentes para cada componente del sistema; en caso de no poder realizar las pruebas, se debe solicitar las memorias de cálculo y datos del sistema que se puedan simular para representar o demostrar una condición similar o semejante de la funcionalidad y función del diseño del sistema de protección contra caídas;
13. Asegurar la compatibilidad de los componentes del sistema de protección contra caídas; para ello debe evaluar o probar completamente si el cambio o modificación de un sistema cumple con el estándar a través del coordinador de trabajo en alturas o si hay duda, debe ser aprobado por una persona calificada;

13

23 JUL 2012

RESOLUCIÓN NÚMERO 00001409 DE 2012 HOJA No 11

Continuación de la resolución "Por la cual se establece el Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas"

14. Incluir dentro de su Plan de Emergencias un procedimiento para la atención y rescate en alturas con recursos y personal entrenado, de acuerdo con lo establecido en el artículo 24 de la presente resolución; y,
15. Garantizar que los menores de edad y las mujeres embarazadas en cualquier tiempo de gestación no realicen trabajo en alturas.
16. Es obligación del empleador asumir los gastos y costos de la capacitación *certificada de trabajo seguro en alturas ó la certificación en dicha competencia* laboral en las que se deba incurrir.

PARÁGRAFO. Las empresas podrán compartir recursos técnicos, tales como equipos de protección, equipos de atención de emergencias, entre otros, garantizando que en ningún momento por este motivo, se dejen de controlar trabajos en alturas con riesgo de caída en ninguna de estas empresas, de acuerdo con lo estipulado en la presente resolución y en ningún momento se considerará esto como un traslado de responsabilidades, siendo cada empresa la obligada a mantener las adecuadas condiciones de los recursos que utilicen.

ARTÍCULO 4. OBLIGACIONES DE LOS TRABAJADORES. Cualquier trabajador que desempeñe labores en alturas debe:

1. Asistir a las capacitaciones programadas por el empleador y aprobar satisfactoriamente las evaluaciones, así como asistir a los reentrenamientos;
2. Cumplir todos los procedimientos de salud y seguridad en el trabajo establecidos por el empleador;
3. Informar al empleador sobre cualquier condición de salud que le pueda generar restricciones, antes de realizar cualquier tipo de trabajo en alturas;
4. Utilizar las medidas de prevención y protección contra caídas que sean implementadas por el empleador;
5. Reportar al coordinador de trabajo en alturas el deterioro o daño de los sistemas individuales o colectivos de prevención y protección contra caídas; y,
6. Participar en la elaboración y el diligenciamiento del permiso de trabajo en alturas, así como acatar las disposiciones del mismo.

ARTÍCULO 5. OBLIGACIONES DE LAS ADMINISTRADORAS DE RIESGOS LABORALES. Las administradoras de riesgos laborales, que tengan afiliadas empresas en las que exista el riesgo de caída por trabajo en alturas, dentro de las obligaciones que le confiere los artículos 56, 59 y 80 del Decreto 1295 de 1994 y demás normas, deben:

13

23 JUL 2012

RESOLUCIÓN NÚMERO 0001409 DE 2012 HOJA No 12

Continuación de la resolución "Por la cual se establece el Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas"

- a) Realizar actividades de prevención, asesoría y evaluación de riesgos de trabajo en alturas de acuerdo a este reglamento.
- b) Ejercer la vigilancia y control en la prevención de los riesgos de trabajo en alturas conforme a lo establecido en la presente Resolución.
- c) Asesorar a los empleadores, sin ningún costo y sin influir en la compra, sobre la selección y utilización de los elementos de protección personal para trabajo en alturas.
- d) Elaborar, publicar y divulgar Guías Técnicas estandarizadas por actividades económicas para la aplicación de la presente resolución, lo cual podrán hacerlo por administradora o en unión con varias administradoras de riesgos.

PARÁGRAFO. Las administradoras de riesgos laborales podrán establecer mecanismos, programas y acciones para la asesoría en gestión para el control efectivo de los riesgos en trabajo en alturas, a nivel individual por empresa, de manera colectiva para las empresas de la misma actividad económica, priorizando los riesgos a controlar y los sistemas de vigilancia epidemiológica a desarrollar en trabajo en alturas.

TÍTULO II

PROGRAMA DE PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN CONTRA CAÍDAS DE ALTURAS

CAPÍTULO I

CONTENIDO DEL PROGRAMA DE PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN

ARTÍCULO 6. DEFINICIÓN PROGRAMA DE PREVENCIÓN Y PROTECCIÓN CONTRA CAÍDAS EN ALTURAS. Es la planeación, organización, ejecución y evaluación de las actividades identificadas por el empleador como necesarias de implementar en los sitios de trabajo en forma integral e interdisciplinaria, para prevenir la ocurrencia de accidentes de trabajo por trabajo en alturas y las medidas de protección implementadas para detener la caída una vez ocurra o mitigar sus consecuencias.

ARTÍCULO 7. CONTENIDO. El programa debe contener medidas de prevención y protección contra caída de alturas y debe hacer parte de las medidas de seguridad del Programa de Salud Ocupacional que de ahora en adelante se llamará Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo SG-SST

13

Continuación de la resolución "Por la cual se establece el Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas"

CAPÍTULO II

MEDIDAS DE PREVENCIÓN CONTRA CAÍDAS EN ALTURAS

ARTÍCULO 8. MEDIDAS DE PREVENCIÓN. Son aquellas implementadas para evitar la caída de trabajadores cuando realicen trabajo en alturas.

Dentro de las medidas de prevención contra caídas de trabajo en alturas están la capacitación, los sistemas de ingeniería para prevención de caídas, medidas colectivas de prevención, permiso de trabajo en alturas, sistemas de acceso para trabajo en alturas y trabajos en suspensión.

Se debe elaborar y establecer los procedimientos para el trabajo seguro en alturas los cuales deben ser fácilmente entendibles y comunicados a los trabajadores desde los procesos de inducción, capacitación, entrenamiento y reentrenamiento con el soporte del coordinador de trabajo en alturas o de una persona calificada para lo cual podrá consultar con los trabajadores que intervienen en la tarea. Tales procedimientos, deben ser revisados y ajustados, cuando:

- a) Cambien las condiciones de trabajo;
- b) Ocurra algún incidente o accidente; o,
- c) Los indicadores de gestión así lo definan;

ARTÍCULO 9. CAPACITACIÓN O CERTIFICACIÓN DE LA COMPETENCIA LABORAL DE TRABAJADORES QUE REALICEN TRABAJO EN ALTURAS.

Todos los trabajadores que laboren en las condiciones de riesgo que establece el artículo 1° de la presente resolución deben tener su respectivo certificado para trabajo seguro en alturas, el cual podrán obtener mediante capacitación o por certificación en la competencia laboral.

El trabajador que al considerar que por su experiencia, conocimientos y desempeño en trabajo en alturas, no requiere realizar el curso de capacitación podrá optar por la evaluación de estos conocimientos y desempeño a través de un organismo certificador de competencias laborales.

ARTÍCULO 10. PERSONAS OBJETO DE LA CAPACITACIÓN. Se deben capacitar en trabajo seguro en alturas:

1. Jefes de área que tomen decisiones administrativas en relación con la aplicación de este reglamento en empresas en las que se haya identificado como prioritario el riesgo de caída por trabajo en altura;
2. Trabajadores que realizan trabajo en alturas;

Continuación de la resolución "Por la cual se establece el Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas"

3. Coordinador de trabajo en alturas;
4. Entrenador en trabajo seguro en alturas; y,
5. Aprendices de formación titulada de las instituciones de formación para el trabajo, que ofrezcan programas en los que en su práctica o vida laboral pueda existir el riesgo de caída en alturas, deben ser formados y certificados en el nivel avanzado de trabajo seguro en alturas por la misma institución.

ARTÍCULO 11. CONTENIDOS DE LOS PROGRAMAS DE CAPACITACIÓN. Los programas de capacitación en protección contra caídas para trabajo seguro en alturas hacen parte de la capacitación para la seguridad industrial, por lo tanto se regirán por las normas establecidas en el Ministerio del Trabajo.

El contenido mínimo de los programas, será el siguiente:

1. Programas de capacitación para jefes de área. Los programas de capacitación para las personas que tomen decisiones administrativas en relación con la aplicación de este reglamento en empresas en las que se haya identificado como prioritario el riesgo de caída por trabajo en altura, deben desarrollar los siguientes temas, con una intensidad mínima de 8 horas certificadas en:

- a. Requisitos legales en protección contra caídas para trabajo seguro en alturas;
- b. Responsabilidad civil, penal y administrativa;
- c. Marco conceptual sobre prevención y protección contra caídas para trabajo seguro en alturas, permisos de trabajo y procedimiento de activación del plan de emergencias; y,
- d. Administración y control del programa de protección contra caídas para trabajo seguro en alturas.

Esta capacitación puede ser presencial o virtual y debe repetirse en su totalidad por lo menos cada dos (2) años, razón por la cual no requiere reentrenamiento.

2. Programas de capacitación para coordinador de trabajo en alturas. Estos programas de capacitación deben tener un mínimo de 80 horas certificadas de intensidad, 60 teóricas y 20 prácticas e incluirán por lo menos, los siguientes temas:

19

Continuación de la resolución "Por la cual se establece el Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas"

- a. Naturaleza de los peligros de caída de personas y objetos en el área de trabajo y fomento del autocuidado de las personas;
- b. Requisitos legales en protección contra caídas para trabajo seguro en alturas, de acuerdo a la actividad económica;
- c. Responsabilidad laboral, civil, penal y administrativa;
- d. Conceptos técnicos de protección contra caídas para trabajo seguro en alturas;
- e. Medidas de prevención y protección contra caídas en trabajo desarrollados en alturas;
- f. Programa de protección contra caídas;
- g. Procedimientos de trabajo seguro en alturas;
- h. Listas de chequeo;
- i. Procedimientos para manipular y almacenar equipos y materiales utilizados para protección contra caídas;
- j. Equipos de protección personal contra caídas (selección, compatibilidad, inspección y reposición) y sistemas de anclaje;
- k. Sistemas de acceso para trabajo seguro en alturas;
- l. Fundamentos de primeros auxilios;
- m. Conceptos básicos de auto rescate, rescate, y plan rescate;
- n. Elaboración del permiso de trabajo en alturas; y,
- o. Técnicas de inspección.

3. Programas de capacitación para trabajadores operativos. Los contenidos de la capacitación para trabajadores que desarrollan actividades de tipo operativo para la ejecución de trabajo seguro en alturas, incluirán, por lo menos:

- a. Naturaleza de los peligros de caída de personas y objetos en el área de trabajo y fomento del autocuidado de las personas;
- b. Requisitos legales en protección contra caídas para trabajo seguro en alturas, de acuerdo a la actividad económica;
- c. Responsabilidad laboral, civil, penal y administrativa;
- d. Conceptos técnicos de protección contra caídas para trabajo seguro en alturas;

13

23 JUL 2012

RESOLUCIÓN NÚMERO 00001409 DE 2012 HOJA No 16

Continuación de la resolución "Por la cual se establece el Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas"

- e. Medidas de prevención y protección contra caídas en trabajo desarrollado en alturas;
- f. Procedimientos para seleccionar, manipular y almacenar equipos y materiales utilizados para protección contra caídas; y,
- g. Conceptos básicos de auto rescate, rescate y fundamentos de primeros auxilios.
- h. Permiso de trabajo en alturas

4. Niveles de capacitación Operativa: El nivel de capacitación de los trabajadores autorizados o para quienes desarrollan actividades de tipo operativo para la ejecución de trabajo seguro en alturas, será definido por el coordinador de trabajo en alturas considerando los siguientes criterios:

- a. Todo trabajador que realice labores en alturas, con riesgo de caída, según lo establecido en esta Resolución, que realice desplazamientos horizontales y/o verticales por las estructuras, incluidas las técnicas de suspensión, utilizando diferentes equipos de protección contra caídas según el tipo de aplicación y sistemas de anclaje portátiles, debe estar certificado en el nivel avanzado; y,

- b. Los trabajadores que deben realizar el curso básico serán los siguiente:

1. Todo trabajador que realice trabajo en alturas, con riesgos de caída, según lo establecido en esta Resolución, que deba utilizar un sistema de acceso seguro como escaleras y plataformas con barandas; o escaleras portátiles, plataformas portátiles, canastillas y similares.

2. Trabajadores que su actividad sea reparaciones o nuevas construcciones de edificios que estén protegidos por barandas, siempre y cuando estas últimas cumplan con los requisitos de la presente Resolución.

Quedan exceptuados los trabajadores que para ejercer su labor requieren el uso de sistemas de acceso mecánicos para acceder a las alturas y trabajadores que requieran elementos de protección contra caídas, o aplicación de técnicas o procedimientos para su protección, quienes deberán tomar la capacitación de nivel avanzado.

PARÁGRAFO 1. Quienes actualmente tengan certificado del nivel intermedio deben completar el número de horas y temas para nivelarlo al nivel avanzado a través de reentrenamiento, momento en el cual se les expedirá certificado de nivel avanzado. Para realizar esta nivelación tienen un término máximo de 24 meses; tiempo durante el cual solo podrán realizar labores en alturas asegurados con sistemas de tránsito vertical sin que implique desplazamientos horizontales en alturas, a no ser que hayan certificado en el nivel avanzado.

Continuación de la resolución "Por la cual se establece el Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas"

PARÁGRAFO 2. Los diferentes niveles de formación operativa, se deben desarrollar con la siguiente intensidad mínima y obedecerán a las normas técnicas y laborales vigentes que determine el Ministerio del Trabajo con el apoyo del SENA:

1. Nivel básico: 8 horas; 3 teóricas y 5 de entrenamiento práctico;
2. Nivel Avanzado: 40 horas; de las cuales mínimo 16 serán teóricas y 24 de entrenamiento práctico.

PARÁGRAFO 3. Las empresas con más de 100 trabajadores que utilicen el mecanismo de las Unidades Vocacionales de Aprendizaje podrán disminuir la intensidad mínima de los cursos en los diferentes niveles de capacitación operativa hasta un 25%, siempre y cuando garanticen que con la intensidad establecida por ellos, y con la aplicación de los estándares de seguridad aplicados, sus trabajadores no sufrirán lesiones graves o mortales. En todo caso los cursos de capacitación operativa, que se desarrollen mediante esta modalidad deben conservar los porcentajes que a continuación se definen:

1. Nivel básico: 40% capacitación teórica y 60% entrenamiento práctico;
2. Nivel Avanzado: 40% capacitación teórica y 60% de entrenamiento práctico.

PARÁGRAFO 4. Las instituciones autorizadas por esta resolución para dictar la capacitación en trabajo seguro en alturas, deben contar con programas especialmente diseñados para trabajadores que no saben leer ni escribir, observando la metodología que sobre el particular determine el Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA, con la aprobación de la Dirección de Movilidad y Formación para el Trabajo del Ministerio del Trabajo.

ARTÍCULO 12. OFERTA DE CAPACITACIÓN EN TRABAJO SEGURO EN ALTURAS. Los diferentes programas de capacitación para trabajo seguro en alturas, se podrán ofertar por las siguientes instituciones, observando los requisitos aquí establecidos:

1. **Capacitación para jefes de área, coordinador de trabajo en alturas y trabajadores operativos.** Las siguientes instituciones podrán ofrecer programas de capacitación para jefes de área, coordinador de trabajo en alturas y trabajadores operativos:

- a. El Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA;
- b. Los empleadores o empresas, utilizando la figura de las Unidades Vocacionales de Aprendizaje;
- c. Las Instituciones Técnicas, Tecnológicas y Universitarias debidamente aprobadas por el Ministerio de Educación Nacional;

11

Continuación de la resolución "Por la cual se establece el Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas"

- d. Las Instituciones de Formación para el Trabajo y Desarrollo Humano con certificación en sistemas de gestión de la calidad para instituciones de formación para el trabajo; y,
- e. Las Personas Naturales y Jurídicas con Licencia en Salud Ocupacional, deberán cumplir con los siguientes requisitos para ser autorizadas por el SENA, hasta tanto el Ministerio del Trabajo expida la norma de calidad correspondiente:
 - i. Presentar certificado de existencia y representación legal en el caso de personas jurídicas y RUT en el caso de personas naturales;
 - ii. Acreditar que para la capacitación, cuenta con entrenadores que cumplen con los requisitos establecidos en la presente resolución;
 - iii. Anexar los programas de capacitación que van a impartir, los cuales se deben ajustar a los diseños de acciones de capacitación establecidos por el SENA para protección contra caídas para trabajo seguro en alturas;
 - iv. Anexar la licencia de salud ocupacional vigente; y,
 - v. Certificado del SENA, de que dispone de centros de entrenamiento y ambientes de aprendizaje, para realizar el entrenamiento conforme a lo establecido en esta resolución, el cual deberá ser expedido dentro del mes siguiente de la solicitud con el lleno de requisitos, lo anterior hasta tanto el Ministerio del Trabajo expida la norma de calidad correspondiente.

Para impartir la capacitación de trabajo seguro en alturas las anteriores instituciones, deben contar con entrenadores en trabajo seguro en alturas.

2. Formación de entrenadores para trabajo seguro en alturas. El Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA y las Universidades con programas en salud ocupacional en alguna de sus áreas, debidamente aprobados y reconocidos oficialmente por el Ministerio de Educación Nacional, podrán desarrollar programas de formación de entrenadores en trabajo seguro en alturas.

Para la obtención del certificado, el aspirante a entrenador en trabajo seguro en alturas debe cumplir previamente con los siguientes requisitos:

- a) Título de técnico, tecnólogo o profesional en salud ocupacional o profesional especialista en salud ocupacional o alguna de sus áreas.
- b) Curso de entrenador para trabajo seguro en alturas, como mínimo de 120 horas, de las cuales 40 horas serán de trabajo seguro en alturas, 40 horas de formación pedagógica básica y 40 horas de entrenamiento práctico.
- c) Certificado de competencia laboral vigente en la norma para protección contra caídas en trabajo en alturas, cumplimiento que se deberá dar dentro de los 24 meses siguientes a la vigencia de la presente resolución y esta competencia deberá ser renovada cuando se actualice la norma;
- d) Tener licencia vigente en salud ocupacional; y,

19

23 JUL 2012

RESOLUCIÓN NÚMERO 0001429 DE 2012 HOJA No 19

Continuación de la resolución "Por la cual se establece el Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas"

e) Tener experiencia certificada mínima de seis (6) meses en el desarrollo de actividades de higiene, seguridad, medicina, diseño y ejecución del Programa de Salud Ocupacional denominado actualmente Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo SG-SST Empresarial (P.S.O.E.).

PARÁGRAFO 1. Los programas de capacitación de trabajo seguro en alturas que impartan las personas jurídicas y naturales con licencia en salud ocupacional autorizadas por el SENA, serán los diseñados por el Servicio Nacional de Aprendizaje y aprobados por la Dirección de Movilidad y Formación para el Trabajo del Ministerio del Trabajo, las Instituciones de Técnicas, Tecnológicas y Universitarias y las Instituciones de Formación para el Trabajo y Desarrollo Humano con certificación en sistemas de gestión de la calidad para instituciones de formación para el trabajo podrán elaborar sus propios programas, en todo caso deberán tener los requisitos de contenido mínimo de la presente Resolución y los parámetros establecidos por la norma de competencia laboral vigente.

PARÁGRAFO 2. Todos los oferentes de capacitación en trabajo seguro en alturas que otorguen certificados, deben reportar la información de esta certificación al SENA dentro del mes siguiente a su realización. El certificado que cumplido el plazo no esté registrado en el SENA no será válido hasta tanto no sea registrado. Cuando la Dirección de Movilidad y Formación para el Trabajo del Ministerio del Trabajo, asuma el registro de los certificados de capacitación, el SENA dejará de ejercer esta función.

PARÁGRAFO 3. Los centros de entrenamiento que se utilicen para impartir esta formación, deben cumplir con las normas de calidad para trabajo en alturas, que adopte el Ministerio del Trabajo; el organismo certificador debe presentar al Ministerio del Trabajo Dirección de Movilidad y Formación para el Trabajo el reporte anual de los centros de entrenamiento certificados y de los que mantienen su certificación después de las visitas del organismo certificador. Mientras se define esta norma los centros de entrenamiento continuarán siendo aprobados por el SENA. Las UVAES no certificarán sus centros de entrenamiento, estos se adecuarán en las instalaciones de las empresas u obras de construcción pero deberán cumplir con los demás requisitos establecidos en la presente Resolución.

PARÁGRAFO 4. Todas las empresas ó los gremios en convenio con éstas, podrán implementar, a través de Unidades Vocacionales de Aprendizaje UVAE, procesos de autoformación en protección contra caídas para trabajo seguro en alturas, en el nivel que corresponda a las labores a desempeñar. Las empresas o los gremios en convenio con éstas deben informar al Ministerio, a la Dirección de Movilidad y Formación para el Trabajo o quien haga sus veces, la creación de las unidades.

ARTÍCULO 13. ENTIDADES Y REQUISITOS PARA DESARROLLAR PROCESOS DE EVALUACIÓN DE LA COMPETENCIA LABORAL PARA TRABAJO SEGURO EN ALTURAS. Todas las entidades acreditadas por el Organismo Nacional de Acreditación de Colombia ONAC como organismos certificadores de personas podrán formar evaluadores y certificar trabajadores en competencias laborales en trabajo seguro en alturas.

14

23 JUL 2012

RESOLUCIÓN NÚMERO 00001499 DE 2012 HOJA No 20

Continuación de la resolución "Por la cual se establece el Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas"

Las entidades para evaluar las competencias laborales deben contar con evaluadores de competencias laborales.

Los evaluadores de competencias laborales para evaluar las competencias para trabajo seguro en alturas deben cumplir con los siguientes requisitos:

- a) Tener certificado de competencia laboral vigente en trabajo seguro en alturas;
- b) Ser entrenador y con 6 meses de experiencia certificada en trabajo seguro en altura.
- c) Tomar el curso de evaluador de competencias laborales

PARÁGRAFO 1. Las personas que actualmente sean evaluadores de competencias laborales tendrán un plazo de un (1) año para llenar los requisitos exigidos en la presente Resolución.

PARÁGRAFO 2. El SENA seguirá evaluando y certificando competencias laborales en trabajo seguro en alturas.

ARTÍCULO 14. CONTENIDO MÍNIMO DEL CERTIFICADO DE CAPACITACIÓN Ó DE COMPETENCIA LABORAL, EN TRABAJO SEGURO EN ALTURAS: el documento que certifica la aprobación de la capacitación o la evaluación de la competencia laboral, debe contener como mínimo los siguientes campos:

- 1. Denominación: "Certificación de capacitación/ o Certificado de competencia laboral, para Trabajo Seguro en Alturas";
- 2. El nombre de la persona formada/ certificada;
- 3. Número de cédula de la persona formada/ certificada;
- 4. Nombre de la persona jurídica o natural que realice la capacitación ó nombre de la persona jurídica que realice la evaluación y certificación de la competencia laboral;
- 5. Ciudad y Fecha de la capacitación/ certificación; y,
- 6. Nivel de capacitación.

PARÁGRAFO 1. Adicionalmente en los certificados que expidan las personas naturales o jurídicas autorizadas por el SENA, con licencia en salud ocupacional debe contener:

- 1. Nombres, apellidos, firma del entrenador y número de la licencia de salud ocupacional; y,

Continuación de la resolución "Por la cual se establece el Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas"

2. Número de la Resolución de autorización del SENA para dictar cursos de capacitación de trabajo seguro en alturas, hasta tanto el Ministerio del Trabajo expida la norma de calidad correspondiente.

PARÁGRAFO 2. Adicionalmente los certificados que expidan las Empresas, o los gremios en convenio con éstas, que utilicen el mecanismo de Unidades Vocacionales de Aprendizaje UVAE, deben contener:

1. Nombres, apellidos, firma del entrenador y número de la licencia de salud ocupacional;
2. Nombres, apellidos y firma del representante legal de la empresa o su delegado;
3. Nombres, apellidos y firma del representante legal del gremio o su delegado.

ARTÍCULO 15. SISTEMAS DE INGENIERÍA PARA PREVENCIÓN DE CAÍDAS: Son aquellos sistemas relacionados con cambios o modificación en el diseño, montaje, construcción, instalación, puesta en funcionamiento, para eliminar o mitigar el riesgo de caída. Se refiere a todas aquellas medidas tomadas para el control en la fuente, desde aquellas actividades destinadas a evitar el trabajo en alturas o la subida del trabajador, hasta la implementación de mecanismos que permitan menor tiempo de exposición. Tales sistemas deben estar documentados y fundamentados dentro del Subprograma de Protección contra Caídas del Programa de Salud Ocupacional denominado actualmente Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo SG-SST;

ARTÍCULO 16. MEDIDAS COLECTIVAS DE PREVENCIÓN: Son todas aquellas actividades dirigidas a informar o demarcar la zona de peligro y evitar una caída de alturas o ser lesionado por objetos que caigan. Estas medidas, previenen el acercamiento de los trabajadores o de terceros a las zonas de peligro de caídas, sirven como barreras informativas y corresponden a medidas de control en el medio. Su selección como medida preventiva e implementación dependen del tipo de actividad económica y de la viabilidad técnica de su utilización en el medio y según la tarea específica a realizar.

Cuando por razones del desarrollo de la labor, el trabajador deba ingresar al área o zona de peligro demarcada, será obligatorio el uso de equipos de protección personal y si aplica los equipos de protección contra caídas necesarios.

Siempre se debe informar, entrenar y capacitar a los trabajadores sobre cualquier medida que se aplique.

Dentro de las principales medidas colectivas de prevención están:

a) **Delimitación del área:** Medida de prevención que tiene por objeto limitar el área o zona de peligro de caída del trabajador y prevenir el acercamiento de este a la zona de caída.

11

Continuación de la resolución "Por la cual se establece el Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas"

La delimitación de la zona de peligro de caída del trabajador se hará mediante cuerdas, cables, vallas, cadenas, cintas, reatas, bandas, conos, balizas, o banderas, de cualquier tipo de material, de color amarillo y negro combinados, si son permanentes y, naranja y blanco combinados, si son temporales.

Los elementos utilizados para delimitar las zonas de peligro y riesgo, pueden ir o no enganchados a soportes de señalización, según sea necesario y pueden ser utilizados solos o combinados entre sí, de tal manera que se garantice su visibilidad de día y de noche si es el caso. Siempre que se utilice un sistema de delimitación, cualquiera que sea, se debe utilizar señalización.

En las áreas de trabajo en alturas en donde no sea viable el sistema de delimitación, deben adoptarse otras medidas de protección contra caída dispuestas en la presente resolución.

Siempre que un trabajador ingrese a una zona de peligro, debe contar con la debida autorización y si requiere exponerse al riesgo de caídas, deberá contar con un aval a través de un permiso de trabajo en alturas o lista de chequeo, más aún en caso de que no haya barandas o sistemas de barreras físicas que cumplan con las especificaciones descritas en la presente resolución.

Para la prevención de caídas de objetos, se deben delimitar áreas para paso peatonal y mallas escombreras. Así mismo, evitar que las personas ingresen a zonas con peligro de caída de objetos;

b) Línea de Advertencia: Es una medida de prevención de caídas que demarca un área en la que se puede trabajar sin un sistema de protección. Consiste en una línea de acero, cuerda, cadena u otros materiales, la cual debe estar sostenida mediante unos soportes que la mantengan a una altura entre 0,85 metros y 1 metro de altura sobre la superficie de trabajo. Debe cumplir con los siguientes requisitos:

- i. Debe ser colocada a lo largo de todos los lados desprotegidos;
- ii. Debe estar colocada a 1,80 metros de distancia del borde desprotegido o más;
- iii. Debe resistir fuerzas horizontales de mínimo 8 kg; y,
- iv. Debe contar con banderines de colores visibles separados a intervalos inferiores a 1,80 metros.

Se debe garantizar la supervisión permanente del área con un ayudante de seguridad, que impida que algún trabajador traspase la línea de advertencia sin protección de caídas. El ayudante de seguridad debe estar en la misma superficie de trabajo y en una posición que le permita vigilar a los trabajadores y con la capacidad de advertirles del riesgo, utilizando los medios que sean necesarios.

A

13

Continuación de la resolución "Por la cual se establece el Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas"

c) Señalización del área: Es una medida de prevención que incluye entre otros, avisos informativos que indican con letras o símbolos gráficos el peligro de caída de personas y objetos; también debe incluir un sistema de demarcación que rodee completamente el perímetro, excepto en las entradas y salidas según sea necesario para el ingreso y salida de personas o materiales. La señalización debe estar visible para cualquier persona, en idioma español y en el idioma de los trabajadores extranjeros que ejecuten labores en la empresa;

d) Barandas: Medida de prevención constituida por estructuras que se utilizan como medida informativa y/o de restricción. Pueden ser portátiles o fijas y también, ser permanentes o temporales según la tarea que se desarrolle. Las barandas fijas siempre deben quedar ancladas a la estructura propia del área de trabajo en alturas.

Las barandas fijas y portátiles siempre deben estar identificadas y cumplir como mínimo, con los requerimientos establecidos en la siguiente tabla:

Tabla No. 1

**REQUERIMIENTOS MÍNIMOS PARA BARANDAS COMO MEDIDAS
COLECTIVAS DE PREVENCIÓN EN TRABAJOS EN ALTURAS**

TIPO DE REQUERIMIENTO	MEDIDA
Resistencia estructural de la baranda	Mínimo 200 libras (90,8 Kg) de carga puntual en el punto medio del travesaño superior de la baranda aplicada en cualquier dirección.
Alturas de la baranda (Desde la superficie en donde se camina y/o trabaja, hasta el borde superior del travesaño superior)	1 metro mínimo sobre la superficie de trabajo; las barandas existentes que estén a menos deben ajustarse en un término no mayor de 8 años a la altura requerida mínima de 1 metro, a partir de la vigencia de esta Resolución.
Ubicación de travesaños intermedios horizontales	Deben ser ubicados a máximo 48 cm entre sí.
Separación entre soportes verticales	Aquella que garantice la resistencia mínima solicitada.
Alturas de los rodapiés	De mínimo 9 cm, medidos desde la superficie en donde se camina y/o trabaja. Si hay materiales acumulados cuya altura exceda la del rodapié y puedan caer al vacío, se deberá instalar una red, lona,

A

119

Continuación de la resolución "Por la cual se establece el Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas"

	entre otros, asegurada a la baranda, con la resistencia suficiente para prevenir efectivamente la caída de los objetos.
--	---

Las barandas deben ser de material con características de agarre, libre de riesgos cortantes o punzantes. Cuando las barandas sean utilizadas como medida de restricción, deberán ser fijas. El material y disposición de las barandas, debe asegurar la protección indicada en la presente resolución.

Las barandas nunca deberán ser usadas como puntos de anclajes para detención de caídas, ni para izar cargas.

Cuando en una superficie en donde se camina y/o trabaja, se determine instalar barandas, éstas deben colocarse a lo largo del borde que presenta el peligro de caída de personas y objetos.

Las barandas podrán ser reemplazadas por cualquier otro sistema que garantice las condiciones estructurales y de seguridad establecidas en esta resolución;

En el caso de contar con barandas con altura menor a un (1) metro el empleador deben establecer sistemas de seguridad que mitiguen el riesgo de caída.

e) Control de acceso: Es una medida de prevención que por medio de mecanismos operativos o administrativos, controla el acceso a la zona de peligro de caída.

Cuando se utilizan, deben formar parte de los procedimientos de trabajo y pueden ser como mínimo: Medidas de vigilancia, seguridad con guardas, uso de tarjetas de seguridad, dispositivos de seguridad para el acceso, permisos de trabajo en alturas, listas de chequeo, sistemas de alarmas u otro tipo de señalización.

f) Manejo de desniveles y orificios (huecos): Es una medida preventiva por medio de la cual se demarcan, señalizan y/o cubren orificios (huecos) o desniveles que se encuentran en la superficie donde se trabaja o camina.

Siempre que se encuentre el peligro de caída de alturas debido a la existencia de orificios (huecos) cercanos o dentro de la zona de trabajo, se deben utilizar como mínimo: Barandas provisionales, cubiertas de protección tales como rejillas de cualquier material, tablas o tapas, con una resistencia mínima de dos veces la carga máxima prevista que pueda llegar a soportar, colocadas sobre el orificio (hueco), delimitadas y señalizadas según lo dispuesto en la presente resolución para las medidas de prevención.

El manejo de orificios en donde el espacio vacío o brecha en una superficie o pared, sin protección, a través del cual se puede producir una caída de personas u objetos a una distancia menor de 1,50 m, deberá ser evaluada por el coordinador de trabajo en alturas para determinar las medidas de control necesarias.

19

Continuación de la resolución "Por la cual se establece el Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas"

En estructuras, cuando se diseñen sistemas para tránsito entre desniveles se deben utilizar medidas que permitan la comunicación entre ellos, disminuyendo el riesgo de caída, tales como rampas con un ángulo de inclinación de 15° a 30°, o escaleras con medida mínima de huella y de contrahuella según su ángulo de inclinación, conforme a lo establecido en la tabla No. 2; deben ser de superficies antideslizantes;

Tabla No. 2

MEDIDAS MÍNIMAS PARA HUELLA Y CONTRAHUELLA SEGÚN ÁNGULO DE INCLINACIÓN DE ESCALERA

Angulo / Horizontal	Medida Contrahuella en centímetros	Medida Huella centímetros
30 Grados.	16.51	27.94
32 Grados.	17.14	27.3
33 Grados.	17.78	26.67
35 Grados.	18.41	26.03
36 Grados.	19.05	25.4
38 Grados.	19.68	24.76
40 Grados.	20.32	24.13
41 Grados.	20.95	23.49
43 Grados.	21.59	22.86
45 Grados.	22.22	22.22
46 Grados.	22.86	21.59
48 Grados.	23.49	20.95
49 Grados.	24.13	20.32

g) Ayudante de seguridad: Se podrá asignar un ayudante de seguridad como medida complementaria a las medidas anteriormente enunciadas, con el fin de ayudar a advertir y controlar los peligros y riesgos que se identifiquen en el sitio donde se desarrollen trabajos en alturas.

PARÁGRAFO. El uso de medidas de prevención no exime al empleador de su obligación de implementar medidas de protección que deben ser incluidas en el programa de protección contra caídas, lo cual deberá estar acorde con los requisitos de la presente resolución.

Continuación de la resolución "Por la cual se establece el Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas"

ARTÍCULO 17. PERMISO DE TRABAJO EN ALTURAS. El permiso de trabajo en alturas es un mecanismo que mediante la verificación y control previo de todos los aspectos relacionados en la presente resolución, tiene como objeto prevenir la ocurrencia de accidentes durante la realización de trabajos en alturas.

Este permiso de trabajo debe ser emitido para trabajos ocasionales definidos por el *coordinador de trabajo en alturas* para los efectos de la aplicación de la presente resolución y puede ser diligenciado, por el trabajador o por el empleador y debe ser revisado y verificado en el sitio de trabajo por el *coordinador de trabajo en alturas*.

Cuando se trate de trabajos rutinarios, a cambio del permiso de trabajo en alturas, debe implementarse una lista de chequeo que será revisada y verificada en el sitio de trabajo por el *coordinador de trabajo en alturas*,

El permiso de trabajo debe contener como mínimo lo siguiente:

1. Nombre (s) de trabajador (es);
2. Tipo de trabajo;
3. Altura aproximada a la cual se va a desarrollar la actividad;
4. Fecha y hora de inicio y de terminación de la tarea;
5. Verificación de la afiliación vigente a la seguridad social;
6. Requisitos de trabajador (requerimientos de aptitud);
7. Descripción y procedimiento de la tarea;
8. Elementos de protección personal seleccionados por el empleador teniendo en cuenta los riesgos y requerimientos propios de la tarea, conforme a lo dispuesto en la presente resolución;
9. Verificación de los puntos de anclaje por cada trabajador;
10. Sistema de prevención contra caídas;
11. Equipos, sistema de acceso para trabajo en alturas;
12. Herramientas a utilizar;
13. Constancia de capacitación o certificado de competencia laboral para prevención para caídas en trabajo en alturas;

Continuación de la resolución "Por la cual se establece el Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas"

14. Observaciones; y,

15. Nombres y apellidos, firmas y números de cédulas de los trabajadores y de la persona que autoriza el trabajo.

El permiso de trabajo en alturas debe tener en cuenta las medidas para garantizar que se mantenga una distancia segura entre el trabajo y líneas o equipos eléctricos energizados y que se cuente con los elementos de protección necesarios, acordes con el nivel de riesgo (escaleras dieléctricas, parrillas, EPP dieléctrico, arco eléctrico, entre otros.)

ARTÍCULO 18. SISTEMAS DE ACCESO PARA TRABAJO EN ALTURAS. Para los fines de esta resolución que establece el Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas, se consideran como sistemas de acceso para trabajo en alturas: los andamios, las escaleras, los elevadores de personal, las grúas con canasta y todos aquellos medios cuya finalidad sea permitir el acceso y/o soporte de trabajadores a lugares para desarrollar trabajo en alturas.

Todo sistema de acceso para trabajo en alturas y sus componentes, debe cumplir las siguientes condiciones o requisitos para su selección y uso:

1. Deben ser certificados y el fabricante debe proveer información en español, sobre sus principales características de seguridad y utilización;
2. Ser seleccionados de acuerdo con las necesidades específicas de la actividad económica, la tarea a desarrollar y los peligros identificados por el coordinador de trabajo en alturas;
3. Ser compatibles entre sí, en tamaño, figura, materiales, forma, diámetro y estas características deben ser avaladas por el coordinador de trabajo en alturas y en caso de dudas, deberán ser aprobados por una persona calificada;
4. Garantizar la resistencia a las cargas con un factor de seguridad, que garantice la seguridad de la operación, de acuerdo con la máxima fuerza a soportar y la resistencia a la corrosión o desgaste por sustancias o elementos que deterioren la estructura del mismo; en caso de dudas, deberán ser aprobados por una persona calificada;
5. En el caso de sistemas colgantes (andamios o canastas para transporte de personal), lo correspondiente a cables, conectores, poleas, contrapesos y cualquier otro componente del sistema, deberá ser certificado, contar con diseños de Ingeniería y sus partes y cálculos antes de la labor, además deben garantizar un factor de seguridad que garantice la seguridad de la operación, en caso de dudas, estos sistemas deberán ser aprobados por una persona calificada.

13

23 JUL 2012

RESOLUCIÓN NÚMERO 00001409 DE 2012 HOJA No 28

Continuación de la resolución "Por la cual se establece el Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas"

6. Ser inspeccionados antes de cada uso por parte del usuario y mínimo una vez al año por el coordinador de trabajo en alturas, conforme a las normas nacionales o internacionales vigentes. Si existen no conformidades, el sistema debe retirarse de servicio y enviarse a mantenimiento certificado, si aplica, o eliminarse si no admite mantenimiento; y,

7. Tener una hoja de vida, donde estén consignados los datos de: fecha de fabricación, tiempo de vida útil, historial de uso, registros de inspección, registros de mantenimiento, ficha técnica, certificación del fabricante y observaciones.

PARÁGRAFO. Aunque esta resolución incluye sólo elementos certificados y los pretales no caben en esta categoría; se permitirá su uso como elemento de acceso a postes, siempre y cuando no sea posible el uso de otros sistemas de acceso, con la condición que para su uso se empleen sistemas certificados de protección contra caídas para el tránsito vertical y la seguridad del trabajador. De ninguna forma se consideran los pretales como un sistema de protección contra caídas.

ARTÍCULO 19. LINEAMIENTOS PARA EL USO SEGURO DE SISTEMAS DE ACCESO PARA TRABAJO EN ALTURAS. El montaje y/u operación de todo sistema de acceso para trabajo en alturas, debe ser inspeccionado por el coordinador de trabajo en alturas conforme a las instrucciones dadas por el fabricante o una persona calificada, atendiendo las normas nacionales o en su defecto las internacionales y de acuerdo con las disposiciones de prevención y protección establecidas en la presente resolución.

Se debe garantizar completa estabilidad y seguridad del sistema de acceso para trabajo en alturas, de tal forma que éste no sufra volcamiento o caída. Incluye verificar la estabilidad del suelo para la carga a aplicar.

El montaje y operación de todo sistema de acceso para trabajo en alturas, debe garantizar una distancia segura entre éste y las líneas o equipos eléctricos energizados de acuerdo con las normas eléctricas aplicables.

Todo sistema de acceso para trabajo en alturas, debe estar debidamente asegurado en forma vertical y/u horizontal, conforme a las especificaciones del mismo.

Siempre que se trabaje con sistema de acceso para trabajo en alturas, el trabajador no debe ascender por encima de los límites seguros permitidos establecidos para cada sistema. En el caso en que el sistema cuente con una plataforma, ella debe cubrir la totalidad de la superficie de trabajo y contar con sistema de barandas que cumpla con las disposiciones establecidas en la presente resolución.

A

18

23 JUL 2012

Continuación de la resolución "Por la cual se establece el Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas"

El uso de sistema de acceso para trabajo en alturas no excluye el uso de sistemas de prevención y protección contra caídas.

PARÁGRAFO. La selección y uso específicos de cada sistema de acceso para trabajo en alturas, y de los sistemas de prevención y protección contra caídas aplicables, debe ser avalado por escrito por el coordinador de trabajo en alturas y/o una persona calificada y debe atender a las instrucciones y especificaciones dadas por el fabricante.

ARTÍCULO 20. TRABAJO EN SUSPENSIÓN. Los trabajos en suspensión con duración de más de cinco (5) minutos, deberán ser realizados utilizando una silla para trabajo en alturas, que esté conectada a la argolla pectoral del arnés y al sistema de descenso.

Todos los componentes del sistema de descenso, deben estar certificados de acuerdo con las normas nacionales o internacionales aplicables.

Adicionalmente, el trabajador estará asegurado a una línea de vida vertical en cuerda, instalada con un anclaje independiente y usando un freno certificado.

CAPÍTULO III

MEDIDAS DE PROTECCIÓN CONTRA CAÍDAS EN ALTURAS

ARTÍCULO 21. MEDIDAS DE PROTECCIÓN CONTRA CAÍDAS. Las medidas de protección contra caídas, son aquellas implementadas para detener la caída, una vez ocurra, o mitigar sus consecuencias.

El empleador debe definir, las medidas de prevención y protección a ser utilizadas en cada sitio de trabajo donde exista por lo menos una persona trabajando en alturas ya sea de manera ocasional o rutinaria, estas medidas deben estar acordes con la actividad económica y tareas que la componen.

El uso de medidas de protección no exime al empleador de su obligación de implementar medidas de prevención, cuando se hayan determinado en el programa de salud ocupacional denominado actualmente Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo SG-SST como necesarias y viables, lo cual deberá estar acorde con los requisitos establecidos en la presente resolución.

Las medidas de protección deben cumplir con las siguientes características:

13

Continuación de la resolución "Por la cual se establece el Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas"

1. Los elementos o equipos de los sistemas de protección contra caídas deben ser compatibles entre sí, en tamaño, figura, materiales, forma, diámetro y deben estar certificados;
2. Podrán utilizarse, según las necesidades determinadas para un trabajador y el desarrollo de su labor, medidas de ascenso y descenso o medidas horizontales o de traslado. En todo caso, por tener el riesgo de caída de alturas se deberán utilizar arneses de cuerpo entero;
3. Todo sistema seleccionado debe permitir la distribución de fuerza, amortiguar la fuerza de impacto, elongación, resistencia de los componentes a tensión, corrosión o ser aislantes eléctricos o antiestáticos cuando se requieran;
4. Los equipos de protección individual para detención y restricción de caídas se seleccionarán tomando en cuenta los riesgos valorados por el coordinador de trabajo en alturas o una persona calificada que sean propios de la labor y sus características, tales como condiciones atmosféricas, presencia de sustancias químicas, espacios confinados, posibilidad de incendios o explosiones, contactos eléctricos, superficies calientes o abrasivas, trabajos con soldaduras, entre otros. Igualmente, se deben tener en cuenta las condiciones fisiológicas del individuo con relación a la tarea y su estado de salud en general; y,
5. También se seleccionarán de acuerdo a las condiciones de la tarea y los procedimientos como ascenso, descenso, detención de caídas, posicionamiento, izamiento, transporte de personal, salvamento y rescate.

PARÁGRAFO. Todo equipo sometido a una caída deberá ser retirado de la operación y no podrá volver a ser utilizado hasta que sea avalado por el fabricante o por una persona calificada; en el caso de las líneas de vida auto retráctiles, podrán ser enviadas a reparación y recertificadas por el fabricante.

ARTÍCULO 22. CLASIFICACIÓN DE LAS MEDIDAS DE PROTECCIÓN CONTRA CAÍDAS.

Para los fines de esta resolución, las medidas de protección se clasifican en pasivas y activas:

1. **Medidas Pasivas de Protección:** Están diseñadas para detener o capturar al trabajador en el trayecto de su caída, sin permitir impacto contra estructuras o elementos, requieren poca o ninguna intervención del trabajador que realiza el trabajo.

Los sistemas de red de seguridad para la detención de caídas están dentro de las principales medidas pasivas de protección cuyo propósito es, detener la caída libre de personas y objetos. Si se presenta caída de escombros, se colocará una red especial para escombros según especificaciones del fabricante.

13

Continuación de la resolución "Por la cual se establece el Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas"

Cuando se determine instalar un sistema de red de seguridad, esta debe poder soportar el impacto de la caída del trabajador garantizando que no golpeará ningún obstáculo debajo de ella, la misma deberá ser instalada bajo la supervisión de una persona calificada quien verificará las condiciones de seguridad establecidas por el fabricante, el diseño de la red y las distancias de caída.

Las medidas de la red para su instalación serán las que se señalan en la tabla 3.

Tabla No. 3.

REQUERIMIENTOS DE DISTANCIA PARA INSTALACIÓN DE RED DE SEGURIDAD

DISTANCIA VERTICAL DESDE LA SUPERFICIE EN DONDE SE CAMINA Y/O TRABAJA HASTA LA SUPERFICIE HORIZONTAL DE LA RED	DISTANCIA MÍNIMA HORIZONTAL REQUERIDA DESDE EL BORDE EXTERNO DE LA MALLA HASTA EL BORDE DE LA SUPERFICIE DE TRABAJO
1,5 m.	2,40 m
Más de 1,5. m hasta 3 m	3 m
Más de 3 m	4 m

Todos los componentes del sistema de red de seguridad deben estar certificados por sus fabricantes, y en conjunto deben ser capaces de soportar el impacto de la caída. Deben ser diseñados por una persona calificada y deben ser instalados, inspeccionados, mantenidos y aprobados por una persona calificada o una persona avalada por el fabricante.

Todo sistema de red de seguridad debe tener una hoja de vida en donde estén consignados los datos de: fecha de fabricación, usos anteriores, registros de inspecciones, certificaciones y registros de pruebas en la obra, antes de ponerlo en funcionamiento.

Las redes deben estar libres de cualquier elemento, material, equipo o herramienta en su interior, durante todo el tiempo que se realice el trabajo, lo cual debe ser verificado durante su uso. Así mismo, deben tener un punto de acceso que permita la remoción de elementos o personas que caigan en ella.

Los sistemas de redes de seguridad deben ser inspeccionados semanalmente, cada vez que sufran alguna modificación o después de cualquier incidente que pueda afectar su integridad. En caso de deterioro, deben ser cambiadas de manera inmediata, dejando registrado la fecha y tipo de red por la que se cambia.

13

Continuación de la resolución "Por la cual se establece el Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas"

Cuando en las áreas de trabajo en alturas estén laborando simultáneamente dos o más trabajadores, deben implementarse sistemas de prevención o protección complementarios; y,

2. Medidas Activas de Protección: Son las que involucran la participación del trabajador. Incluyen los siguientes componentes: punto de anclaje, mecanismos de anclaje, conectores, soporte corporal y plan de rescate.

Todos los elementos y equipos de protección deben ser sometidos a inspección *antes de cada uso por parte del trabajador, en el que constate que todos los componentes, se encuentran en buen estado. Deben contar con una resistencia mínima de 5000 libras (22,2 Kilonewtons – 2.272 Kg)*, certificados por las instancias competentes del nivel nacional o internacional y deben ser resistentes a la fuerza, al envejecimiento, a la abrasión, la corrosión y al calor.

Todos los elementos y equipos de protección activa deben estar certificados conforme a las normas nacionales o internacionales pertinentes para el trabajo a realizar.

Dentro de las principales medidas activas de protección, se tienen:

a) Punto de Anclaje Fijo: Se dividen en dos clases, puntos para detención de caídas y puntos para restricción de caídas, los primeros son equipos, asegurados a una estructura, que, si están diseñados por una persona calificada, deben ser capaces de soportar el doble de la fuerza máxima de la caída (3600 libras, 15.83 Kilonewtons o 1.607 Kilogramos), teniendo en cuenta todas las condiciones normales de uso del anclaje. Si no están diseñados por una persona calificada, deben ser capaces de soportar mínimo 5.000 libras (22,2 Kilonewtons – 2.272 Kg) por persona conectada. En ningún caso se permite la conexión de más de dos trabajadores a un mecanismo de anclaje fijo.

Los puntos de anclaje para restricción de caídas, deben tener una resistencia mínima de 3000 libras por persona conectada (13.19 Kilonewtons – 1339.2 Kg) y su ubicación y diseño evitará que el trabajador se acerque al vacío.

Los puntos de anclaje deben evitar que la persona se golpee contra el nivel inferior y evitar el efecto de péndulo.

Después de instalados, los anclajes fijos deben ser certificados al 100% por una persona calificada, a través de metodología probada por autoridades nacionales o internacionales reconocidas;

b) Dispositivos de Anclaje Portátiles o Conectores de Anclaje Portátiles: Dispositivos de tipo portátil que abrazan o se ajustan a una determinada estructura y que deben ser capaces de resistir mínimo 5.000 libras (22,2 Kilonewtons – 2.272 Kg); tienen como función ser puntos seguros de acoplamiento para los ganchos de

13

Continuación de la resolución "Por la cual se establece el Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas"

los conectores, cuando estos últimos no puedan conectarse directamente a la estructura;

c) Línea de vida horizontal: Podrán ser fijas o portátiles. Las líneas de vida horizontales fijas deben ser diseñadas e instaladas por una persona calificada con un factor de seguridad no menor que dos (2) en todos sus componentes y podrán o no contar con sistemas absorbentes de energía de acuerdo con los cálculos de ingeniería, en caso de dudas, deberán ser aprobados por una persona calificada.

La línea de vida horizontal portátil debe cumplir con lo siguiente:

- i. Debe tener absorbedor de energía y podrá ser instaladas por un trabajador autorizado, bajo supervisión de una persona calificada;
- ii. Sus componentes deben estar certificados;
- iii. Debe ser instalada entre puntos de anclaje que soporten al menos 5.000 libras (22,2 Kilonewtons – 2.272 Kg) por persona conectada;
- iv. No debe ser sobre-tensionada; y,
- v. Máximo se pueden conectar dos personas a la misma línea.

La línea de vida horizontal fija puede tener absorbedor de choque para proteger la línea y la estructura; en estos casos, su longitud debe ser tenida en cuenta en los cálculos del requerimiento de claridad.

En el diseño de Líneas de vida horizontales, se debe asegurar que no se supere la resistencia de la estructura.

El cable a emplear para líneas de vida horizontales, debe ser en acero con alma de acero de diámetro nominal igual o mayor a 5/16" (7,9 mm). En caso de tener líneas de vida temporales, pueden ser en acero con alma de acero y diámetro nominal igual o mayor a 5/16" (7,9 mm), o ser en materiales sintéticos que cumplan con la resistencia mínima de 5.000 lb. (22,2 Kilonewtons – 2.272 Kg) por persona conectada.

Si la línea de vida horizontal fija es instalada en un ambiente que pueda afectarla por corrosión, debe ser fabricada en cable de acero inoxidable.

Los sistemas de riel deben ser certificados por el fabricante o la persona calificada que lo diseña;

Continuación de la resolución "Por la cual se establece el Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas"

d) Líneas de vida verticales: Son sistemas de cables de acero con alma de acero, cuerdas sintéticas, rieles u otros materiales que, debidamente anclados en un punto superior a la zona de labor, protegen al trabajador en su desplazamiento vertical (ascenso/descenso). El sistema de línea vertical debe estar certificado.

Las líneas de vida verticales, podrán ser fijas o portátiles según la necesidad:

i. Líneas de vida verticales fijas: deben ser instaladas en escaleras verticales que superen una altura de 4,50 m sobre el nivel inferior. Deben tener un absorbedor de impacto en la parte superior para evitar sobrecargar el anclaje. Serán diseñadas por una persona calificada, y deben ser instaladas por una persona calificada o por una persona avalada por el fabricante o por la persona calificada;

ii. Líneas de vida verticales portátiles: deberán cumplir lo siguiente:

(1) Deben ser en cable de acero de diámetro nominal entre 5/16" (7,9 mm) a 3/8" (9,5 mm) o de cuerda entre 13 mm y 16 mm que cumplan con la resistencia mínima de 5.000 lb (22,2 Kilonewtons – 2.272 Kg);

(2) Sus componentes deben estar certificados; y,

(3) Ser instaladas en puntos de anclaje que soporten al menos 5.000 libras (22,2 Kilonewtons – 2.272 Kg) por persona conectada.

Los elementos o equipos de las líneas de vida vertical deben ser compatibles entre sí, en tamaño, figura, materiales, forma y diámetro. Compatibles no significa necesariamente que sean de la misma marca;

iii. Conectores: Existen diferentes conectores dependiendo el tipo de tarea a realizar; se deberán seleccionar conforme a la siguiente clasificación:

(1) **Ganchos de seguridad:** Equipos que cuentan con un sistema de cierre de doble seguridad, para evitar su apertura involuntaria, con resistencia mínima de 5.000 libras (22,2 Kilonewtons – 2.272 Kg). Están provistos de una argolla u ojo al que está asegurado al equipo conector y permiten unir el arnés al punto de anclaje. No deben tener bordes filosos o rugosos que puedan cortar o desgastar por fricción, los cabos o las correas o lastimar al trabajador;

(2) **Mosquetones:** Deben tener cierre de bloqueo automático y deben ser fabricados en acero, con una resistencia mínima certificada de 5.000 libras (22,2 Kilonewtons – 2.272 Kg). El uso de mosquetones roscados queda prohibido en los sistemas de protección contra caídas;

(3) **Conectores para restricción de caídas:** Tienen como función asegurar al trabajador a un punto de anclaje sin permitir que éste se acerque a menos de 60

23 JUL 2012

Continuación de la resolución "Por la cual se establece el Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas"

cm de un borde desprotegido. Estos conectores podrán ser de fibra sintética, cuerda, cable de acero u otros materiales con una resistencia mínima de 5.000 libras (22,2 Kilonewtons – 2.272 Kg) y debe ser certificado;

(4) Conectores de Posicionamiento: Tienen la finalidad de permitir que el trabajador se ubique en un punto específico a desarrollar su labor, evitando que la caída libre sea de más de 60 cm y deben estar certificados. Los conectores de posicionamiento deben tener una resistencia mínima de 5.000 libras (22,2 Kilonewtons – 2.272 Kg). Estos conectores podrán ser de cuerda, banda de fibra sintética, cadenas, mosquetones de gran apertura u otros materiales que garanticen una resistencia mínima de 5.000 libras (22,2 Kilonewtons – 2.272 Kg);

(5) Conectores para detención de caídas: Equipos que incorporan un sistema absorbedor de energía o mecanismos que disminuyen la fuerza de impacto, reduciendo la probabilidad de lesiones provocadas por la misma. Estos conectores, sin importar su longitud están clasificados en:

(a) Eslingas con absorbedor de energía: Permiten una caída libre de máximo 1,80 m y al activarse por efecto de la caída, permiten una elongación máxima de 1,07 m. amortiguando los efectos de la caída. Tienen la capacidad de reducir las fuerzas de impacto al cuerpo del trabajador, a máximo el 50% de la MFD equivalente a 900 libras (4 Kilonewtons – 408 Kg); y,

(b) Líneas de vida auto retráctiles: Equipos cuya longitud de conexión es variable, permitiendo movimientos verticales del trabajador y en planos horizontales que no superen las especificaciones de diseño del equipo, y detienen la caída del trabajador a una distancia máxima de 60 cm. Las líneas de vida auto retráctiles deben ser certificadas; y,

(6) Conectores para Tránsito Vertical (Frenos): Aplican exclusivamente sobre líneas de vida vertical, y se clasifican en:

(a) Frenos para líneas de vida fijas: Deben ser compatibles con el diseño y diámetro de la línea de vida vertical y para su conexión al arnés, deben contar con un gancho de doble seguro o un mosquetón de cierre automático con resistencia mínima de 5.000 libras (22,2 Kilonewtons – 2.272 Kg). Los Frenos para líneas de vida fijas y todos sus componentes deben ser certificados; y,

(b) Frenos para líneas de vida portátiles: Se debe garantizar una compatibilidad con los diámetros de la línea de vida vertical. Los Frenos podrán integrar un sistema absorbedor de energía y para su conexión al arnés, debe contar con un gancho de doble seguro o un mosquetón de cierre automático con resistencia mínima de 5.000 libras (22,2 Kilonewtons – 2.272 Kg). Los Frenos para líneas de vida portátiles y todos sus componentes deben estar certificados.

13

23 JUL 2012

RESOLUCIÓN NÚMERO 0001409 DE 2012 HOJA No 36

Continuación de la resolución "Por la cual se establece el Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas"

Bajo ninguna circunstancia los Frenos se podrán utilizar como puntos de anclaje para otro tipo de conectores, salvo los diseñados por el fabricante. No se admiten nudos como reemplazo de los Frenos; y,

iv. Arnés cuerpo completo: El arnés debe contar integralmente con una resistencia a rotura de 5000 libras y una capacidad de mínimo 140 Kg. Las correas y los hilos de costura del arnés deben estar fabricados con fibras sintéticas que posean características equivalentes a las de las fibras de poliéster o poliamida, con una resistencia a la fuerza, al envejecimiento a la abrasión y al calor, equivalente a las poliamidas. En ningún caso, deberán ser remachados y los hilos de costura deben ser de diferente color para facilitar la inspección. Las argollas del arnés deben tener una resistencia mínima de rotura de 5000 libras (22.2 Kilonewtons – 2.272 Kg). El ancho de las correas que sujetan al cuerpo durante y después de detenida la caída, será mínimo de 1- 5/8 pulgadas (41 mm).

El arnés y sus herrajes deben cumplir con los requerimientos de marcación conforme con las normas nacionales e internacionales vigentes.

No se permite el uso de cinturones linieros o elementos similares como parte de un sistema de protección de caídas.

PARÁGRAFO. En el caso de que un sistema haya sufrido el impacto de una caída, se debe retirar inmediatamente de servicio y sólo podrá ser utilizados de nuevo, cuando todos sus componentes sean inspeccionados y evaluados por una persona avalada por el fabricante de los mismos o una persona calificada, para determinar si deben retirarse de servicio o pueden ser puestos en operación.

ARTÍCULO 23. ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL PARA TRABAJO EN ALTURAS. Los elementos de protección individual deben estar certificados y suministrados por el empleador, sin perjuicio de que primero aplique las medidas de prevención y protección contra caídas, de que trata esta resolución. Serán seleccionados de acuerdo con la actividad económica y la tarea a desarrollar.

ARTÍCULO 24. PLAN DE EMERGENCIAS. Todo empleador que dentro de sus riesgos cotidianos tenga incluido el de caída por trabajo en alturas, debe incluir dentro del plan de emergencias establecido en el numeral 18 del artículo 11 de la Resolución 1016 de 1989, un capítulo escrito de trabajo en alturas que debe ser practicado y verificado, acorde con las actividades que se ejecuten y que garantice una respuesta organizada y segura ante cualquier incidente o accidente que se pueda presentar en el sitio de trabajo, incluido un plan de rescate; para su ejecución puede hacerlo con recursos propios o contratados.

18

Continuación de la resolución "Por la cual se establece el Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas"

En el plan de rescate, diseñado acorde con los riesgos de la actividad en alturas desarrollada, se deben asignar equipos de rescate certificados para toda la operación y contar con brigadistas o personal formado para tal fin.

Se dispondrá para la atención de emergencias y para la prestación los primeros auxilios de: botiquín, elementos para inmovilización y atención de heridas, hemorragias y demás elementos que el empleador considere necesarios de acuerdo al nivel de riesgo.

El empleador debe asegurar que el trabajador que desarrolla trabajo en alturas, cuente con un sistema de comunicación y una persona de apoyo disponible para que, de ser necesario, reporte de inmediato la emergencia.

PARÁGRAFO. Las empresas podrán compartir recursos para implementar el plan de emergencias dentro de los planes de ayuda mutua.

CAPÍTULO IV

DISPOSICIONES FINALES

ARTÍCULO 25. GUÍAS TÉCNICAS. A solicitud de los sectores económicos, el Ministerio del Trabajo podrá convocar a todos los interesados para la elaboración de Guías Técnicas estandarizadas por actividades económicas para la aplicación de la presente resolución, cuya elaboración, publicación y divulgación estará a cargo de las administradoras de riesgos laborales que tengan empresas afiliadas con exposición de trabajadores al riesgo de caída de alturas.

ARTÍCULO 26. VIGILANCIA, CONTROL Y SANCIONES. La vigilancia y control en la prevención de los riesgos de trabajo en alturas conforme a las disposiciones establecidas en la presente resolución, corresponde en primer lugar, a las administradoras de riesgos laborales, de acuerdo a lo establecido en el artículo 56 del Decreto - Ley 1295 de 1994. La vigilancia, control y sanciones administrativas competen a las Direcciones Territoriales del Ministerio del Trabajo, de conformidad con el artículo 91 del Decreto - Ley 1295 de 1994, modificado por el artículo 115 del Decreto - Ley 2150 de 1995, el numeral 7 y 16 del artículo 30 del Decreto - Ley 4108 de 2011 o las normas que las modifiquen, adicionen o sustituyan.

ARTÍCULO 27. PLAZO PARA CERTIFICADO DE LA CAPACITACIÓN O COMPETENCIAS LABORALES. Las empresas tendrán un período de 24 meses contados a partir de la entrada en vigencia de la presente resolución, para completar los procesos de capacitación a sus trabajadores según el nivel que corresponda u obtener la certificación de competencias laborales.

A

23 JUL 2012

Continuación de la resolución "Por la cual se establece el Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas"

ARTÍCULO 28. CUMPLIMIENTO DEL REGLAMENTO DE SEGURIDAD PARA PROTECCIÓN CONTRA CAÍDAS EN TRABAJO EN ALTURAS. Sin perjuicio de la ampliación del plazo establecido en el artículo anterior, es obligación de los empleadores, empresas, contratistas y subcontratistas dar cumplimiento al reglamento contenido en esta Resolución a partir de su publicación.

ARTÍCULO 29. VIGENCIA Y DEROGATORIAS. La presente resolución rige a partir de su publicación y deroga las disposiciones que le sean contrarias, en especial, las Resoluciones 3673 de 2008, 0736 de 2009 y 2291 de 2010, así como, la Circular 0070 de 2009, expedidas por el Ministerio de la Protección Social.

PUBLÍQUESE Y CÚMPLASE

Dada en Bogotá, D.C. a los 23 JUL 2012


DAVID LUNA SÁNCHEZ

Viceministro de Relaciones Laborales e Inspección
Encargado de las funciones del Despacho del Ministro del Trabajo

Proyectó: José del C. Almonacid Castañeda, *JAC*
Revisó: Carlos Luis Ayala Cáceres
Aprobó - Vo. Bo.: Andrés Torres Múiz