

**SERVOMECANISMO DE POSICIÓN ANGULAR Y VELOCIDAD ROTACIONAL
COMO PRÁCTICA EN EL LABORATORIO DEL CURSO DE CONTROL
AUTOMÁTICO**

**FREDY GUSTAVO CUJIA BOLAÑO
MIGUEL ANDRES SUAREZ CASTRO**



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

2013

**SERVOMECANISMO DE POSICION ANGULAR Y VELOCIDAD
ROTACIONAL COMO PRÁCTICA EN EL LABORATORIO DEL CURSO
DE CONTROL AUTOMATICO**

**FREDY GUSTAVO CUJIA BOLAÑO
MIGUEL ANDRES SUAREZ CASTRO**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

**DIRECTOR
ABEL ANTONIO PARADA CORRALES
INGENIERO MECÁNICO**

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

2013

DEDICATORIA

El éxito en la vida podría definirse como el crecimiento continuo de la felicidad y la realización progresiva de unas metas dignas.

“ Chopra, Deepak ”

Agradezco a DIOS por permitirme alcanzar esta meta con las dos personas que hicieron posible este logro, Miguel Ángel Suarez Cepeda, mi padre y Sergio Alberto Suarez Castro, mi hermano, que con tanto sacrificio y entendimiento me apoyaron, brindándome los medios y su entera confianza para alcanzar esta nueva etapa de mi vida.

A todos los compañeros y amigos, con los que compartí horas de estudio, su compañía fue fundamental y a los cuales se les puede llamar amigos, gracias por su amistad.

Miguel Andrés Suarez Castro.

DEDICATORIA

A Dios

Por haber permitido que alcanzara este logro tan importante y especial para mi vida, por la fortaleza que me dio a través de todas las personas que me rodearon durante este proceso.

A mis padres Carmen Rosario Molina Soto y Gustavo José Cujia Mendoza por sus consejos, su comprensión, por su infinito apoyo en cada momento de la vida, además su ejemplo de constancia y lucha. Gracias a ustedes soy la persona que soy.

A mi hermana María Elena Cujia Bolaño porque siempre estuvo junto a mí, con sus consejos y su apoyo siempre me brindo una voz de aliento y motivación para enseñarme que lo imposible no existe cuando uno se lo propone.

A todos mis compañeros y amigos, con los que viví tantos buenos y malos momentos que me ayudaron a crecer como persona y culminar felizmente esta etapa de mi vida.

Fredy Gustavo Cujia Bolaño.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirnos conseguir este logro en nuestras vidas

A nuestros padres y hermanos por su apoyo incondicional.

Al profesor Abel Antonio Parada por confiar en nosotros el desarrollo de este proyecto e incentivarnos a la investigación y al desarrollo de temas novedosos en la UIS.

Al profesor Ricardo Jaimes, docente de la Escuela de Ingeniería Mecánica, por su valiosa colaboración.

TABLA DE CONTENIDO

pág.

INTRODUCCIÓN	22
1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	23
2.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	23
2.2 JUSTIFICACIÓN PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA.....	24
1.3. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO:	28
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	28
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	28
2. TEORÍA DE CONTROL	32
2.1. SISTEMA DE CONTROL	32
2.2. LAZOS DE CONTROL	34
2.2.1. LAZO ABIERTO	34
2.2.2. LAZO CERRADO	35
2.3. RETROALIMENTACIÓN.....	35
2.3.1. RETROALIMENTACIÓN NEGATIVA	35
2.3.2. RETROALIMENTACIÓN POSITIVA.....	35
2.4. GANANCIA DE UN SISTEMA DE CONTROL	36
2.5. CONTROL PID.....	36
2.5.1. INTRODUCCIÓN.....	36
2.5.2. CONTROL PROPORCIONAL	36
2.5.3. ACCIÓN INTEGRAL.....	37
2.5.4. ACCIÓN DERIVATIVA	38
2.5.5. CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO PID.....	38
2.5.6. ESTABILIZACIÓN DEL SISTEMA.	39
2.6. SENSORES	41
2.6.1. ENCODER	41
2.6.2. FUNCIONAMIENTO DEL ENCODER.....	42

2.6.2.1.	TIPOS DE ENCODER	42
2.6.2.1.1.	ENCODER INCREMENTAL	42
2.6.2.1.2.	ENCODER ABSOLUTO	43
2.7.	MOTOR DC.....	44
2.8.	PUENTE H	45
3.	DESCRIPCION GENERAL DEL EQUIPO	46
3.1.	PAQUETE DE POTENCIA DEL EQUIPO ANTIGUO.....	46
3.2.	SISTEMA DE CONTROL DEL EQUIPO ANTIGUO	48
3.3.	PAQUETE DE POTENCIA DEL EQUIPO ACTUAL.....	52
3.4.	SISTEMA DE CONTROL DEL EQUIPO ACTUAL	54
4.	MODELO ESTRUCTURAL DEL SERVOMECANISMO DE POSICIÓN ANGULAR Y VELOCIDAD ROTACIONAL COMO SISTEMA DINAMICO Y REQUERIMIENTOS DE DISEÑO PARA SU CONTROL.....	56
4.1.	SERVO DE POSICIÓN.....	56
4.2.	SERVO DE VELOCIDAD	59
4.3.	PREACTUADOR.....	61
4.3.1.	PUENTE H CON TRANSISTORES MOSFET.	63
5.	UNIÓN DE ARDUINO Y LABVIEW	66
5.1.	INTERFACE ENTRE ARDUINO Y LABVIEW	66
5.2.	LIBRERÍAS DEL KIT LIFA DE LABVIEW PARA ARDUINO.....	73
5.3.	CONTROL PID PARA MOTOR DC	94
6.	PRUEBAS Y RESULTADOS	98
6.1.	MODELO MATEMÁTICO DEL SISTEMA.....	98
6.2.	CINETICA DE TREN DE ENGRANAJES	106
6.2.1.	ANÁLISIS DE VELOCIDAD PARA TREN DE ENGRANAJES	106
6.2.2.	DISEÑO DE EJES PARA TREN DE ENGRANAJES	113
6.3.	METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS CONSTANTES 120	
6.3.1.	PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS CONSTANTES.....	120

6.4. COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA CON RESPECTO A LAS	
CONSTANTES DEL PID	123
CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES	128
RECOMENDACIONES	129
BIBLIOGRAFIA	130

LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1. Servomecanismo angular de posición y velocidad rotacional antiguo. ...	24
Figura 2. Equipo experimental para servo de posición angular y velocidad rotacional.	25
Figura 3. Comparación del servomotor.	26
Figura 4. Tarjeta de adquisición de datos ARDUINO.	27
Figura 5. Servomotor fabricado por electrocraft.	29
Figura 6. Interface NI labView (ejemplo. para el servo de posición).	30
Figura 7. Interface NI labView (ejemplo. Servo de velocidad).	31
Figura 8. ROTARY ENCODER modelo E50S8-2500-3-T-24.	31
Figura 9. Encoder de posición modelo SR12 Marca PHOTOCRAFT.	31
Figura 10. Sistema de control.	33
Figura 11. Característica de un control proporcional, la entrada es el error e y la salida es la señal de control u	37
Figura 12. Ejemplos de comportamientos control sub amortiguado, control con amortiguamiento crítico y control sobre amortiguado.	40
Figura 13. Esquema de encoder incremental.	43
Figura 14. Esquema de encoder absoluto.	44
Figura 15. Estructura de puente H.	45
Figura 16. Partes del servo de velocidad y posición del sistema antiguo.	47
Figura 17. Tarjeta electrónica.	48
Figura 18. Circuito de la tarjeta electrónica.	49
Figura 19. Representación física del amplificador operacional.	49
Figura 20. Tip41C.	50
Figura 21. Diagrama de bloques de servo de posición.	51
Figura 22. Diagrama de bloques servo de velocidad.	51
Figura 23. Tarjeta de control y tarjeta de potencia.	52
Figura 24. Partes del servo de velocidad y posición del sistema actual.	53

Figura 25. Dispositivo de control electro-electrónico.....	54
Figura 26. Diagrama de bloques servo de posición.....	55
Figura 27. Diagrama de bloques servo de velocidad.....	55
Figura 28. Plano de Dac 8 Bits.....	57
Figura 29. Dac de 8 Bits.....	58
Figura 30. Circuito impreso Dac de 8 Bits.....	59
Figura 31. Convertidor de digital Análogo.....	59
Figura 32. Transmisor de Frecuencia marca PI Series.....	60
Figura 33. Configuración de transmisor de frecuencia.....	61
Figura 34. Configuración de puente H.....	61
Figura 35. Esquema simplificado de funcionamiento de un puente H.....	62
Figura 36. Puente H con transistores MOSFET en paralelo y compuertas lógicas sin ventilador.....	64
Figura 37. Puente H con transistores MOSFET en paralelo y compuertas lógicas con ventilador.....	65
Figura 38. Esquema del puente H con transistores en paralelo y compuertas lógicas.....	65
Figura 39. Gestor de VI (VIPM).....	67
Figura 40. Administrador de dispositivos.....	68
Figura 41. Instaladores de tarjeta arduino.....	69
Figura 42. Aceptación de driver.....	70
Figura 43. Confirmación de instalación de arduino.....	70
Figura 44. Ubicación de archivo LVIFA_Base.....	71
Figura 45. Selección de menú tools y Board.....	71
Figura 46. Selección de puerto serial.....	72
Figura 47. Activación de sistema arduino.....	72
Figura 48. Panel frontal de la Librería Arduino.....	73
Figura 49. Descripción y librería arduino.....	74
Figura 50. Init.....	75
Figura 51. Conexión de bloques.....	75

Figura 52. Módulo de cierre de la conexión con el puerto.....	76
Figura 53. Funciones “low level”	76
Figura 54. Lectura de una entrada analógica de Arduino.	77
Figura 55. Lectura del puerto analógico.....	77
Figura 56. Configura un PIN digital como Entrada o salida.	78
Figura 57. Lectura del valor en un pin digital.	78
Figura 58. Lectura del puerto digital.....	79
Figura 59. Escritura en PIN Digital.....	79
Figura 60. Escritura en puerto digital.	80
Figura 61. Escritura en salida Analógica PWM.	80
Figura 62. Configura 3 PIN como salida PWM.....	81
Figura 63. Escribe el puerto PWM.	81
Figura 64. Genera un Tono.....	82
Figura 65. Adquisición continúa de datos.	82
Figura 66. Detiene la adquisición continua de los datos.	83
Figura 67. Adquisición de un número de muestras de valor.	83
Figura 68. Recoge un número finito de muestras de datos.....	84
Figura 69. Librería Sensores.....	84
Figura 70. Lee el valor de un sensor de temperatura.	85
Figura 71. Lector del valor de un sensor de luz.	85
Figura 72. Lee el valor de un sensor de Infrarrojos.....	86
Figura 73. Configura un led RGB.....	86
Figura 74. Escribe en un LED RGB.	87
Figura 75. Configura un display de siete segmentos.	87
Figura 76. Escribe un carácter en un display de siete segmentos.	88
Figura 77. Escribe un String en un display de siete segmentos.....	88
Figura 78. Configura un joystick.....	89
Figura 79. Lee valores de un joystick.....	89
Figura 80. Librería BlinkM.....	90
Figura 81. Librería Stepper Motor.	90

Figura 82. Configura motor paso a paso.....	91
Figura 83. Escribe valores sobre un motor paso a paso.....	91
Figura 84. Confirmación de funcionamiento del motor paso a paso.	92
Figura 85. . Espera la consecución de todos los pasos consignados para el giro. 92	
Figura 86. Cierra el gobierno del motor paso a paso.	93
Figura 87. Librería de Servos.....	93
Figura 88. Estructura de programación.....	94
Figura 89. Programación proporcional.....	95
Figura 90. Programación integral.....	95
Figura 91. Programación derivativa.	96
Figura 92. Panel frontal de PID.....	97
Figura 93. Momento de inercia de un cilindro.	99
Figura 94. Transmisión por cadena.	99
Figura 95. Potencia transmitida.	101
Figura 96. a) Modelo del sistema de engranajes real b) Circuito equivalente.....	102
Figura 97. Esquema de la simulación.	111
Figura 98. Simulación en Solidworks 2010.	112
Figura 99. Diagrama de cuerpo libre de transmisión de cadena.....	113
Figura 100. Medidas entre piñones.....	114
Figura 101. Diagrama de cortante y momento plano X - Z.	115
Figura 102. Diagrama de cortante y momento plano Y - Z.	116
Figura 103. Curva de respuesta escalón unitario que muestra un sobrepaso máximo de 25 %.	120
Figura 104. Respuesta escalón unitario de una planta.	121
Figura 105. Curva de respuesta con forma de S.	121
Figura 106. Comportamiento de constantes encontradas.....	124
Figura 107. Comportamiento de Servo velocidad con alta constante derivativa..	125
Figura 108. Comportamiento de Servo de velocidad con baja constante derivativa.	125
Figura 109. Comportamiento de Servo de velocidad con alta constante integral.	126

Figura 110. Comportamiento de Servo de velocidad con baja constante integral.
.....126

Figura 111. Comportamiento de Servo de velocidad con alta constante proporcional.....127

Figura 112. Comportamiento de Servo de velocidad con baja constante proporcional.....127

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Características técnicas del nuevo servomotor.....	26
Tabla 2. Características principales de los transistores MOSFET utilizados.	63
Tabla 3. Numero de dientes engranajes.	107
Tabla 4. Resultados de RPM en el volante.....	108
Tabla 5. Resultados de RPM en la regleta.....	109
Tabla 6. Resultado de Inercia total del volante.	109
Tabla 7. Resultado de Aceleración angular volante.....	110
Tabla 8. Resultado de Torque en el volante.	110
Tabla 9. Resultados de simulación en soliworks 2010.....	113
Tabla 10. Comportamiento de PID por prueba y error.	123
Tabla 11. Constantes de Servo de velocidad y Servo de posición.	123

LISTA DE ANEXOS

pág.

ANEXOS	131
ANEXO A.....	132
ANEXO B.....	144
ANEXO C.....	175

RESUMEN

TITULO:

SERVOMECANISMO DE POSICION ANGULAR Y VELOCIDAD ROTACIONAL COMO PRÁCTICA EN EL LABORATORIO DEL CURSO DE CONTROL AUTOMATICO.*

AUTORES:

CUJIA BOLAÑO, Fredy Gustavo
SUAREZ CASTRO, Miguel Andrés. **

PALABRAS CLAVE:

Control PID, Servomecanismos, Automatización, Eléctrico-Electrónico.

DESCRIPCIÓN:

La escuela de ingeniería mecánica en su laboratorio de Potencia Fluida y de Control Automático cuenta con dos bancos para la realización de pruebas de los conceptos básicos de control, estos bancos permiten identificar al estudiante el manejo de la potencia electro-hidráulico. Es a partir de querer reforzar este campo práctico que se identifica la necesidad de realizar una comparación de los sistemas electro-hidráulicos para el desarrollo de potencia, con los sistemas eléctrico-electrónicos que tengan el mismo objetivo. El laboratorio contaba con un equipo eléctrico-electrónico para este tipo de comparación, el cual presenta una serie de deficiencias que no permiten el buen desarrollo de estas prácticas en el laboratorio de control automático. Entre estas deficiencias se encuentra que el Motor DC que lleva incorporado el equipo es de muy baja potencia y no permite obtener datos claros y precisos, además en su parte física presenta una serie de desgaste en sus componentes, que generan desalineamientos y por ende error en las pruebas, por otro lado el equipo presenta daños en las tarjetas electrónicas utilizadas para el control de servo de velocidad y posición. Fue por esta razón que se decidió dotar al laboratorio de un nuevo equipo, manteniendo su carácter analógico y aumentando la potencia del motor DC, en el cual se pudiera realizar estas prácticas a nivel eléctrico-electrónico controlado desde un ordenador y permitiendo observar los fenómenos a través de gráficas. Este control se llevó a cabo usando la interfaz entre en software LABVIEW y la tarjeta ARDUINO UNO.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Abel Parada

ABSTRACT

TITLE:

ANGULAR POSITION SERVOMECHANISM AND ROTATIONAL VELOCITY AS PRACTICE LABORATORY COURSE OF AUTOMATIC CONTROL*.

AUTHORS:

CUJIA BOLAÑO, Fredy Gustavo
SUAREZ CASTRO, Miguel Andrés**

KEYWORDS:

Control PID, Servomechanism, Automation, Electrical-Electronic

DESCRIPCIÓN:

The Fluid Power and Automatic Control Laboratory in the mechanical engineering school has two workbenches for testing the basic concepts of control, these banks allow to identify the handling the of electro-hydraulic power to the student. For the purpose of improved this workbenches are identified the need to perform a comparison of electro-hydraulic systems for the development of power, with the electrical-electronic systems having the same goal. The laboratory had electric-electronic equipment for this type of comparison, which has a number of shortcomings that prevent the successful development of these practices in the automatic control laboratory. Among these deficiencies is that the DC motor that incorporates the device is very low power and does not provide clear and accurate information, and in turn has a number of physical wear on components that generate misalignments and error in testing on the other side in the housing for damage electronic cards used for servo control of speed and position. It was for this reason it was decided to equip the laboratory of a new device, maintaining its analog character and increasing power DC motor, in which these practices could make electric-electronic level controlled from a computer and allowing dare observing phenomena of graphs. This control was carried out using the LABVIEW software interface between the card and ARDUINO ONE.

* Undergraduate Thesis

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering. Mechanical Engineering School. Director:
Abel Parada

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la industria busca profesionales capacitados para solucionar problemas de ingeniería, que tengan la experiencia y habilidad necesaria para analizar, comprender y aplicar los conocimientos científicos y prácticos necesarios; estos aspectos le permiten al profesional del mañana interactuar de una manera exitosa en cualquier área del sector productivo; desempeñándose con mayor eficiencia frente a los diferentes problemas que se pueden encontrar en el campo laboral. El constante avance de la tecnología permite dar solución a problemáticas que se presenta en la industria en cuanto a la producción de bienes y servicios; esto ha provocado desarrollar métodos automatizados, los cuales con llevan finalmente a la elaboración de productos a más bajos costos. El presente trabajo de grado dará la oportunidad de utilizar las prestaciones de la era moderna en lo que a tecnificación de procesos se refiere.

En este trabajo se emplea una de las ramas de la automatización, como son el servo de velocidad y servo de posición, con un control de lazo cerrado utilizando el control PID (control proporcional, integral y derivativo) en el lenguaje de programación de LabVIEW en interface con una tarjeta Arduino Uno que hace las veces de tarjeta adquisición de datos (DAQ), la cual permite el procesamiento de datos de las pruebas y el registro de estos.

Con el desarrollo de este trabajo de grado se realizó un banco de pruebas eléctrico-electrónico, para el laboratorio de control automático basado en un sistema de lazo cerrado; buscando así cumplir uno de los objetivos primordiales de la escuela de Ingeniería Mecánica, que es brindar a sus estudiantes las herramientas para poner en práctica los conocimientos teóricos adquiridos en la asignatura de control automático.

1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

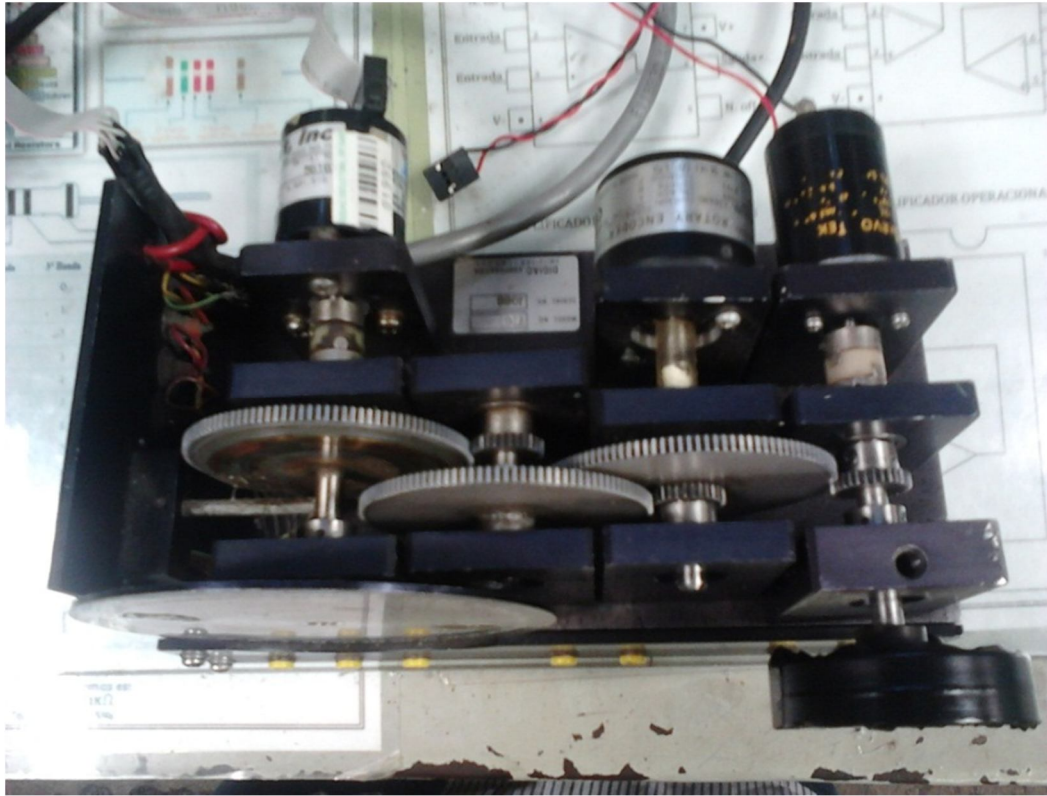
2.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El control automático ha desempeñado una función vital en el avance de la ingeniería mecánica, es una parte importante e integral de los procesos modernos, industriales y de manufactura.

La escuela de ingeniería mecánica en su laboratorio de Potencia Fluida y de Control Automático cuenta con dos bancos para la realización de pruebas de los conceptos básicos de control, en primer lugar se cuenta con dos servos verticales de posición con transductores de posición temposonic (uno funciona con un solenoide proporcional y el otro con una servoválvula); por otro lado se tiene un servo de velocidad en la hidrottransmisión; estos bancos permiten identificar al estudiante el manejo de la potencia electro-hidráulico. Es a partir de querer reforzar este campo práctico que se identifica la necesidad de realizar una comparación de los sistemas electro-hidráulicos para el desarrollo de potencia, con los sistemas eléctrico-electrónicos que tengan el mismo objetivo.

Actualmente se cuenta con un equipo eléctrico-electrónico (figura 1) para este tipo de comparación, el cual presenta una serie de deficiencias que no permiten el buen desarrollo de estas prácticas en el laboratorio de control automático. Entre estas deficiencias se encuentra que el servomotor que lleva incorporado el equipo es de muy baja potencia y no permite obtener datos claros y precisos; también en su parte física presenta una serie de desgaste en sus componentes (engranajes, rodamientos y ejes), que generan desalineamientos y por ende error en las pruebas. Por otro lado el equipo presenta daños en las tarjetas electrónicas utilizadas para el control de servo de velocidad y posición.

Figura 1. Servomecanismo angular de posición y velocidad rotacional antiguo.

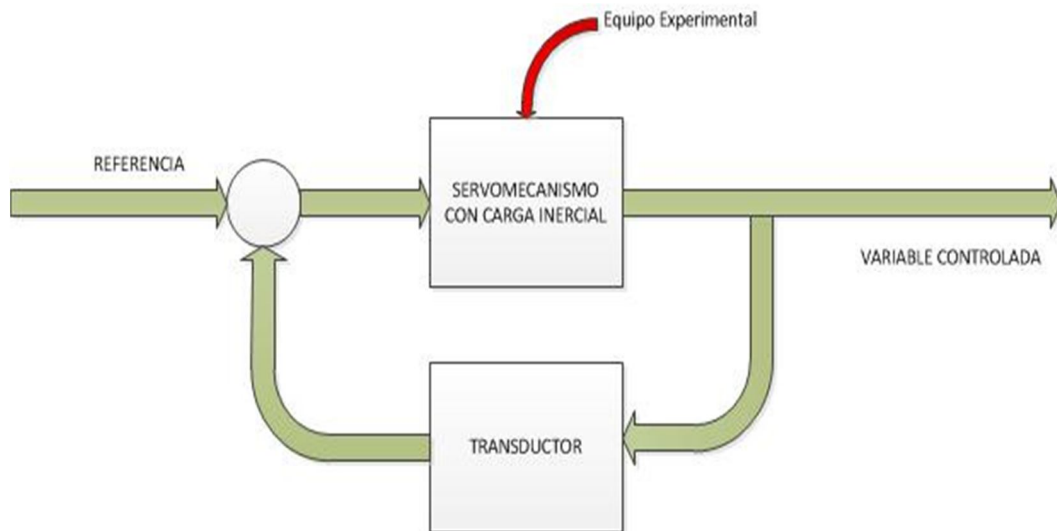


Fuente: Autores.

2.2 JUSTIFICACIÓN PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Este proyecto consiste en llevar a la práctica la construcción de un equipo experimental (figura 2) que consta de un servomotor eléctrico (figura 5) para el estudio de los conceptos básicos de control como el proporcional, integral y derivativo, obteniendo una mejora en las practicas comparativas de los servos eléctrico-electrónicos con respecto a los servos de posición y velocidad en la potencia fluida proporcional (eléctrico-hidráulico).

Figura 2. Equipo experimental para servo de posición angular y velocidad rotacional.



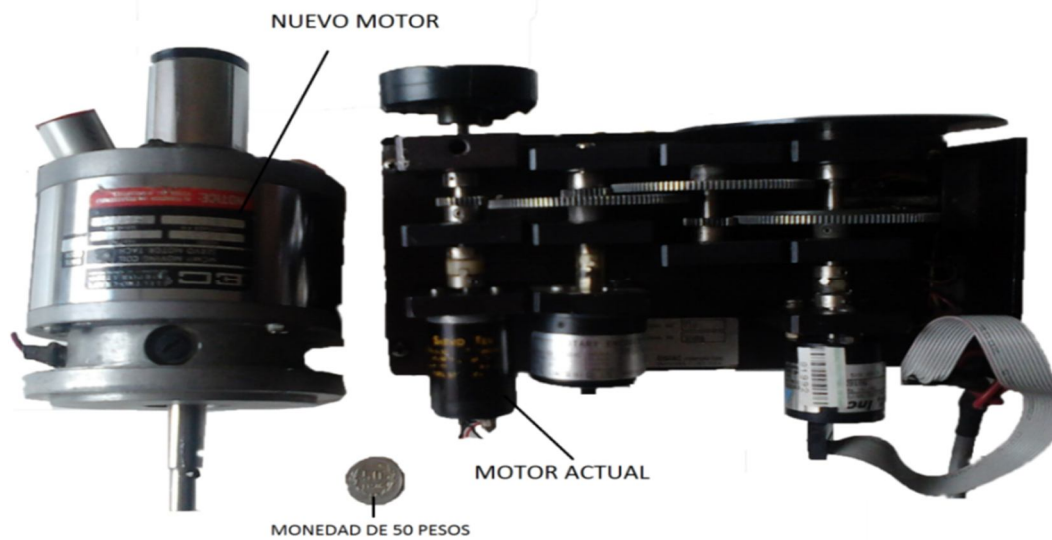
Fuente: Autores.

Cabe resaltar que aunque existe un equipo electro-electrónico de pruebas (figura 1) que consta de un servomotor, un encoder¹ incremental para velocidad y un encoder absoluto para posición; se tiene actualmente el problema de la baja potencia del servomotor como ya se mencionó lo cual es un factor negativo a la hora de utilizar una magnitud significativa en el valor de la inercia que permita hacer estudios claros y concretos.

En la (figura 3) se observa la comparación entre el servomotor actual del equipo y el servomotor por el cual va a ser reemplazado para mejorar el problema de la baja potencia.

¹ El encoder es un transductor rotativo, que mediante una señal eléctrica (normalmente un pulso o una señal senoidal) nos indica el ángulo girado.

Figura 3. Comparación del servomotor.



Fuente: Autores

Características técnicas del nuevo servomotor:

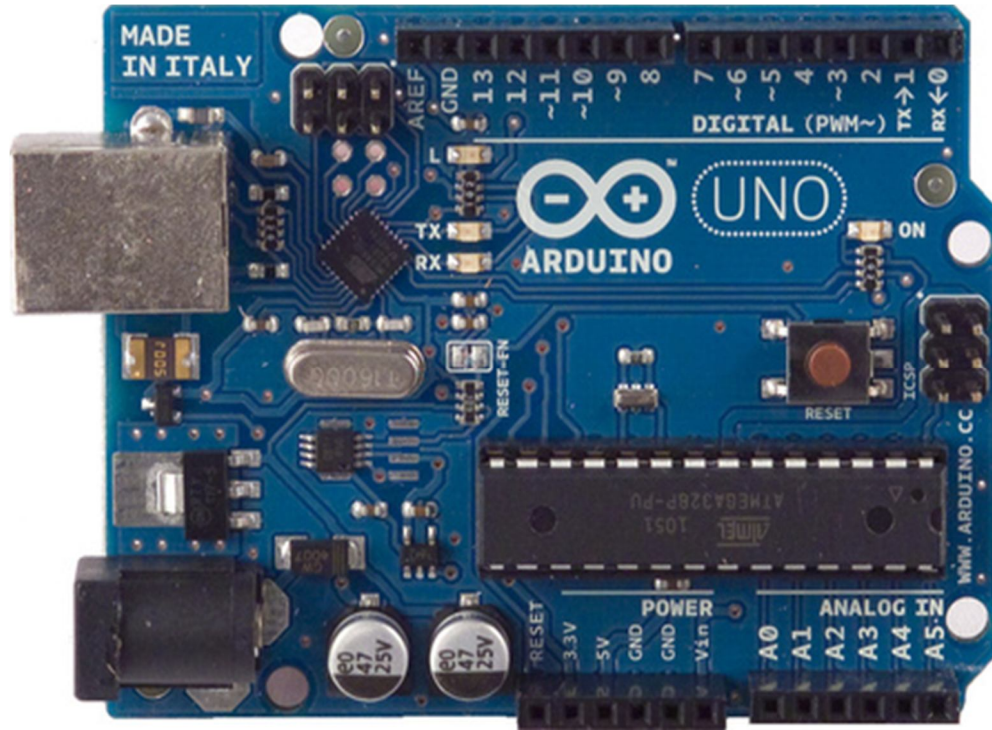
Tabla 1. Características técnicas del nuevo servomotor.

	<i>M-1040</i>
Potencia nominal (continua)	80 W
Velocidad nominal	4.000 r/min
Velocidad en vacío	6.000 r/min
Par de arranque	24,7 N cm
Constante de par, K_T ($\pm 10\%$)	4,1 N cm
Constante de tensión, K_E ($\pm 10\%$)	4,3 mV/(r/min)
Resistencia armadura ($\pm 15\%$)	0,70 Ω
Inductancia armadura	0,09 mH
Corriente máxima	60 A
Constante tiempo mecánica	2,3 ms
Par máximo de fricción estática	1,76 N cm
Momento inercia armadura	0,041 kg/cm ²
Vida	6.600 h a 1.500 r/min
Temperatura funcionamiento armadura	155 °C máx.
Diámetro	254 mm
Peso	

Fuente: libro adquisición y distribución de señales. Ramón Pallás Areny

El equipo actual es de carácter completamente analógico, por lo cual se instalará una tarjeta de adquisición de datos ARDUINO (figura 4) que nos permitirá trabajar en carácter digital.

Figura 4. Tarjeta de adquisición de datos ARDUINO.



Fuente: www.arduino.cc/es/

Con la ejecución de este proyecto se busca mejorar la comprensión del estudiante entre la teoría y la práctica, reforzando así el conocimiento práctico respecto al control de procesos industriales a través de la adquisición, y comparación de datos suministrados por los sensores (señal de retroalimentación); beneficiando de esta manera a los estudiantes de la escuela de ingeniería mecánica, los cuales podrán realizar las prácticas en la asignatura de control automático (potencia fluida proporcional).

1.3. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO:

1.3.1 Objetivo general

Contribuir con la misión de la Universidad Industrial de Santander para fomentar el progreso y mejora de la calidad académica fortaleciendo el desarrollo tecnológico, mediante la optimización y modernización del sistema de control y adquisición de datos del equipo de servos de posición y de velocidad en servomotores para el laboratorio de control automático (Potencia fluida proporcional) de la escuela de Ingeniería Mecánica.

1.3.2 Objetivos específicos

- Diseñar y construir una estructura de soporte donde estarán instalados todos los elementos del servomecanismo (servomotor, sensores rotativos, tarjeta de adquisición de datos ARDUINO, conjunto de engranajes y ejes que nos permitan derivar el movimiento); que sea portátil para que el equipo sea manipulado y transportado fácilmente por los estudiantes.
- Implementar un servomecanismo de posición angular de tal manera que la variable controlada sea la posición del servomotor (figura 5) y su rango de variación se encuentre comprendido entre 0-360°; mediante el uso de un encoder absoluto marca photocraftinc modelo SR12 o un transductor rotativo variable diferencial RVDT, una tarjeta de adquisición de datos arduino, un servomotor y un conjunto de engranajes.

Figura 5. Servomotor fabricado por electrocraft.



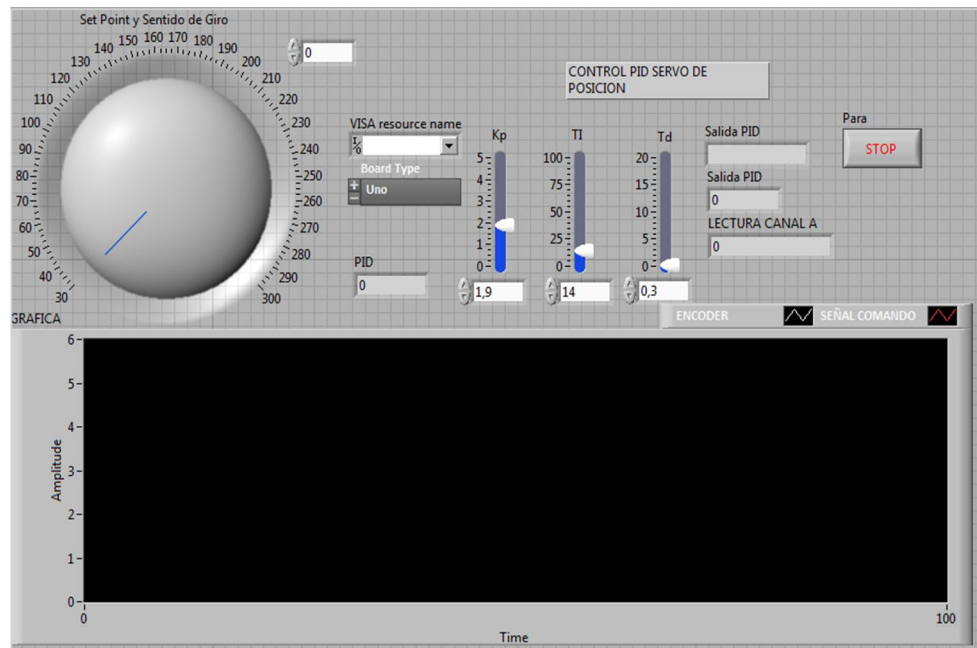
Fuente: Autores

- Implementar un servomecanismo de velocidad rotacional de tal manera que la variable controlada sea la velocidad de rotación del servomotor (mediante una masa inercial), la cual está comprendida entre 0 y 4500 rpm; a través de un encoder incremental (figura 8) encoder incremental Rotary E50S8-2500-3-T-24), una tarjeta de adquisición de datos arduino, un servomotor (figura 5), un conjunto de engranajes, y una masa inercial.
- Elaborar un manual de operación del servomecanismo para su mantenimiento y correcta utilización por parte de estudiantes o personas que lo manipulen.
- Manejar el sistema de control mediante lazo cerrado utilizando una tarjeta de adquisición de datos **ARDUINO**² la cual va a ser seleccionada dependiendo de las entradas y salidas requeridas en nuestro equipo.

² Plataforma de hardware de código abierto, basada en una sencilla placa con entradas y salidas, analógicas y digitales, en un entorno de desarrollo que está basado en el lenguaje de programación Processing.

- Proporcionar mediante la utilización de sensores rotativos las señales de retroalimentación para el control de los servos de velocidad y posición. (encoder incremental marca ROTARY ENCODER modelo E50S8-2500-3-T-24 (figura 8), encoder absoluto marca photocraft inc. Modelo SR12 (figura 9) o transductor rotativo variable diferencial RVDT).
- Visualizar los datos en el proceso de adquisición mediante la interface NI Labview³ (figura 6) en el cual se adquiere los datos desde la tarjeta arduino y el proceso en el entorno de Programación Gráfica Labview; Lo que permitirá interactuar con el sistema a través de una interface gráfica con el fin de que los estudiantes o las personas que manipulen el equipo visualicen lo que está ocurriendo en las respectivas prácticas.

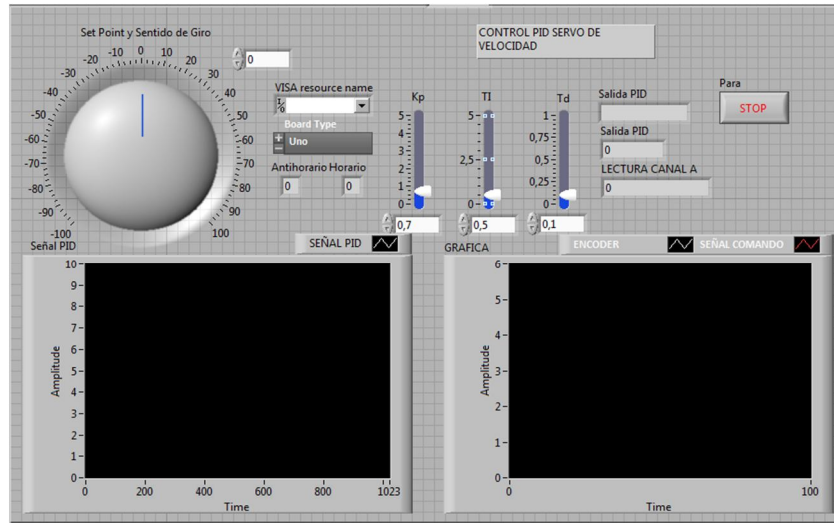
Figura 6. Interface NI labVIEW (ejemplo. para el servo de posición).



Fuente: Autores.

³Plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico.

Figura 7. Interface NI labView (ejemplo. Servo de velocidad).



Fuente: Autores.

Figura 8. ROTARY ENCODER modelo E50S8-2500-3-T-24.



Fuente: <http://www.autonics.com>

Figura 9. Encoder de posición modelo SR12 Marca PHOTOCRAFT.



Fuente: www.photocraftencoders.com

2. TEORÍA DE CONTROL

“La Teoría de Control es un campo interdisciplinario de la ingeniería y las matemáticas, que trata con el comportamiento de sistemas dinámicos. A la salida deseada de un sistema se la llama referencia. Cuando una o más variables de salida de un sistema necesitan seguir cierta referencia sobre el tiempo, un controlador manipula la entrada al sistema para obtener el efecto deseado en la salida del sistema”⁴

2.1. SISTEMA DE CONTROL

En general, un sistema puede definirse como algo al cual ingresan entradas respecto acciones externas (llamadas variables de entrada) y entrega respuesta a dichas acciones por medio de las variables de salida. Dichas acciones pueden o no, ser controladas, ya que puede existir entre ellas algún tipo de perturbación de la cual no se tenga control.

En particular, un sistema de control está compuesto por una serie de elementos necesarios para su funcionamiento. Su objetivo es permitir que mediante la manipulación de las variables de control (entradas) se consiga el dominio sobre las variables de salida respecto valores previamente establecidos.

Un sistema de control ideal se ve representado por el diagrama de la (figura 10), éste debe ser capaz de conseguir su objetivo cumpliendo los siguientes requisitos:

- Garantizar la estabilidad y, particularmente, ser robusto frente a perturbaciones y errores en los modelos.

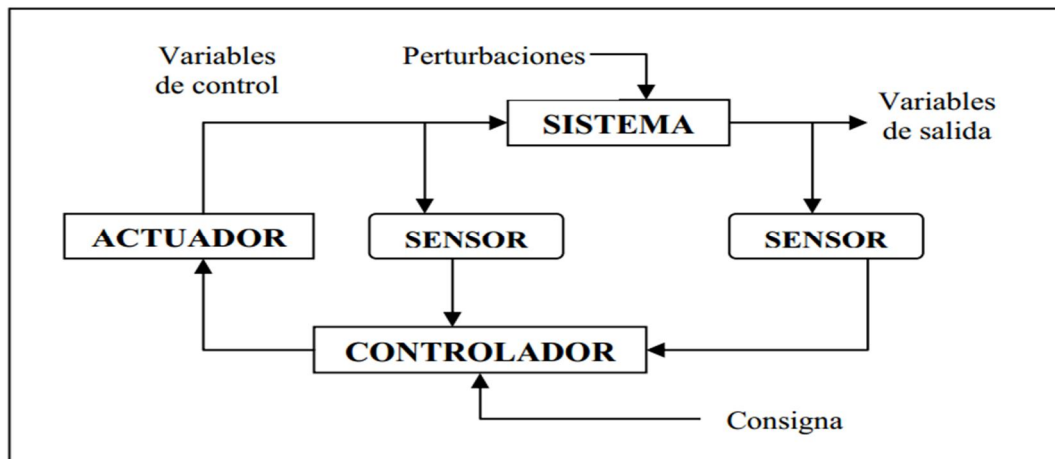
⁴ Descripción de Teoría de Control. http://es.wikipedia.org/wiki/Teoría_de_control.

- Ser lo más eficiente posible, según un criterio preestablecido. Normalmente este criterio consiste en que la acción de control sobre las variables de entrada sea realizable, evitando comportamientos bruscos e irreales.
- Ser fácilmente implementable y cómodo de operar con ayuda de un ordenador.

Los elementos básicos que forman parte de un sistema de control y permiten su manipulación son los siguientes:

- **Sensores:** permiten conocer las variables medidas del sistema.
- **Controlador:** utilizando los valores determinados por los sensores y la consigna impuesta, calcula la acción que debe aplicarse para modificar las variables de control en base a cierta estrategia.
- **Actuador:** es el mecanismo que ejecuta la acción calculada por el controlador y que modifica las variables de control.

Figura 10. Sistema de control.



Fuente: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3330/5/34059-5.pdf;%2021/01/2010>.

“Como un ejemplo de sistema de control se considera el de la dirección de un automóvil. La dirección de las dos ruedas delanteras se puede visualizar como la

variable controlada, o la salida; la dirección del volante es la señal actuante, o la entrada. El sistema de control o proceso, en este caso, está compuesto del mecanismo de la dirección y de la dinámica del automóvil completo. Sin embargo, si el objetivo es controlar la velocidad del automóvil, entonces la presión ejercida sobre el acelerador sería la señal actuante, y la velocidad del automóvil sería la variable controlada. El sistema de control total simplificado de un automóvil se puede ver como uno con dos entradas (volante y acelerador) y dos salidas (dirección y velocidad). En este caso las dos entradas y dos salidas son independientes, pero en general, hay sistemas en que los controles están acoplados. Los sistemas con más de una entrada y más de una salida son llamados Sistemas Multi-variables.”⁵

2.2. LAZOS DE CONTROL

En teoría de control y en instrumentación se conoce como lazo de control a un conjunto de componentes que consta de: sensor, transductor de señal, receptor, comparador de punto de ajuste, mecanismo de control y elemento final de control (válvula, calentador, interruptor, etc.) y que están configurados en forma de circuito de tal manera que la señal de control es transmitida al elemento final de control para ajustar el proceso a un punto de consigna dependiendo de la magnitud del estímulo generado por el proceso.

2.2.1. Lazo abierto

Es un tipo de configuración de elementos de un sistema de control en el cual las partes esenciales son: el controlador y el proceso controlado. Este lazo presenta la característica de aplicar un determinado proceso a una variable de entrada y con ello presentar una salida propia de la entrada en ese momento.

⁵ Kuo, Benjamin C. Sistemas de control automático. p. 3.

2.2.2. Lazo cerrado

A diferencia del sistema de lazo abierto, el sistema de lazo cerrado está compuesto por un elemento más que el primero, este es un bloque de retroalimentación. Dicho bloque es quien le da la funcionalidad a este lazo, ya que, esto le permite al controlador determinar el estado de la salida en el proceso y con ello poder corregir errores o tomar decisiones para el control.

2.3. RETROALIMENTACIÓN

Es la característica especial de un sistema de control de lazo cerrado; consiste en tomar el dato de la salida del sistema y devolverlo al proceso como otra nueva entrada.

2.3.1. Retroalimentación negativa

Este tipo de retroalimentación se obtiene de la diferencia de la señal de entrada y la muestra de la señal de salida. Con ésta, cada vez que se haga la diferencia esta será menor, obteniendo con ello que errores en la señal puedan anularse. La mayor aplicación es en cualquier sistema donde se desee establecer una señal en un determinado valor, pudiendo con la acción que ofrece, obtener ese equilibrio.

2.3.2. Retroalimentación positiva

Para este caso de retroalimentación no suele alcanzarse un punto de equilibrio, ya que, el valor de la señal de entrada se suma con la salida y esto genera un incremento continuo, hasta que, muchas veces llega a un punto de saturación en el sistema dependiendo de la fuente de éste.

2.4. GANANCIA DE UN SISTEMA DE CONTROL

Como ganancia se define la relación que existe entre el valor de la señal de salida y el valor de la señal de entrada en un sistema.

El término se refiere a que el resultado de esta relación sea mayor a uno, esto significa que, el valor de la salida es mayor a la entrada debido al proceso al cual se someten las entradas.

2.5. CONTROL PID

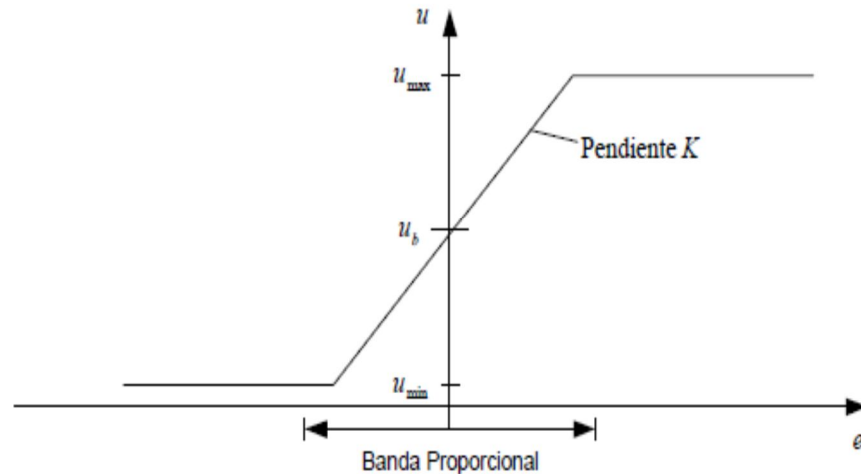
2.5.1. Introducción

El controlador PID (Proporcional, Integral y Derivativo) es un controlador realimentado cuyo propósito es hacer que el error en estado estacionario, entre la señal de referencia y la señal de salida de la planta, sea cero, lo que se logra. Además el controlador tiene la capacidad de anticipar el futuro.

2.5.2. Control proporcional

El control proporcional, donde la característica del controlador es proporcional al error de control cuando éstos son pequeños. La figura 82 muestra la característica de un controlador proporcional. De esta manera, el controlador está caracterizado por la función lineal, $u = K * e$, dependiente del error de control, que se muestra en la (figura 11).

Figura 11. Característica de un control proporcional, la entrada es el error e y la salida es la señal de control U .



Fuente: Autores

2.5.3. Acción integral

El control será el mismo proporcional, pero a la salida se le suma la acción integral, que la corrige tomando en cuenta la magnitud del error y el tiempo que este ha permanecido. Para ello se le programa al control una constante K_i , que es formalmente "la cantidad de veces que aumenta la acción proporcional por unidad de tiempo".

La salida se corrige en una cantidad equivalente a la integral del error multiplicada por K_i . La ecuación (1) representa de forma discreta la acción del término integral.

$$Out = \left[100\% * \frac{E + I * (E_{Acumulado})}{banda} \right] \quad (1)$$

$$E = (Sp - Pv)$$

$$banda = \left(\frac{Pb}{100\%} \right) * Sp$$

2.5.4. Acción derivativa

Un control PD es uno proporcional al que se le agrega la capacidad de considerar también la velocidad de cambio de la Pv en el tiempo. De esta forma se puede "adelantar" la acción de control del mando de salida para obtener así una Pv más estable. Si la Pv está por debajo del Sp, pero subiendo muy rápidamente y se va a pasar de largo el Sp, entonces el control se adelanta y disminuye la potencia de salida.

Al revés si la Pv es mayor que el Sp, la salida debería ser 0% pero si el control estima que la Pv cae muy rápido y se va pasar para abajo del Sp, entonces coloca algo de potencia para ir frenando el descenso brusco.

La acción derivativa es llamada a veces "rate action" por algunos fabricantes de controles porque considera la "razón de cambio" de la Pv. La ecuación (2) representa de forma discreta la acción del término derivativo.

$$Out = \left[100\% * \frac{(E - D * Vel)}{banda} \right] \quad (2)$$

$$banda = \left(\frac{Pb}{100\%} \right) * Sp$$

2.5.5. Control proporcional integral derivativo PID

Un control PID es un controlador proporcional con acción derivativa y acción Integral superpuestas.

La ecuación 3 reúne los términos componen el sistema de control PID.

Es fundamental para el correcto funcionamiento del control PID la elección de los parámetros Kp, Ki, Kd . Existe un conjunto de estos valores que darán el

rendimiento óptimo y encontrarlos requiere: conocimientos teóricos, habilidad obtenida mediante la experiencia y suerte.

$$\begin{aligned} Out &= Kp * \left(E + Ki * \int Edt + Kd * \frac{dE}{Dt} \right) \\ Kp &= \frac{100\%}{Pb} * \frac{1}{Sp} \\ Ki &= \frac{I}{10000} \\ Kd &= D \end{aligned} \tag{3}$$

En la práctica cualquier conjunto de valores cercano al óptimo brindará un rendimiento aceptable y probablemente casi igual al óptimo.

Además existe varios métodos de sintonización de estas constantes, entre estos los más usados son los métodos de Ziegler-Nichols, el cual es una buena aproximación de estos parámetros.

2.5.6. Estabilización del sistema.

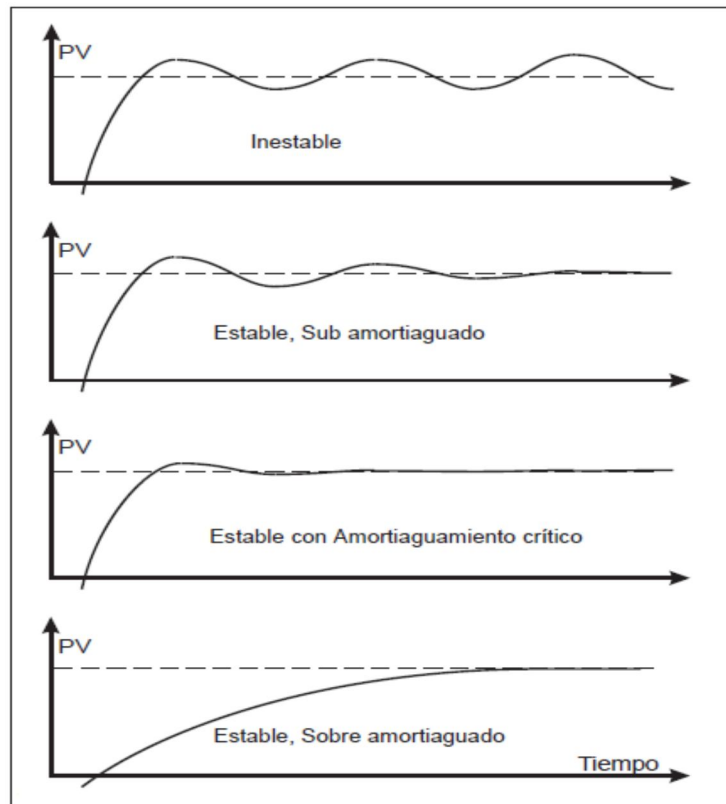
Siempre se busca que el sistema de control sea estable, pero además, dentro de las condiciones de estabilidad existen 3 tipos de comportamiento bien definidos: control sub amortiguado, control con amortiguamiento crítico y control sobre-amortiguado.

En la (Figura 12) se muestran ejemplos de estos comportamientos. En cada uno de estos casos varía la velocidad de respuesta del sistema ante perturbaciones y a la vez la propensión a tener comportamiento inestable u oscilatorio.

El sistema sobre-amortiguado tiene una velocidad de respuesta lenta, después que ocurra una perturbación, el sistema puede tardar en volver al Sp, pero la

ventaja es que el sistema es muy estable y no adquiere comportamientos oscilatorios indeseables.

Figura 12. Ejemplos de comportamientos control sub amortiguado, control con amortiguamiento crítico y control sobre amortiguado.



Fuente: http://plantscontrol.blogspot.com/2012_02_01_archive.html

El sistema sobre-amortiguado tiene una velocidad de respuesta lenta, después que ocurra una perturbación, el sistema puede tardar en volver al S_p , pero la ventaja es que el sistema es muy estable y no adquiere comportamientos oscilatorios indeseables.

Esta condición tiende a ocurrir cuando la banda proporcional P_b es más grande de lo necesario. También puede deberse a una constante derivativa D muy grandes, basta acordarse que la acción derivativa tiende a frenar la temperatura. En el otro

extremo, cuando un sistema se comporta de modo sub-amortiguado la velocidad de respuesta es muy buena pero pueden ocurrir varias oscilaciones de cierta amplitud antes que la temperatura llegue a un valor estable. Suele ocurrir esta condición cuando la banda proporcional es pequeña, la constante derivativa K_d chica y la constante de integración K_i grande.

El justo medio entre las condiciones anteriores es el amortiguamiento crítico. A esta condición corresponde los valores óptimos de los parámetros K_p, K_i, K_d . En este caso el sistema es bastante estable y la velocidad de respuesta es la mejor que se puede lograr.

2.6. sensores

Son los que permiten hacer la retroalimentación. Es uno de los elementos fundamentales de cualquier sistema de control de lazo cerrado.

En el sistema de control referente al presente trabajo, los sensores permiten estimar las distintas variables físicas (Velocidad angular y posición) y enviárselas al micro controlador para ejecutar alguna acción de control que ha sido programada previamente y así realizar el control.

2.6.1. Encoder

Un Encoder es un transductor de movimiento rotativo, o sea, de movimiento angular a una serie de pulsos digitales. Los pulsos que se generan en esta transformación normalmente son utilizados en el control de desplazamientos de tipo angular o lineal.

Consta de un elemento circular o lineal dividido en huecos opacos y transparentes del mismo tamaño. También posee como mínimo de una pareja de diodos, uno

fotodiodo y otro fototransistor para generar los pulsos necesarios y el conteo de los mismos.

2.6.2. Funcionamiento del encoder

Los segmentos opacos interrumpen el haz de luz emitido por el fotodiodo dirigido al fototransistor, obteniéndose una señal de 0 voltios (0) a la salida.

Por el contrario, cuando un segmento transparente se sitúa entre el emisor y el sensor de luz se obtiene una señal de 5 voltios (1) a la salida. Si se hace girar el disco, la salida alternará entre 0 y 1 con una frecuencia proporcional a la velocidad angular del disco.

2.6.2.1. Tipos de encoder

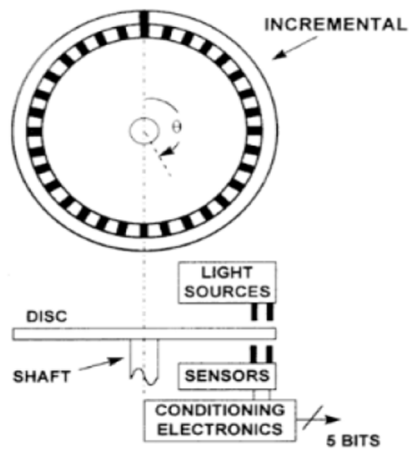
Los encoder se clasifican por la forma en que realizan el conteo de señal.

2.6.2.1.1. Encoder incremental

En la actualidad, los encoder incrementales son probablemente el tipo más común utilizado en la industria, debido a la gran variedad de aplicaciones que su uso permite.

Este tipo de encoder tiene en su interior un disco, marcado con una serie de líneas uniformes a través de una única pista en todo su perímetro, las líneas impermeables a la luz de anchura igual a los huecos transparentes, trabajando con una unidad emisora de luz y una unidad de captación de la misma, al girar el disco, generan unas señales que debidamente tratadas proporcionan las señales de salida de un encoder incremental, esto se aprecia en la (figura 13).

Figura 13. Esquema de encoder incremental.



Fuente: http://webs.ono.com/lmoliver/usr_1482483054.pdf.

Las señales de salida de un encoder pueden ser un tren de impulsos, en forma de señal cuadrada, donde el número de impulsos que se generarán en una vuelta coincidirá con el número de impulsos del disco en el interior del encoder, se refiere a encoder de un solo canal (señal A).

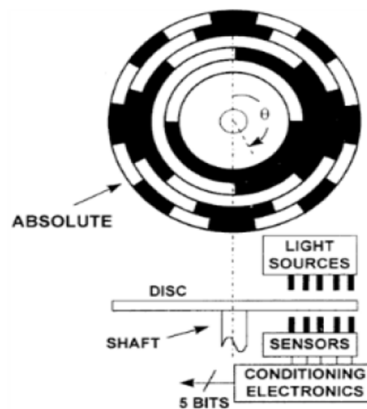
Una segunda señal (señal B) suministra un tren de impulsos idéntico al que suministra la señal A pero desfasada 90 grados respecto de ésta, se refiere al encoder de dos canales. También cabe la posibilidad de una señal de referencia o cero que proporciona un pulso a cada vuelta, esta señal puede sincronizarse respecto de la señal A ($A+0$), respecto la señal B ($A+B+0$) o respecto a ambas.

2.6.2.1.2. Encoder absoluto

En el encoder absoluto, mostrado en la (figura 14), a diferencia del encoder incremental, el disco contiene varias bandas dispuestas en forma de coronas circulares concéntricas, colocadas de tal forma que en sentido radial el rotor queda dividido en sectores, con marcas opacas y transparentes codificadas.

El estator tiene un fotorreceptor por cada bit representado en el disco. El valor binario obtenido de los fotorreceptores es único para cada posición del rotor y representa su posición absoluta.

Figura 14. Esquema de encoder absoluto.



Fuente: http://webs.ono.com/lmoliver/usr_1482483054.pdf

2.7. MOTOR DC

El motor de corriente continua es una máquina que convierte la energía eléctrica en mecánica, principalmente mediante el movimiento rotatorio. En la actualidad existen nuevas aplicaciones con motores eléctricos que no producen movimiento rotatorio, sino que con algunas modificaciones, ejercen tracción sobre un riel. Estos motores se conocen como motores lineales. Esta máquina de corriente continua es una de las más versátiles en la industria. Su fácil control de posición, paro y velocidad la han convertido en una de las mejores opciones en aplicaciones de control y automatización de procesos. Pero con la llegada de la electrónica su uso ha disminuido en gran medida, pues los motores de corriente alterna, del tipo asíncrono, pueden ser controlados de igual forma a precios más accesibles para el consumidor medio de la industria. A pesar de esto los motores de corriente continua se siguen utilizando en muchas aplicaciones de potencia (trenes y

tranvías) o de precisión (máquinas, micro motores, etc.) La principal característica del motor de corriente continua es la posibilidad de regular la velocidad desde vacío a plena carga.

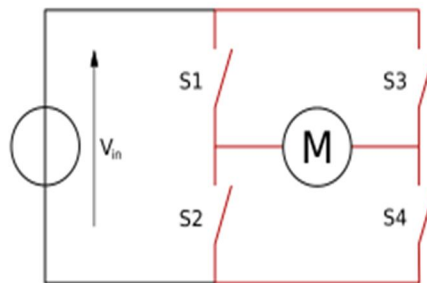
2.8. PUENTE H

Un Puente H es un circuito electrónico que permite a un motor eléctrico DC girar en ambos sentidos, avance y retroceso. Son ampliamente usados en robótica y como convertidores de potencia. Los puentes H están disponibles como circuitos integrados, pero también pueden construirse a partir de componentes discretos.

El término "puente H" proviene de la típica representación gráfica del circuito. Un puente H se construye con 4 interruptores (mecánicos o mediante transistores). Cuando los interruptores S1 y S4 (ver primera figura) están cerrados (y S2 y S3 abiertos) se aplica una tensión positiva en el motor, haciéndolo girar en un sentido. Abriendo los interruptores S1 y S4 (y cerrando S2 y S3), el voltaje se invierte, permitiendo el giro en sentido inverso del motor.

Con la nomenclatura que estamos usando, los interruptores S1 y S2 nunca podrán estar cerrados al mismo tiempo, porque esto cortocircuitaría la fuente de tensión. Lo mismo sucede con S3 y S4.

Figura 15. Estructura de puente H.



Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Puente_H.

3. DESCRIPCION GENERAL DEL EQUIPO

A continuación se realiza una descripción general de los sistemas antiguo y actual, haciendo énfasis en todas sus partes; como el paquete de potencia y el sistema de control para esta aplicación. El equipo consta esencialmente de dos partes principales:

- Paquete de potencia
- Sistema de control

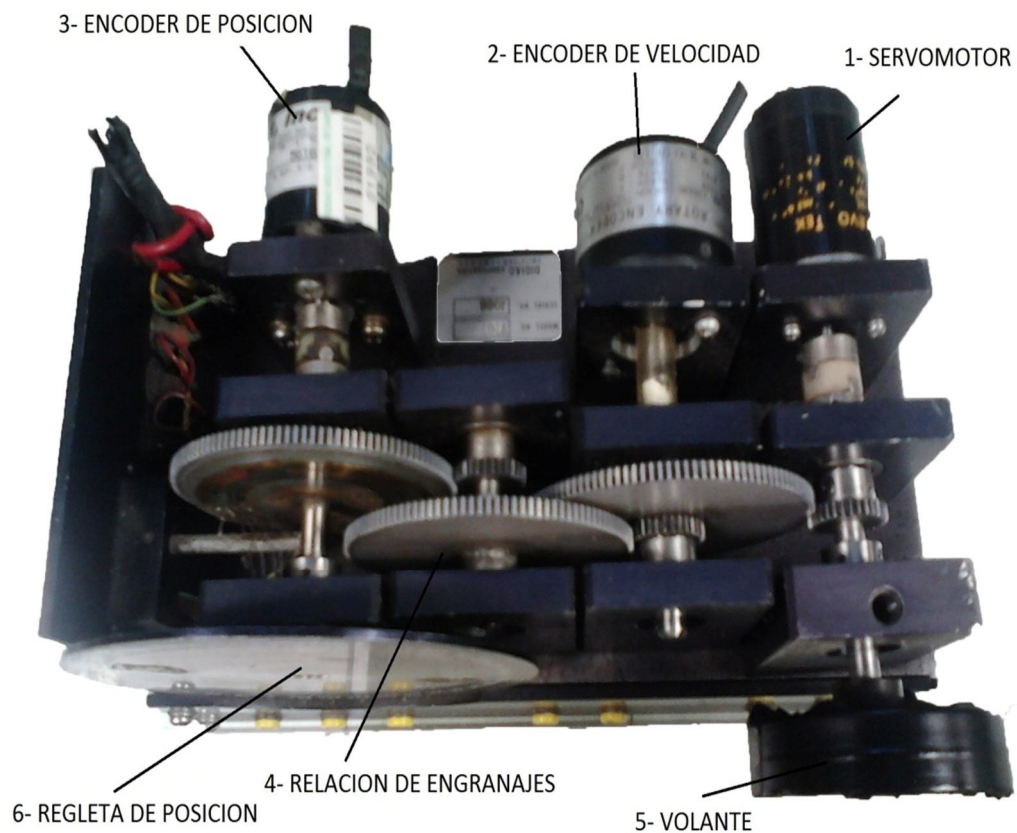
3.1. PAQUETE DE POTENCIA DEL EQUIPO ANTIGUO.

Para el equipo de servo de velocidad y posición que se muestra en la (figura 16) se cuenta con un servomotor (1) de 24 voltios de 1 a 2 Amperios el cual está conectado a una tarjeta electrónica (figura 11) que es encargada de hacer el control y esta a su vez está conectada a dos fuente una de 15 y la otra de 24 voltios. El motor mueve un volante, y también genera el movimiento del sistema de engranajes (4) los cuales presentan una relación de 1:16 para el que esta acoplado al encoder de posición (3), y una relación de 1:64 para el encoder de velocidad (2).

El servomotor (1) mediante un acople transmite el movimiento rotacional al volante (5); de este modo produciendo la aceleración del mismo la cual va a depender del control respectivo que se esté realizando. El encoder de velocidad se encuentra acoplado al sistema de engranajes (4) y esté a su vez al servomotor (1), y genera la señal de retroalimentación de la velocidad de rotación del volante (5) con el fin de que se realice la comparación de la señal de comando y la señal de retroalimentación, para obtener el error y de esta manera realizar la acción de control necesaria mediante el servo de velocidad, para así mantener constante la velocidad de rotación del volante (5).

Para el servo de posición se tiene algo similar al servo de velocidad; el servomotor (1) transmite movimiento rotacional al volante (5) mediante un acople lo cual produce el movimiento de este elemento. El servomotor (1) está conectado al encoder de posición (3) por medio de un sistema de engranajes (4) el cual permite tener las revoluciones apropiadas a las que este sensor funciona correctamente, generándose en este encoder la señal de retroalimentación, y mostrara la posición que roto la regleta de posición (6) la cual está directamente conectada al encoder (3), con esta señal de retroalimentación y la señal de comando se obtiene el error y de esta manera la acción de control necesaria mediante el servo de posición, para así buscar la posición deseada.

Figura 16. Partes del servo de velocidad y posición del sistema antiguo.

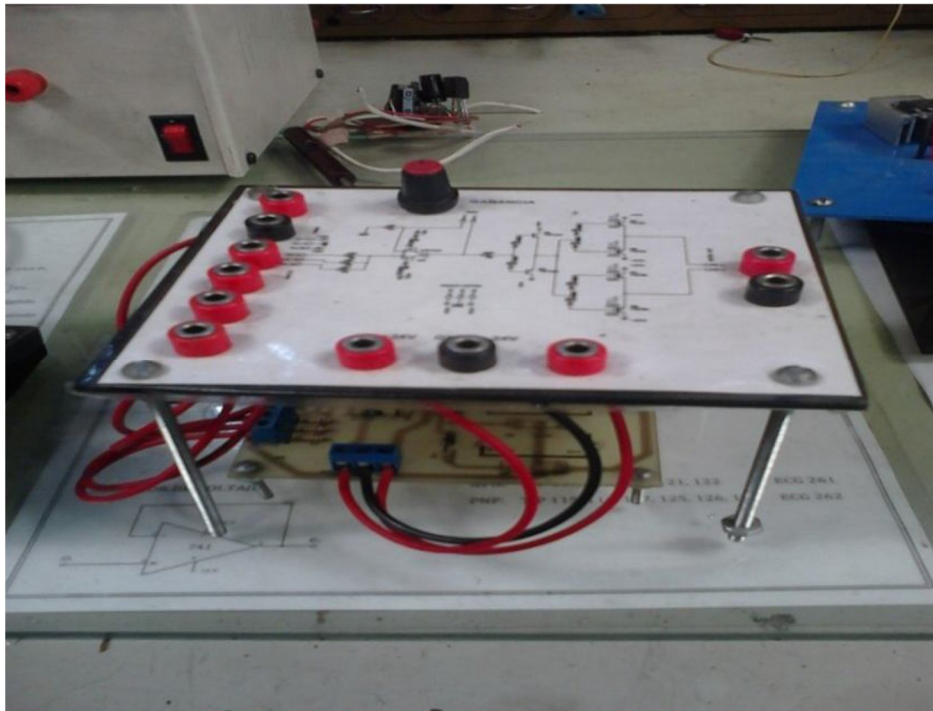


Fuente: Autores

3.2. SISTEMA DE CONTROL DEL EQUIPO ANTIGUO

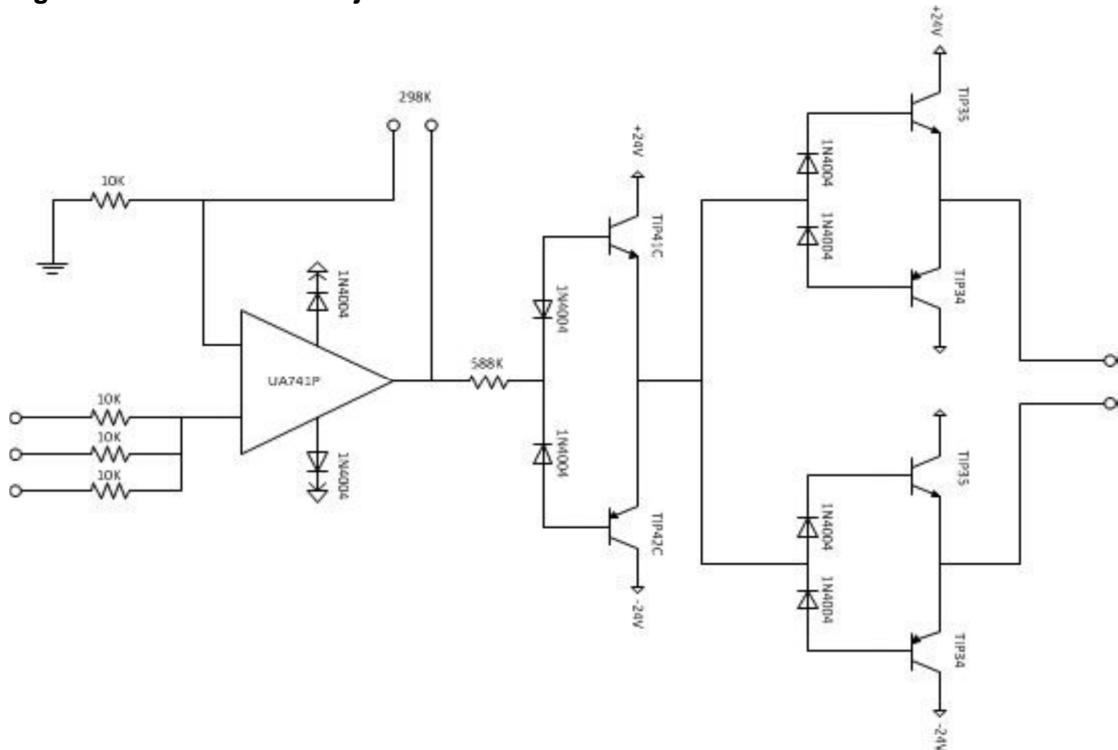
El control que posee el equipo de servos de posición y velocidad es un sistema de control análogo con estructura de lazo cerrado, esto quiere decir que la señal de salida tiene efecto directo sobre la acción de control. La señal de error presente es la diferencia entre la señal de entrada y la de retroalimentación. El sistema de control del equipo de servos de posición y velocidad está comprendido por una tarjeta electrónica (figura 17), y un convertidor que transforma la frecuencia en voltaje para el caso del encoder de velocidad, y los bits en voltaje para el encoder de posición. En las (figuras 21 y 22), se ha realizado el esquema de control del equipo de servos de velocidad y posición en diagrama de bloques con el fin de comprender mejor la situación.

Figura 17. Tarjeta electrónica.



Fuente: Autores

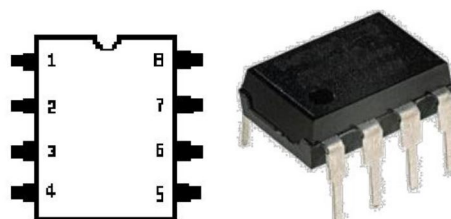
Figura 18. Circuito de la tarjeta electrónica.



Fuente: Autores.

La tarjeta electrónica (figura 17) cuenta con un amplificador operacional tipo UA741P (figura 19), el cual básicamente es un dispositivo amplificador de la diferencia de sus dos entradas, con una alta ganancia, una impedancia de entrada muy alta, y una baja impedancia de salida. Posee ocho patillas.

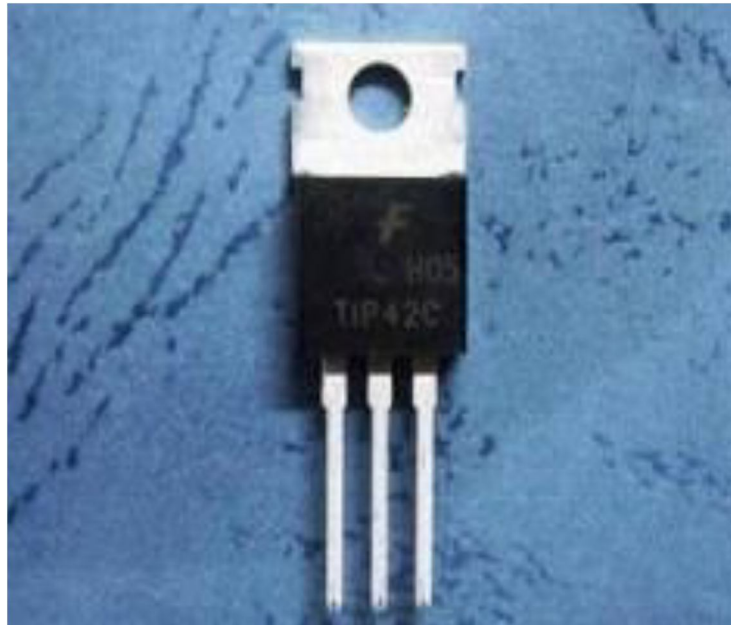
Figura 19. Representación física del amplificador operacional.



Fuente: <http://www.minirobot.com.mx>

Esta tarjeta posee también una serie de diodos, resistencias, dos transistores TIP41C (figura 20) cuya función es permitir el paso de voltaje, recibiendo la señal de salida del amplificador operacional UA741P y permitiendo el paso proporcional de 24 voltios al servomotor.

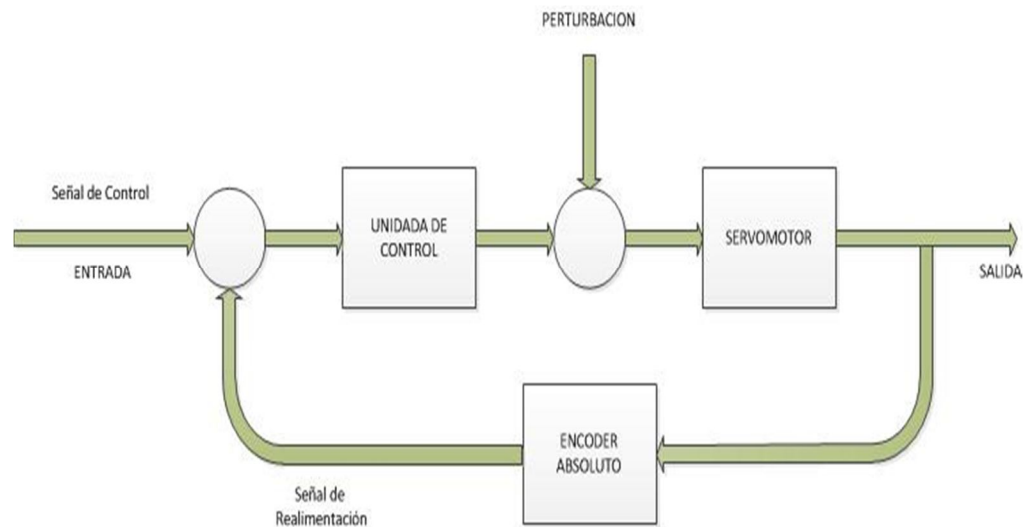
Figura 20. Tip41C.



Fuente: <http://chinainportexport.wikispaces.com>

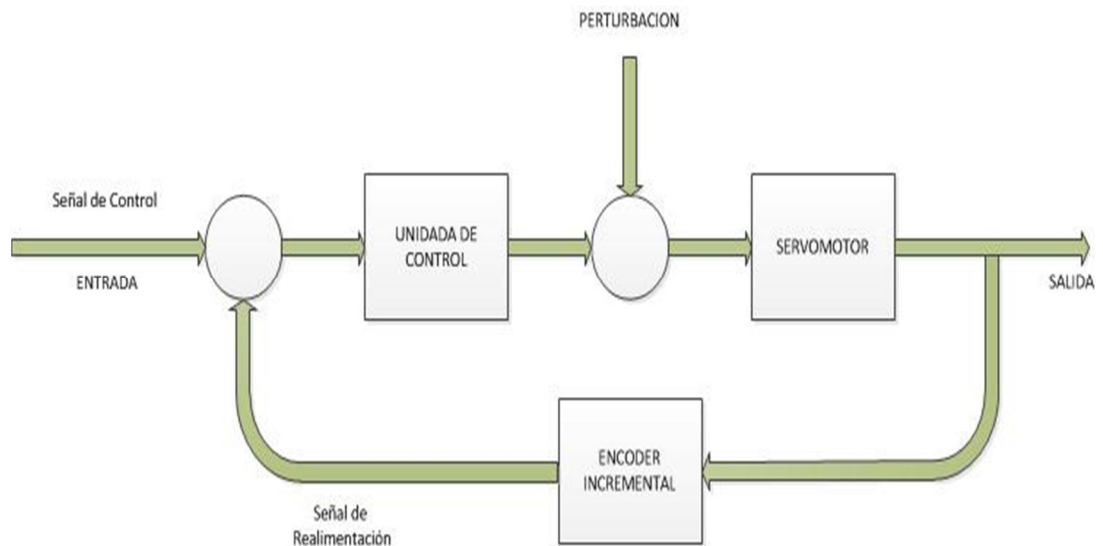
En general así como cualquier sistema de control de lazo cerrado, el control del equipo de servos de posición y velocidad utiliza básicamente una señal de retroalimentación que comparada con la señal de comando produce una señal de error a la cual responde la tarjeta electrónica (figura 17).

Figura 21. Diagrama de bloques de servo de posición.



Fuente: Autores

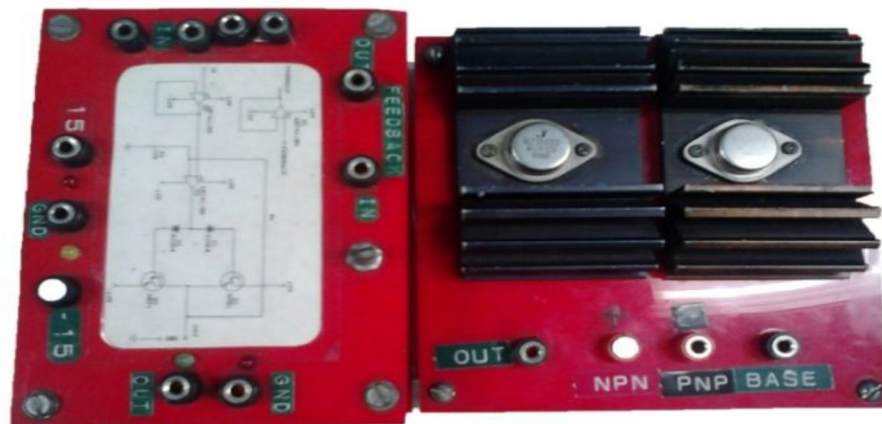
Figura 22. Diagrama de bloques servo de velocidad.



Fuente: Autores

La tarjeta electrónica presento problemas de corto y fue reemplazada en su momento por un sistema de igual comportamiento el cual constaba de dos tarjetas (figura 23), donde la parte de la derecha es la parte de control y la parte de la izquierda es de potencia.

Figura 23. Tarjeta de control y tarjeta de potencia.



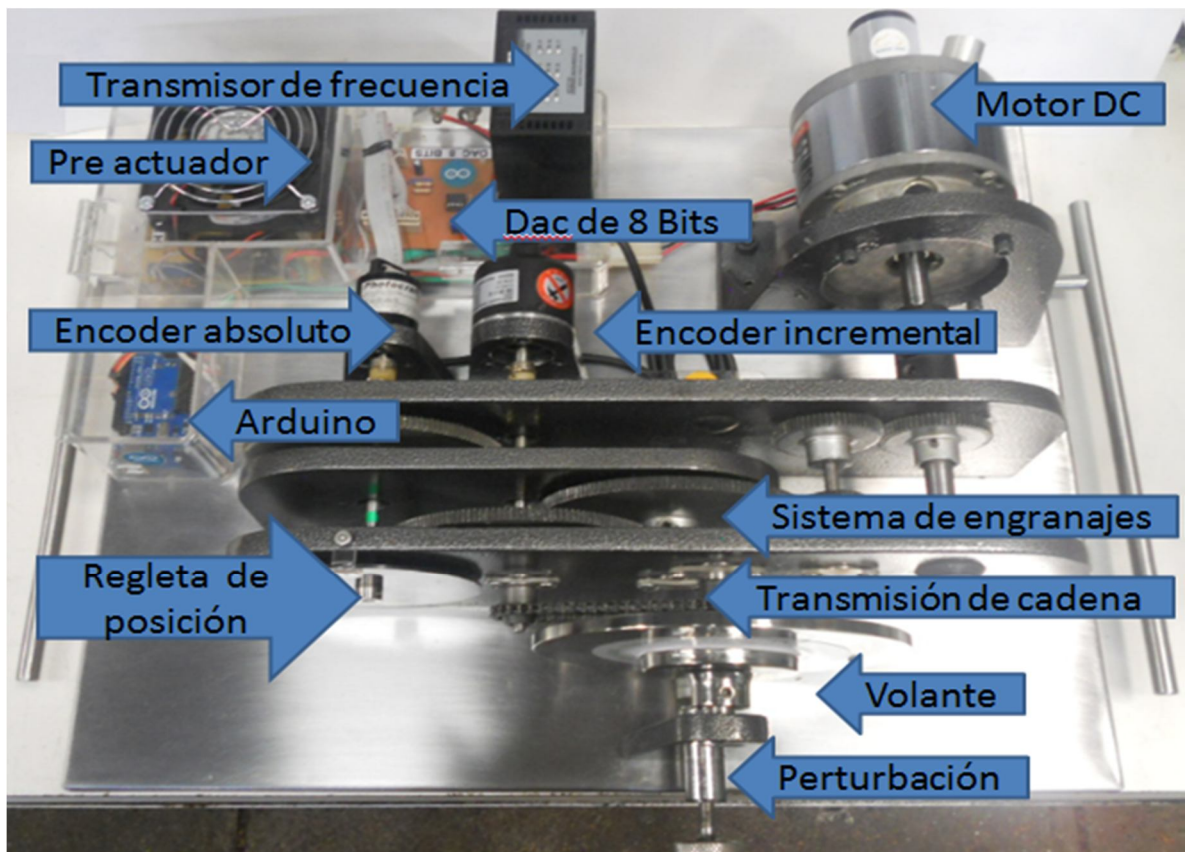
Fuente: Autores

3.3. PAQUETE DE POTENCIA DEL EQUIPO ACTUAL

Para el equipo de servo de velocidad y posición que se muestra en la (figura 24), se cuenta con un motor DC de 24 voltios de 1 a 10 Amperios el cual está conectado a un pre actuador o puente h (figura 28), este se encarga de hacer el control de sentido de giro, el cual a su vez está conectada a una fuente de 24 voltios. El motor DC mueve un sistema de engranajes los cuales presentan una relación de 1:338, acoplado a un encoder de posición; y una relación de 1:42 para el encoder de velocidad, este sistema consta también de un volante que se encuentra unido al sistema de engranajes a través de una transmisión de cadena con una relación 1:1; de este modo produciendo la aceleración de esta, la cual va a depender del control respectivo que se esté realizando y genera la señal de retroalimentación de la velocidad de rotación del volante con el fin de que se realice la comparación de la señal de comando y la señal de retroalimentación, para obtener el error y de esta manera realizar la acción de control necesaria mediante el servo de velocidad, para así mantener constante la velocidad de rotación del volante.

Para el servo de posición se tiene algo similar al servo de velocidad; el motor DC trasmite movimiento rotacional al volante mediante un sistema de engranajes ya mencionado, lo cual produce el movimiento de este elemento. El motor DC está conectado al encoder de posición por medio de un sistema de engranajes el cual permite tener las revoluciones apropiadas a las que este sensor funciona correctamente, generándose en este encoder la señal de retroalimentación, y mostrara la posición que roto la regleta de posición la cual está directamente conectada al encoder, con esta señal de retroalimentación y la señal de comando se obtiene el error y de esta manera la acción de control necesaria mediante el servo de posición, para así buscar la posición deseada.

Figura 24. Partes del servo de velocidad y posición del sistema actual.



Fuente: Autores

3.4. SISTEMA DE CONTROL DEL EQUIPO ACTUAL

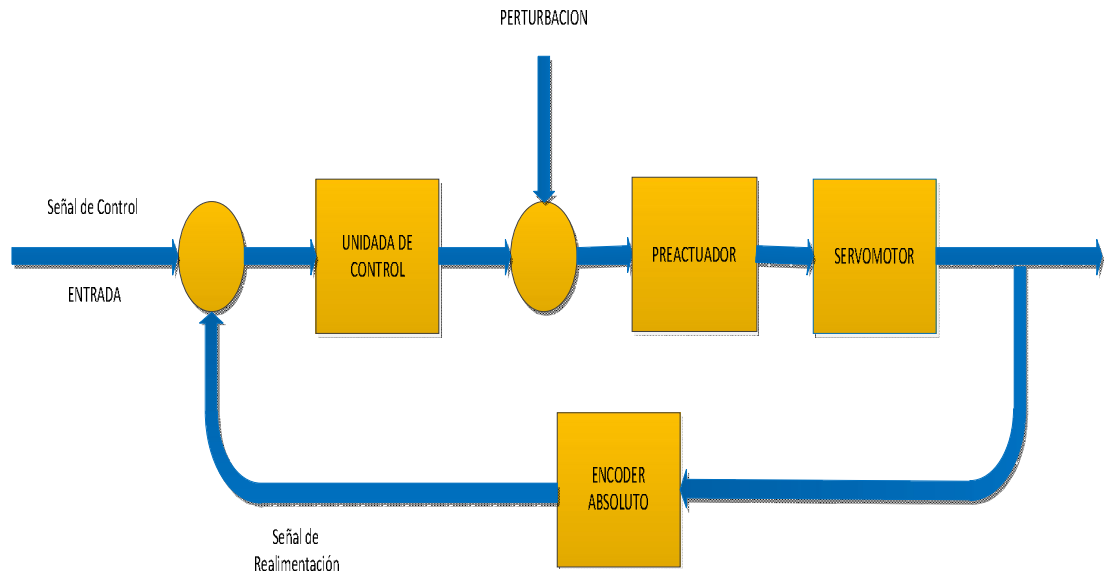
El control que posee el equipo de servos de posición y velocidad es un sistema de control digital con estructura de lazo cerrado, esto quiere decir que la señal de salida tiene efecto directo sobre la acción de control. La señal de error presente es la diferencia entre la señal de entrada y la de retroalimentación. El sistema de control del equipo de servos de posición y velocidad está comprendido por un dispositivo electro-electrónico (figura 25), y un convertidor que transforma la frecuencia en voltaje para el caso del encoder de velocidad, y los bits en voltaje para el encoder de posición. Se ha realizado el esquema de control del equipo de servos de velocidad y posición en diagrama de bloques con el fin de comprender mejor la situación ver (figuras 26 ,27).

Figura 25. Dispositivo de control electro-electrónico.



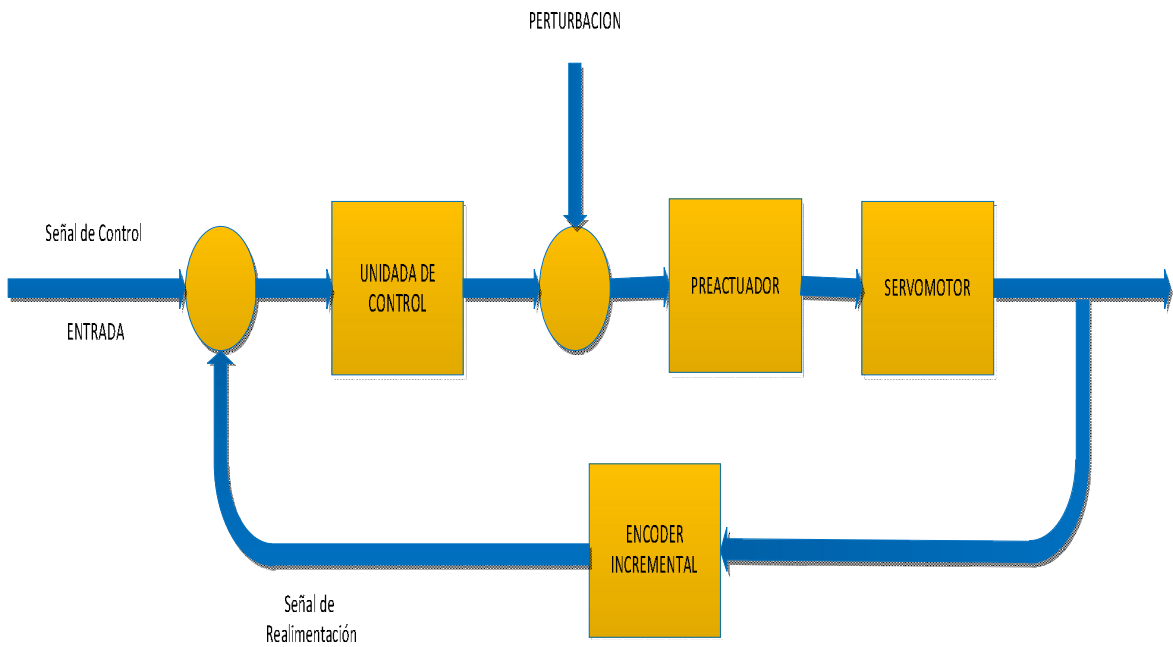
Fuente: Autores.

Figura 26. Diagrama de bloques servo de posición.



Fuente: Autores.

Figura 27. Diagrama de bloques servo de velocidad.



Fuente: Autores.

4. MODELO ESTRUCTURAL DEL SERVOMECANISMO DE POSICIÓN ANGULAR Y VELOCIDAD ROTACIONAL COMO SISTEMA DINAMICO Y REQUERIMIENTOS DE DISEÑO PARA SU CONTROL.

El servomecanismo de posición angular y velocidad rotacional es un banco de pruebas en el cual se experimentara y corroborara la posición y velocidad angular de una masa inercial por lo tanto las variables más significativas son:

Necesita de dos sensores (encoder), un sensor de posición y otro sensor de velocidad y así poder medir estas dos variables las cuales nos servirán de retroalimentación en nuestro control.

El proyecto se enfoca en el diseño y construcción de un sistema de posicionamiento y velocidad angular para una masa inercial por el método de lazo cerrado (feedback)⁶ que es un sistema, donde la señal de salida o parte de la señal de salida es realimentada y tomada como una señal de entrada al controlador.

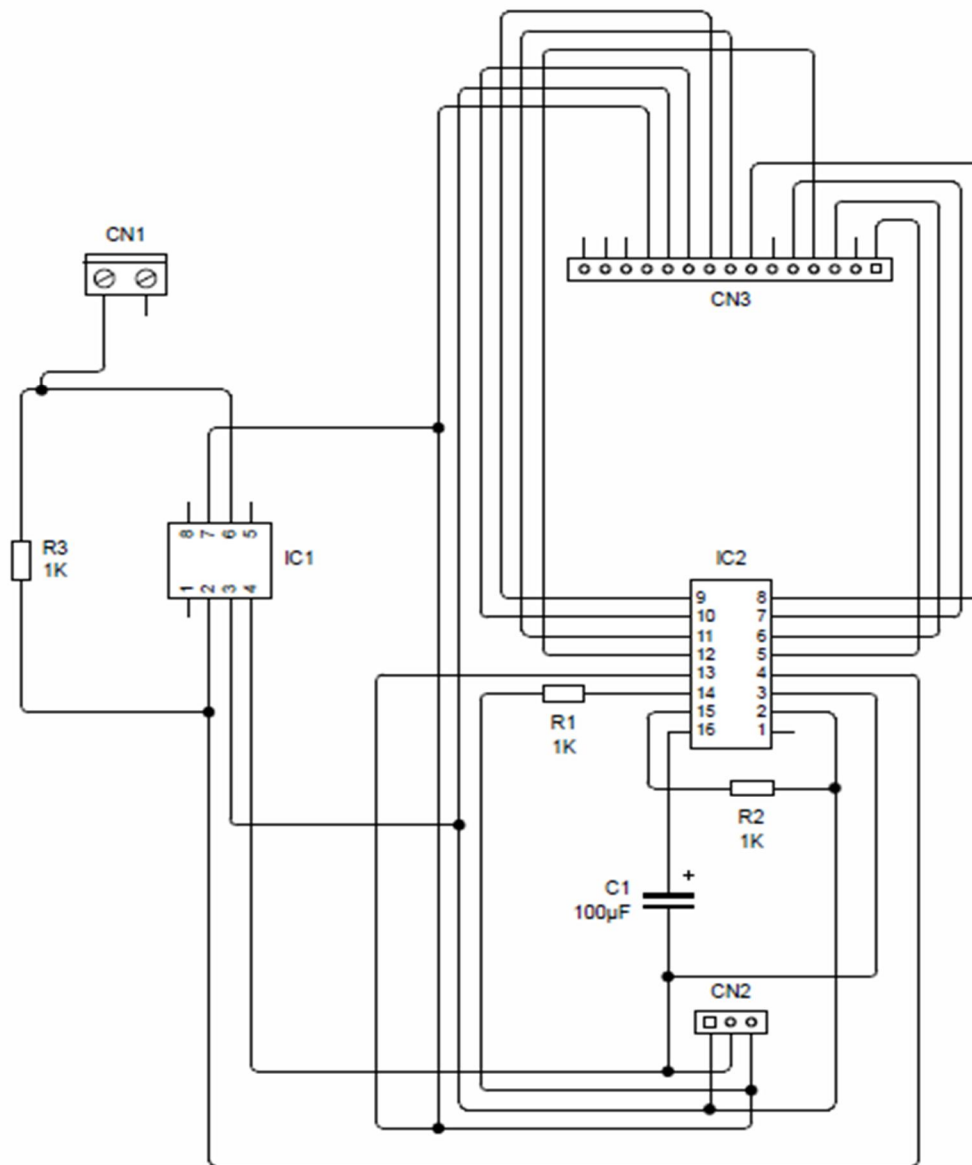
4.1. SERVO DE POSICIÓN

Para el servo de posición se desea controlar un eje el cual esta acoplado a una regleta que muestra la posición (relación 1:338); se cuenta con un encoder absoluto marca photocraftinc modelo SR12, en el cual la posición queda determinada mediante la señal de salida, el cual es único para cada una de las posiciones dentro del giro. Por consiguiente el encoder absolutos no pierde la posición real cuando se corta la alimentación (incluso en el caso de desplazamientos), hasta un nuevo encendido, la posición está actualizada. Este encoder (figura 9) es de 9 bits, posee hasta 512 posiciones por revolución.

⁶ Retroalimentación, conjunto de reacciones o respuestas que manifiesta un receptor respecto a la actuación del emisor, lo que es tenido en cuenta por este para cambiar o modificar su mensaje.

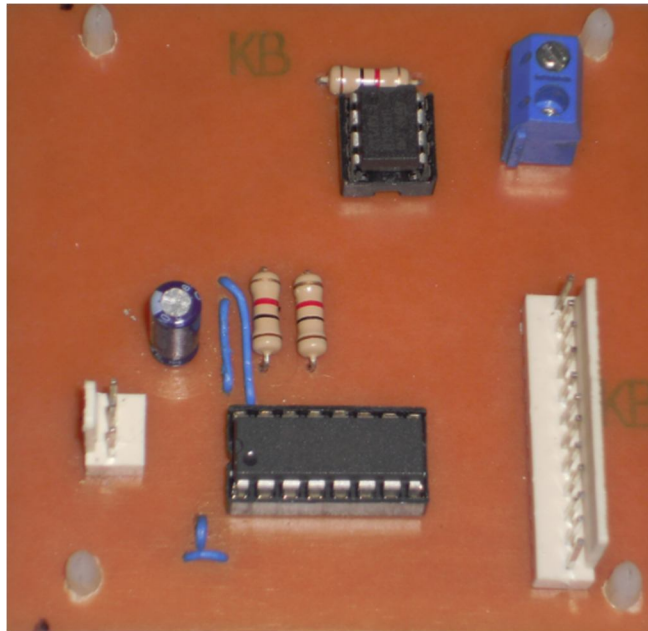
El encoder está conectado a un Dac de 8 Bits (figura 29) el cual cumple la función de transformar los bits de éste, en voltaje y esta a su vez se conecta a la unidad de control, la cual va directamente al servomotor haciendo el respectivo control de la posición de éste.

Figura 28. Plano de Dac 8 Bits.



Fuente: Autores.

Figura 29. Dac de 8 Bits.



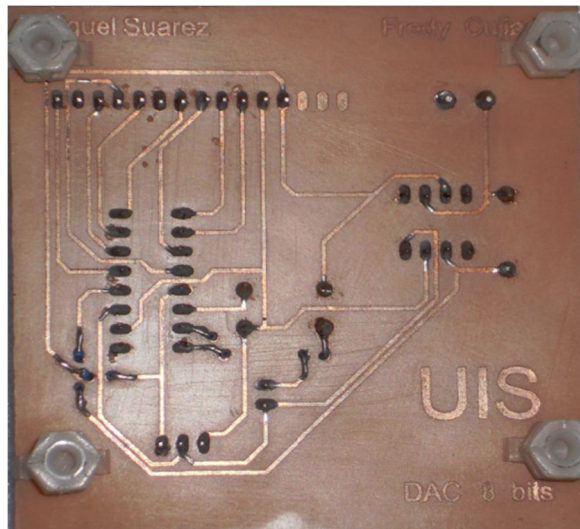
Fuente: Autores

El Dac⁷ de 8 Bits está compuesto por un circuito integrado de referencia DAC0808LCN ver (figura 31), el cual decodifica la señal del encoder absoluto (código binario) en voltaje; En el momento de elaboración de este Dac se tuvo en cuenta en elemento generador de la señal ya que este es de una resolución de 9 Bits; Al buscar en el mercado colombiano un Dac de 9 Bits con puertos paralelos, nos hallamos que no se encuentran disponibles en el país y son de difícil adquisición a nivel mundial.

Debido a esto se decidió implementar el Dac de 8 Bits para el encoder de 9 Bits sacrificando un rango de aproximadamente de 90 grados, descartando el bit menos significativo de este sensor (A0).

⁷ Circuito que posee una entrada digital y da a la salida, una tensión proporcional a la palabra digital.

Figura 30. Circuito impreso Dac de 8 Bits.



Fuente: Autores.

Figura 31. Convertidor de digital Análogo.



Fuente: Autores

4.2. SERVO DE VELOCIDAD

Para el servo de velocidad se analiza la respuesta en velocidad del sistema en bucle cerrado, estudiando las ventajas e inconvenientes de la realimentación en el comportamiento dinámico del sistema y rechazo de las perturbaciones,

controlando la velocidad de rotación del motor. El encoder está conectado a un convertidor el cual cumple la función de transformar la frecuencia de éste en voltaje, y este se conecta a la unidad de control.

El servo de velocidad está compuesto por un variador de frecuencia⁸ ver (figura 32)

Figura 32. Transmisor de Frecuencia marca PI Series.



Fuente: <http://instrumatic.com.co>.

Que va conectado directamente al encoder incremental. Al momento de hacer el montaje se ubicó en la posición en la que se pudiese aprovechar una de las frecuencias a las cuales se puede configurar el transmisor de frecuencia (5 KHz) a 120 RPM.

⁸ Dispositivo que filtra y acondiciona una señal de entrada para así convertirla en una señal de corriente continua.

Figura 33. Configuración de transmisor de frecuencia.

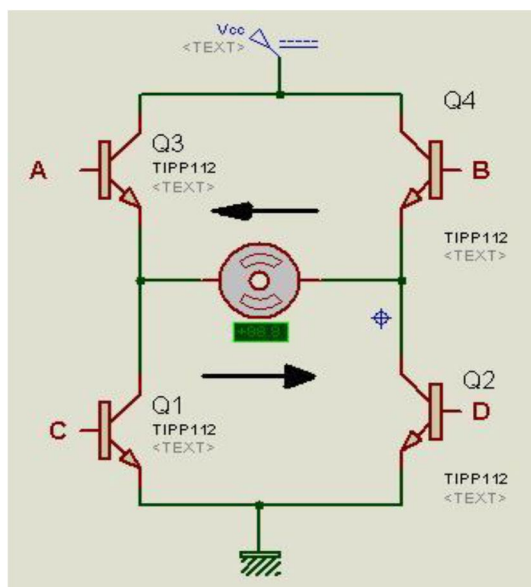
0~2kHz	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0~4kHz	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0~5kHz	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
0~10kHz	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0~20kHz	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Fuente: datasheet de transmisor de frecuencia.

4.3. PREACTUADOR.

Para el control del motor se requirió implementar dispositivo llamado puente H, capaz de controlar la dirección y velocidad, dependiendo de las señales de control que entregue el controlador. Este dispositivo acopla la parte control con la parte de potencia de nuestro sistema, y su importancia es clara en el funcionamiento del mecanismo, una configuración básica de un puente H se observa en la (figura 34).

Figura 34. Configuración de puente H.



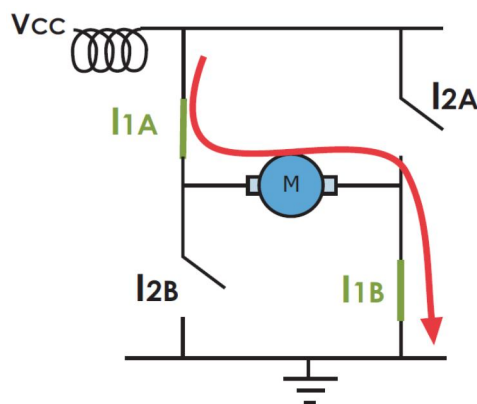
Fuente: <http://proyectoselectronicos1.blogspot.com>

El dispositivo puente H basado en transistores que soportan los voltajes y corrientes necesarios para alimentar correctamente el motor. La alimentación será a 24 V, en base a una fuente de 24 VDC. El control del voltaje entregado al motor será mediante señales PWM que excitan el semiconductor, permitiendo un control de velocidad y dirección.

El control de velocidad de los motores se realiza por medio de regulación de voltaje que llega al motor, esta regulación se realiza por medio de la utilización de un transistor que no es más que una válvula que regula corriente al motor, regulando el voltaje entre las terminales del motor.

Para el control de la dirección del motor se configuran el encendido de los MOSFETS de manera secuencial como se muestra en la (figura 35).

Figura 35. Esquema simplificado de funcionamiento de un puente H.



Fuente: Autores

El interruptor I1A como el I1B se encuentra encendidos, lo que permite que la corriente fluya a través de ellos y de la armadura del motor. Para cambiar el sentido de giro, basta apagar I1A y I1B, y encender I2A y I2B. Para regular la tensión suministrada al motor, se varía el ciclo de trabajo del PWM que se entrega

al transistor, haciendo una analogía sería regular la apertura de una válvula que regula flujo, entre mayor sea el ciclo de trabajo mayor apertura de la válvula.

4.3.1. PUENTE H CON TRANSISTORES MOSFET.

Para la implementación este puentes H se utilizaron MOSFET NPN y PNP, IRF4905.

Las características principales se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Características principales de los transistores MOSFET utilizados.

Modelo	IRF48N	IRF4901
V_{ds} (máximo)	55 V	55 V
R_{ds}	0.016 Ω	0.02 Ω
Corriente máxima	64 A	74 A

Fuente: Autores

El puente H mostrado en la (figura 36) está compuesto por dos transistores IRFZ48N y dos IRF4905. Funciona con 24 Volt. Tiene incorporado un sistema de compuertas lógicas que permiten que este use solo dos entradas de control de tal forma que mientras una recibe la señal PWM la otra debe estar en cero para que el motor rote en un sentido y al contrario para que el motor rote en el otro sentido. Debe cuidarse de que en ningún momento queden ambas entradas en ALTO (5 Volt), pues esto implica un corto en los transistores, lo que los daña inmediatamente.

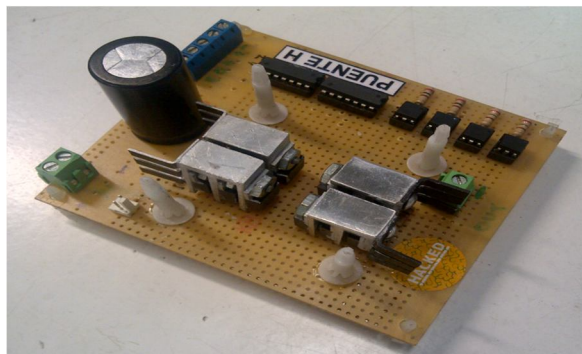
Para su funcionamiento requiere además de la entrada de potencia (24 Volt) una entrada de voltaje de alimentación (5 Volt) de los integrados lógicos, ambas deben llevar tierras independientes. Las entradas de este puente H están aisladas por

medio de un opto-acoplador, de tal forma que en caso de corto o daño en los transistores no dañe el micro controlador.

Para el manejo de corrientes más altas fue necesario el desarrollo de un puente H con transistores en Paralelo con varios integrados, lo cual casi duplica la capacidad del puente H.

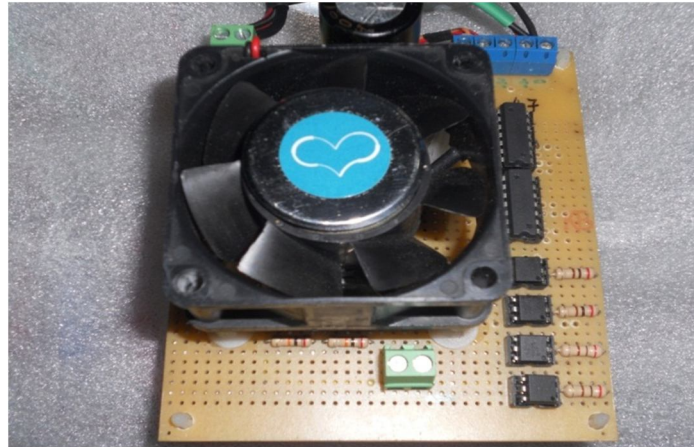
La corriente máxima que maneja la etapa de potencia implementada en este proyecto es de 15 Amp en pico. Este arreglo asegura que la electrónica de potencia, este por encima de los requerimientos del motor, el cual puede soportar hasta 10 Amp bajo apropiadas condiciones de disipación de calor, razón por la cual se fijó un ventilador sobre los transistores. Para su funcionamiento este puente H requiere de una entrada de potencia (24 Volt), una entrada de alimentación de la parte lógica (5 Volt), ambas con tierras independientes y dos señales de control. Por medio de un circuito hecho con compuertas lógicas, el funcionamiento de las señales de control para este puente H. Requiere de dos señales A y B. Si A es alto (5 Volt) el motor gira hacia un sentido, si es bajo (0 Volts) el motor gira hacia el otro lado. B recibe la señal en PWM. De esta forma se evita que en algún momento ambas ramas del puente H queden en ALTO, evitando así un corto en los transistores.

Figura 36. Puente H con transistores MOSFET en paralelo y compuertas lógicas sin ventilador.



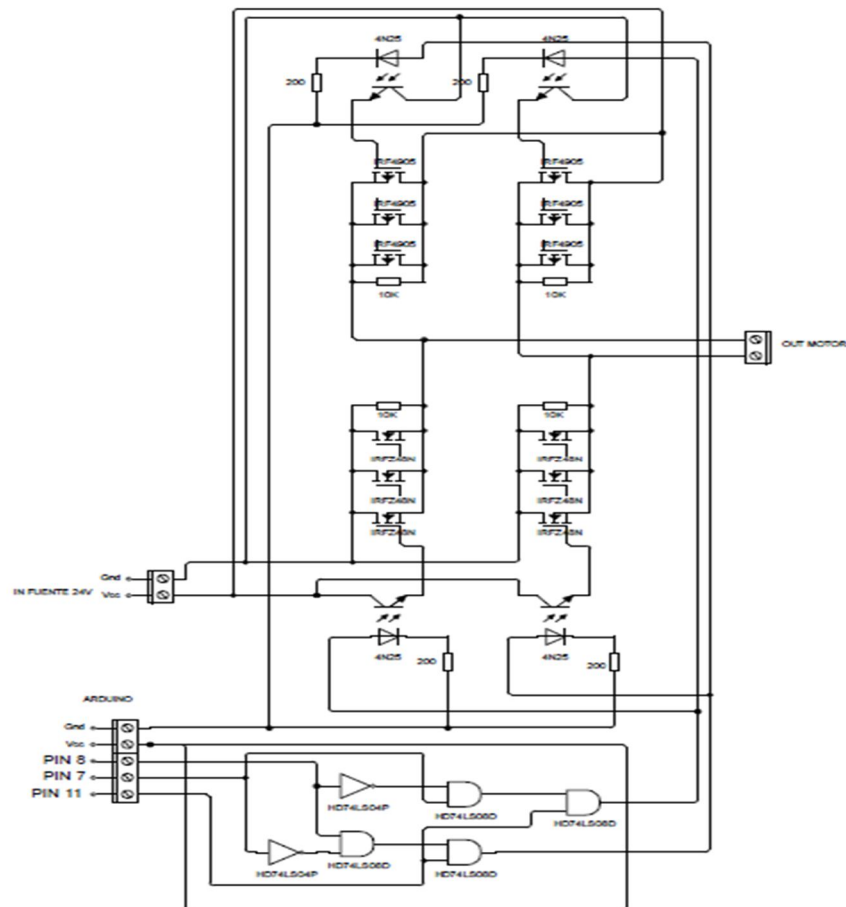
Fuente: Autores

Figura 37. Puente H con transistores MOSFET en paralelo y compuertas lógicas con ventilador.



Fuente: Autores

Figura 38. Esquema del puente H con transistores en paralelo y compuertas lógicas.



Fuentes: Autores

5. UNIÓN DE ARDUINO Y LABVIEW

5.1. INTERFACE ENTRE ARDUINO Y LABVIEW

Como uno de los objetivos planteados en esta tesis se tenía la implementación de una interface entre arduino y un laboratorio virtual, como puede ser el caso de matlab y labview entre otros, pues resulta que luego de una ardua investigación encontramos que los desarrolladores de la National Instruments han creado componentes para Labview (VI) y el firmware necesario para convertir una placa de arduino en una tarjeta de adquisición de datos y poder manejarla por USB desde labview. La característica de la DAQ resultante tiene una frecuencia de comunicación de 200hz y quisimos ver que tan bien se comporta en un sistema tan exigente como lo es un servo de velocidad y posición.

Requisitos:

- Un arduino basado en el micro controlador ATMEGA328 o superior (el micro controlador ATMEGA168 no es compatible con el firmware). Son compatibles los arduino Uno, Duemilanove, Mega 2560.
- El IDE de Arduino (recomendamos la versión 1)
- Labview 2009 o superior (se puede utilizar la versión trial)
- Kit de drivers VISA.
- VIPM (VI package manager).
- Labview Interface for Arduino (en adelante **LIFA**)

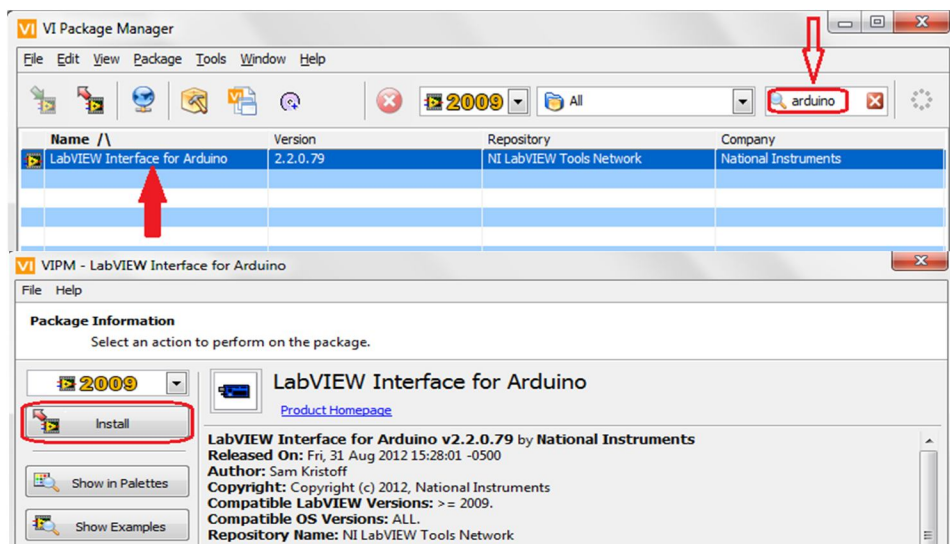
Los pasos para empezar la instalación es la siguiente:

1. Lo primero que necesitamos instalar es Labview. Podemos descargar la versión de evaluación del siguiente enlace, aunque para hacerlo primero tendremos que registrarnos.

<http://www.ni.com/trylabview/esa/>

2. Una vez Instalado Labview, procedemos a instalar el pack de drivers de VISA, que podemos descargarlo desde la siguiente página. Yo he instalado la versión 5.1.1, pero funciona con la versión 5.0.3 y ya han sacado la 5.1.2.
<http://joule.ni.com/nidu/cds/view/p/id/2659/lang/es>
3. Después instalamos el gestor de paquetes VI (VIPM). Podemos descargar la versión de la comunidad (free) de la siguiente página. Este programa será el que descargue e instale los VI de Arduino en Labview.
<http://www.jki.net/vipm/download>
4. Una vez instalado estos componentes ejecutamos el gestor de VI (VIPM) y buscamos "Arduino". Solo tenemos que seleccionar el paquete de la lista e instalarlo. Los paquetes de componentes del LIFA se pueden descargar e instalar manualmente, pero esta forma es mucho más fácil, ver (figura 39). Cuando termine, habremos completado la parte de instalación del Labview, nos queda la parte del Arduino.

Figura 39. Gestor de VI (VIPM).



Fuente: Autores

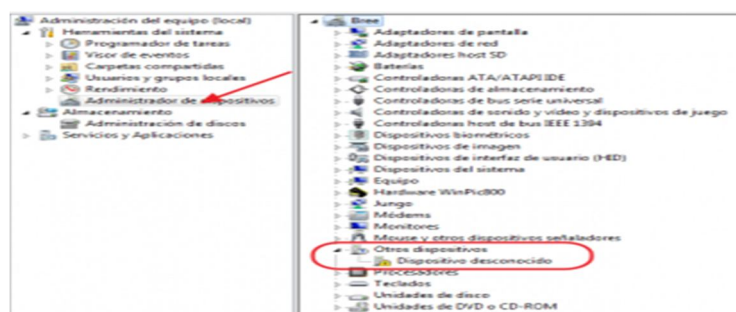
5. El IDE de arduino lo descargamos directamente de la página de GoogleCode. En la página de Arduino en Español, los enlaces a las últimas versiones no están actualizados, se quedaron en la versión 0019. Se recomienda la versión 1.0. En el siguiente enlace está la lista de las últimas versiones del IDE:

<http://code.google.com/p/arduino/downloads/list>

6. Una vez descargado lo descomprimos y creamos un enlace en el menú de programas o el escritorio si lo prefieres. Con esto ya está todo instalado y solo tenemos que cargar el firmware del LIFA al Arduino para que se pueda comunicar con Labview.

- Lo primero es conectar la placa de arduino en el puerto USB. Si es la primera vez que lo haces, deberás instalar los drivers de Windows. Estos Driver vienen en el IDE de arduino, solo hay que decirle al sistema en que carpeta se encuentran. Conectamos el Arduino y nos aparece el típico globo que avisa de que no se han encontrado los drivers del nuevo dispositivo, hacemos clic en él y nos da la opción de buscar los drivers. Si no aparece, podemos ir directamente al administrador de dispositivos haciendo clic derecho sobre "Equipo" y seleccionando Administrar en el menú emergente. Una vez abierto el administrador de dispositivos nos encontraremos con el arduino desconocido, (Figura 40).

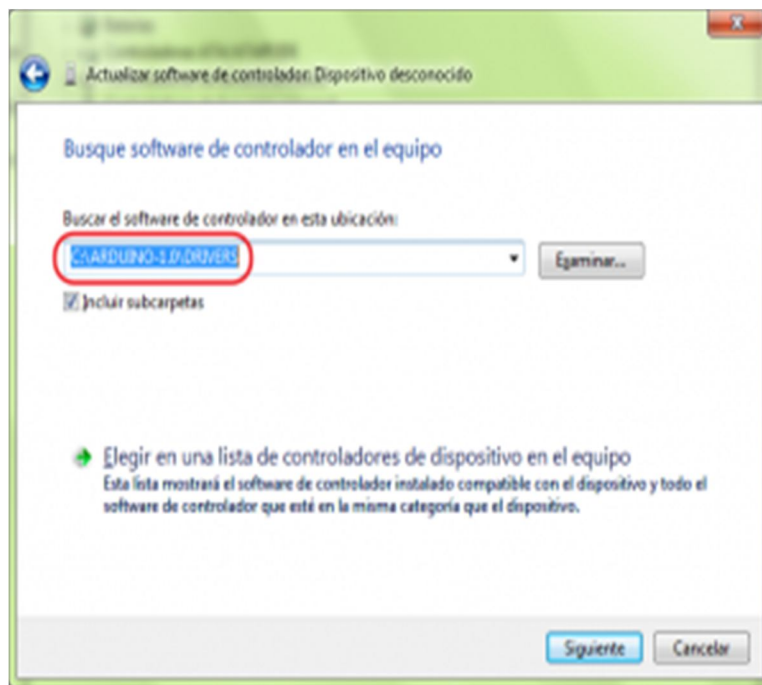
Figura 40. Administrador de dispositivos.



Fuente: Autores

- Hacemos clic con el botón derecho sobre el dispositivo desconocido y elegimos la opción "Actualizar software de controlador". En la siguiente ventana elegimos la opción "Buscar software de controlador en el equipo". Ahora se nos pedirá que indiquemos en que carpeta están los drivers de arduino. Tendremos que seleccionar la carpeta "drivers" que hay dentro del directorio de Arduino, (Figura 41).

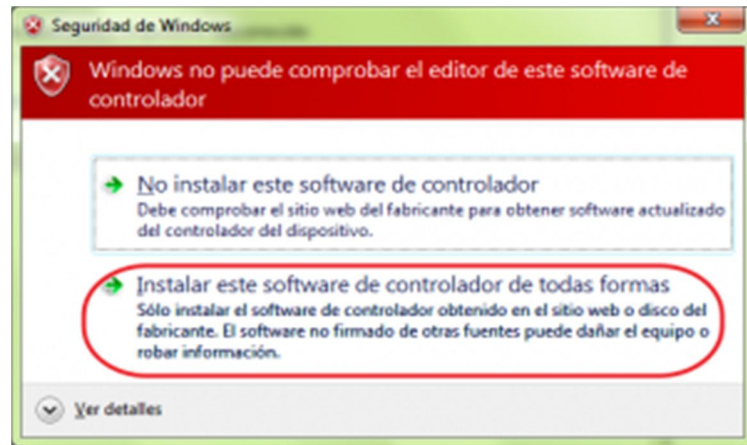
Figura 41. Instaladores de tarjeta arduino.



Fuente: Autores

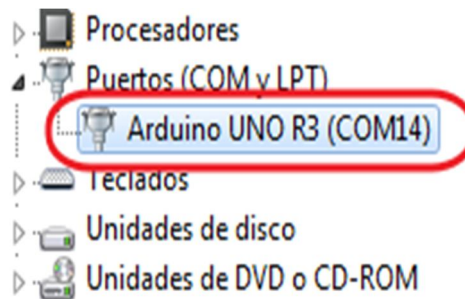
- Aceptamos la instalación del driver (Figura 42), tras lo cual, nuestro arduino estará reconocido en el sistema como un puerto serie (Figura 43). El número de puerto serie lo necesitaremos en los siguientes pasos.

Figura 42. Aceptación de driver.



Fuente: Autores

Figura 43. Confirmación de instalación de arduino.



Fuente: Autores

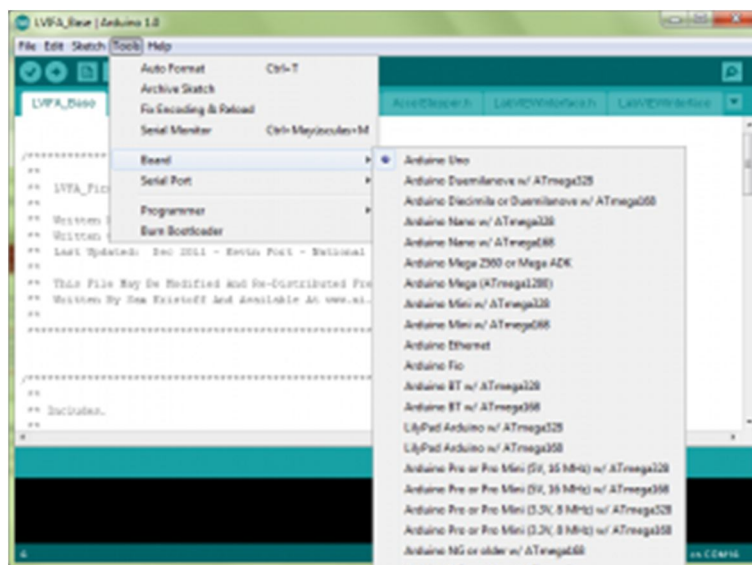
- Una vez teniendo el arduino conectado al puerto usb y reconocido por el sistema, toca programar el arduino con el sketch que comunica la placa con labview. El sketch de arduino se instala con LIFA, por lo que tenemos que ir a la carpeta donde se ha instalado (vi.lib Interface \ LabVIEW para Arduino \ Firmware \ LVIFA_Base), (Figura 41). En el directorio LVIFA_Base, se encuentra el archivo LVIFA_Base.pde que es el sketch que debemos abrir. Se nos abrirán además todas las librerías. Cuando lo tenemos todo abierto lo programamos en la placa de arduino. Primero seleccionamos el tipo de placa que estamos utilizando, que en nuestro caso es una arduino UNO. Se selecciona desde el menú tools, en la opción Board (figura 45).

Figura 44. Ubicación de archivo LVIFA_Base.



Fuente: Autores

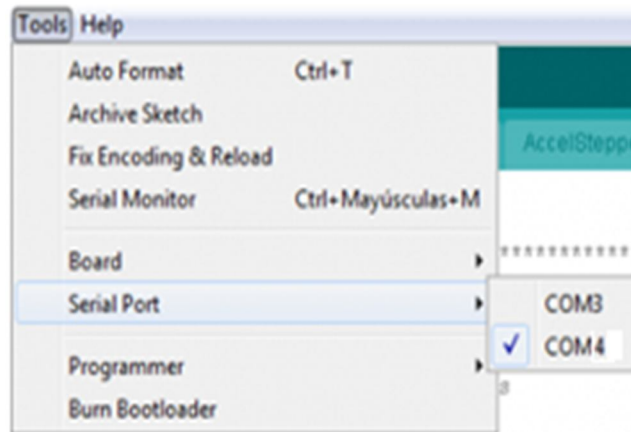
Figura 45. Selección de menú tools y Board.



Fuente: Autores

- Ahora elegimos el puerto serie (COM) que utiliza el sistema para comunicarse con la placa de arduino. En mi caso es el COM 4 (Figura 46), pero el sistema nos puede haber asignado cualquier otro. Lo puedes averiguar en el **Administrador de dispositivos**. El puerto se selecciona en la opción "Serial Port" del menú Tools.

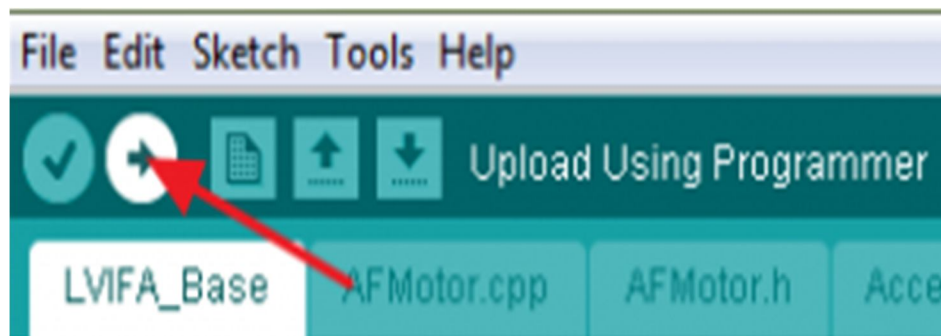
Figura 46. Selección de puerto serial.



Fuente: Autores

- Y ya podemos programar la placa con el botón de la flecha de la parte superior (figura 47).

Figura 47. Activación de sistema arduino.



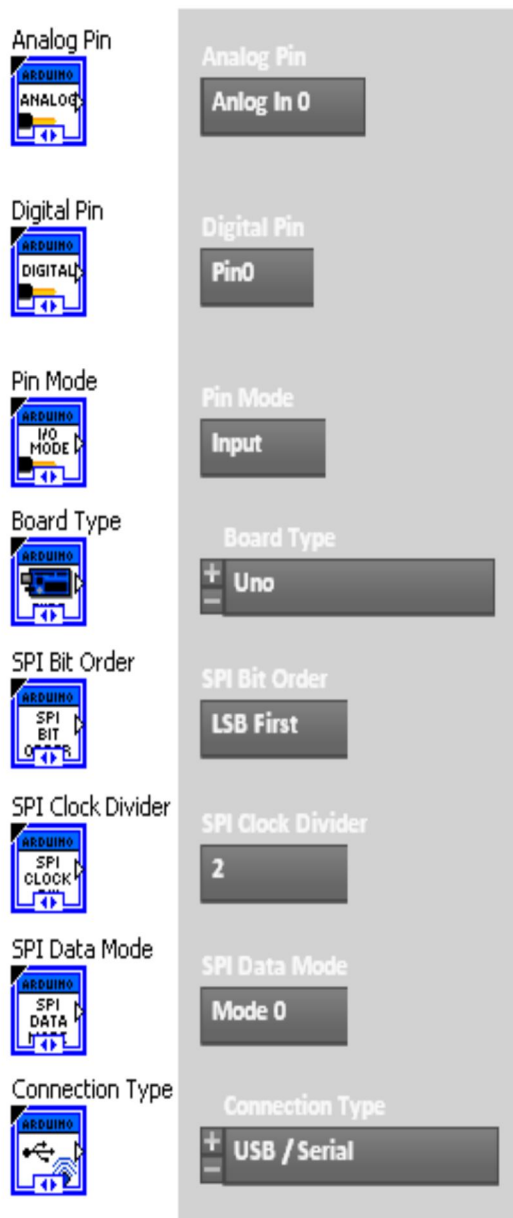
Fuente: Autores.

Eso es todo. Con esto ya tenemos lista la placa de arduino para comunicarse con Labview y en este último contamos con un toda una librería y VI que nos van a permitir hacer fácilmente aplicaciones para controlar procesos usando arduino como tarjeta de adquisición de datos.

5.2. LIBRERÍAS DEL KIT LIFA DE LABVIEW PARA ARDUINO.

- **Descripción de controles del panel frontal de la Librería Arduino:** (Figura 48).

Figura 48. Panel frontal de la Librería Arduino.



Fuente: Autores

Permite seleccionar un Pin de Entrada Analógica.

Permite seleccionar un Pin de Entrada Salida Digital.

Permite designar un Pin como Entrada o como Salida.

Selecciona el tipo de Tarjeta.

Selecciona tipo de Byte.

Factor de División de la frecuencia de Reloj.

Modo de dato.

Permite seleccionar el puerto con el que nos comunicaremos con Arduino.

- **Descripción y librería arduino del módulo diagrama de bloques de Labview:** (Figura 49).

Figura 49. Descripción y librería arduino.

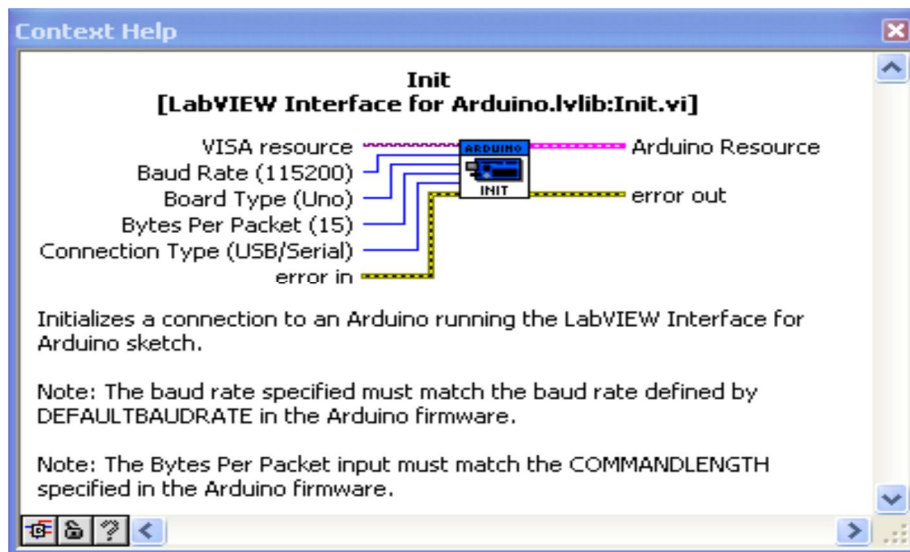


Fuente: Autores

- **Módulo de Inicio de la tarjeta arduino:** Este módulo es imprescindible en cualquier configuración que hagamos, permite configurar las características de Arduino. Por defecto viene con los parámetros que se indican en la (figura 50).

Los conectores “**Arduino Resorce**” y “**error out**” se deben cablear a todos los elementos que se coloquen en el diagrama con el fin de que los parámetros de configuración se transfieran a todos los bloques (Figura 51).

Figura 50. Init.



Fuente: Autores

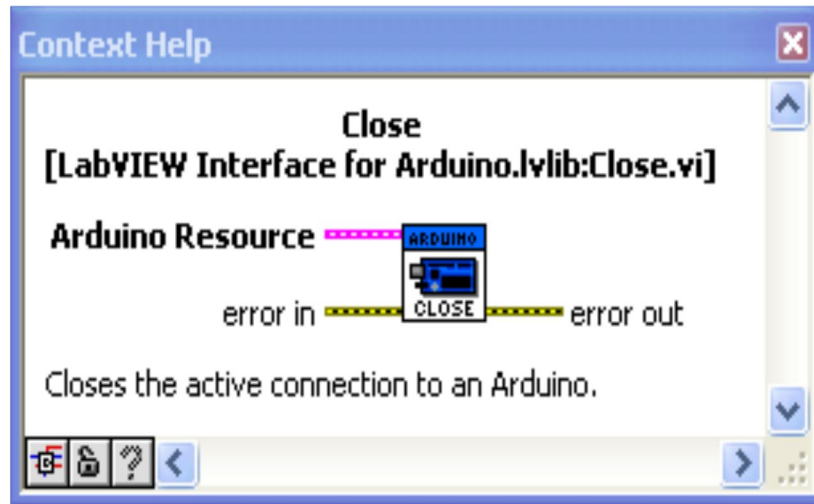
Figura 51. Conexión de bloques.



Fuente: Autores.

- **Módulo de cierre de la conexión con el puerto:** Al igual que el módulo de inicio este es indispensable para la configuración ya que es el que establece el cierre en la comunicación al arduino. Por defecto viene con los parámetros que se indican en la (figura 52).

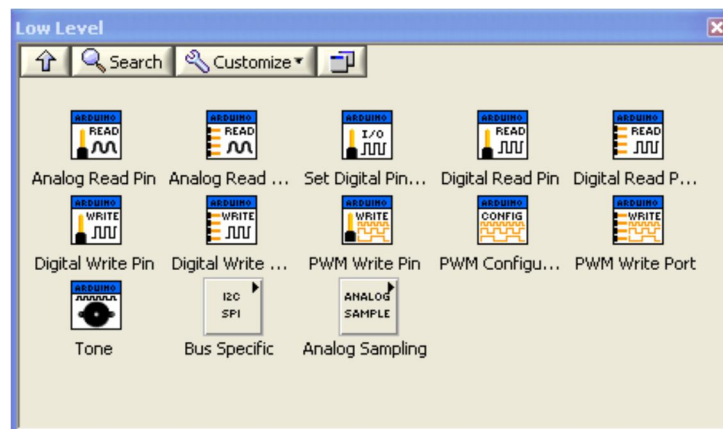
Figura 52. Módulo de cierre de la conexión con el puerto.



Fuente: Autores.

- **Funciones “low level”:** (Figura 53).

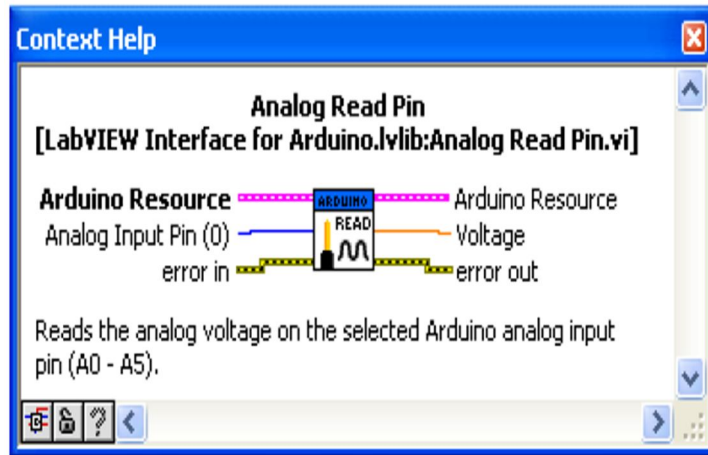
Figura 53. Funciones “low level”



Fuente: Autores

- **Lectura de una entrada analógica de Arduino:** Recoge de entrada el número de canal en formato INTEGER y devuelve de salida el valor leído en formato DBL (Figura 54).

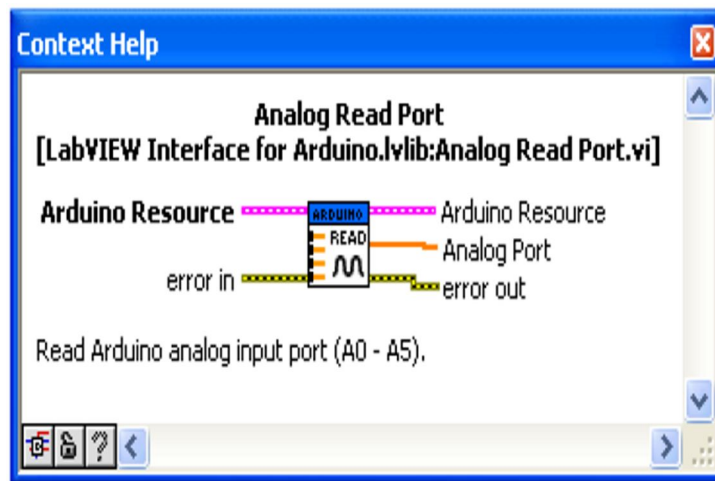
Figura 54. Lectura de una entrada analógica de Arduino.



Fuente: Autores

- **Lectura del puerto analógico:** Devuelve el valor leído en el Puerto Analógico (Figura 55).

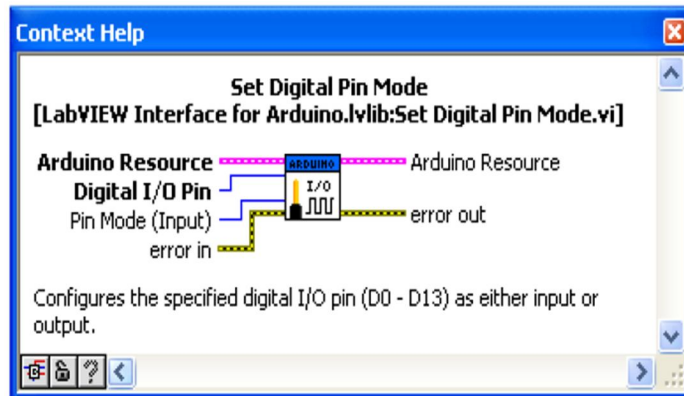
Figura 55. Lectura del puerto analógico.



Fuente: Autores

- **Configura un PIN digital como entrada o salida:** Los parámetros de entrada serán el número de puerto y el modo de trabajo (I/O) (Figura 56).

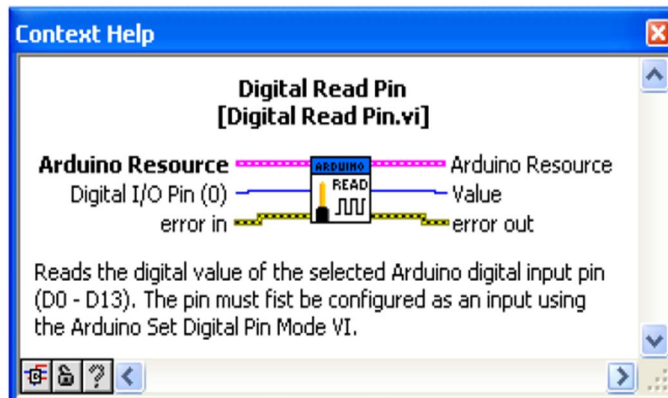
Figura 56. Configura un PIN digital como Entrada o salida.



Fuente: Autores

- **Lectura del valor en un pin digital:** Lee el valor de una entrada digital designada mediante el parámetro “Digital I/O” y saca el valor en su salida “Valué” (Figura 57).

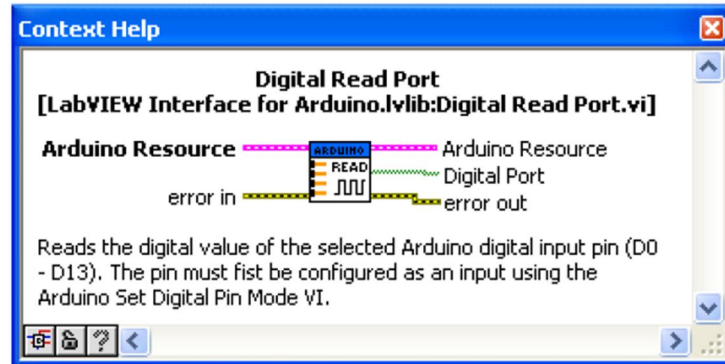
Figura 57. Lectura del valor en un pin digital.



Fuente: Autores

- **Lectura del puerto digital:** Lee el puerto digital completo y lo saca en el terminal “Digital Port” en formato 1D Array (Figura 58).

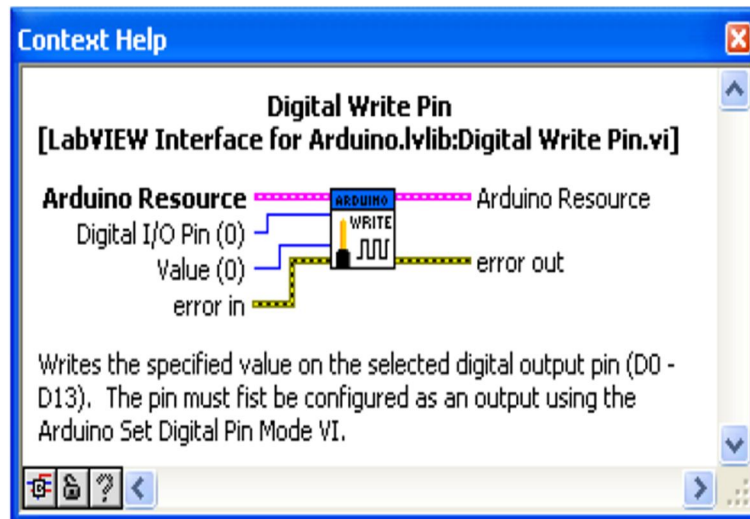
Figura 58. Lectura del puerto digital.



Fuente: Autores

- **Escritura en PIN digital:** Escribe un valor digital (0 o 1) "Value", en el Pin indicado en "Digital I/O Pin" (Figura 59).

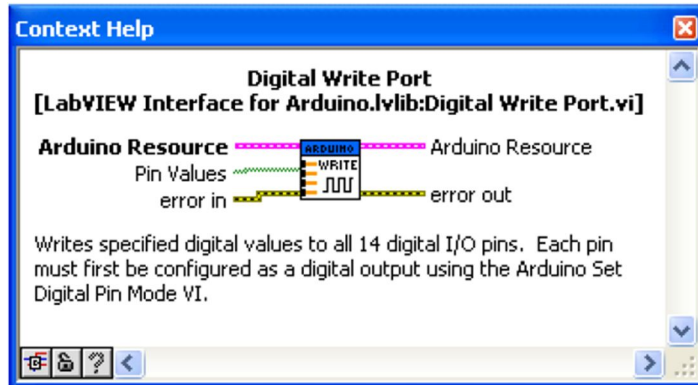
Figura 59. Escritura en PIN Digital.



Fuente: Autores

- **Escritura en puerto digital:** Escribe de una sola vez los valores a los 14 PINs de entrada salida digitales de la tarjeta Arduino. Primero debe configurarse como salida digital el conjunto de pines Digitales (Figura 60).

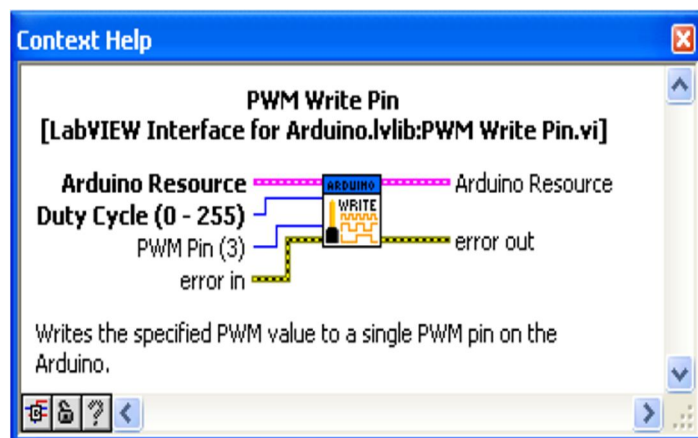
Figura 60. Escritura en puerto digital.



Fuente: Autores

- **Escritura en salida analógica PWM:** Escribe un valor entre 0-255 en la salida especificada en el Pin (Figura 61).

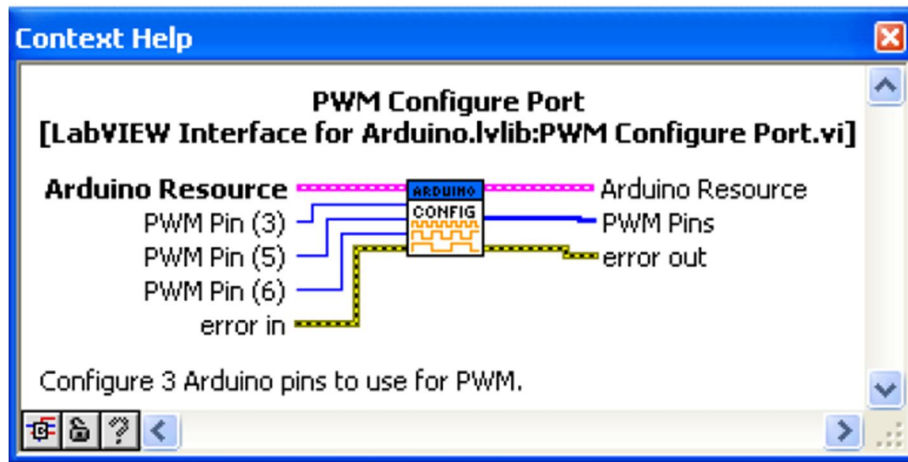
Figura 61. Escritura en salida Analógica PWM.



Fuente: Autores

- **Configura 3 PIN como salida PWM:** Se indican los PINS y devuelve el valor de los puertos configurados (Figura 62).

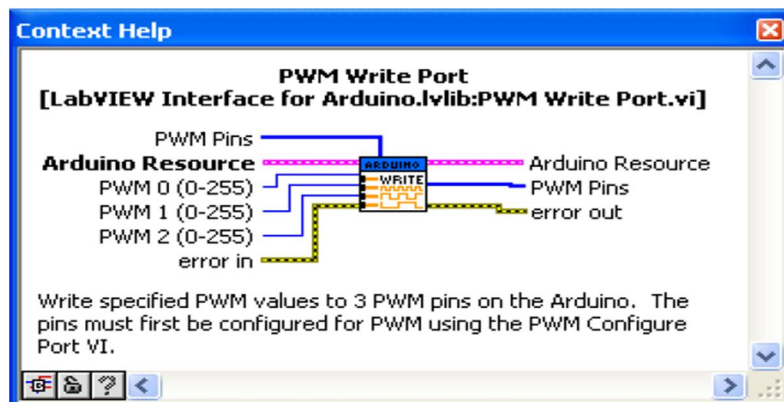
Figura 62. Configura 3 PIN como salida PWM.



Fuente: Autores

- **Escribe el puerto PWM:** Controla tres salidas PWM cuyo número de PINS los recoge del valor PWM PINS. Los valores de cada señal se suministran en los pines de entrada PW 0, PWM 1 y PWM 2 (Figura 63).

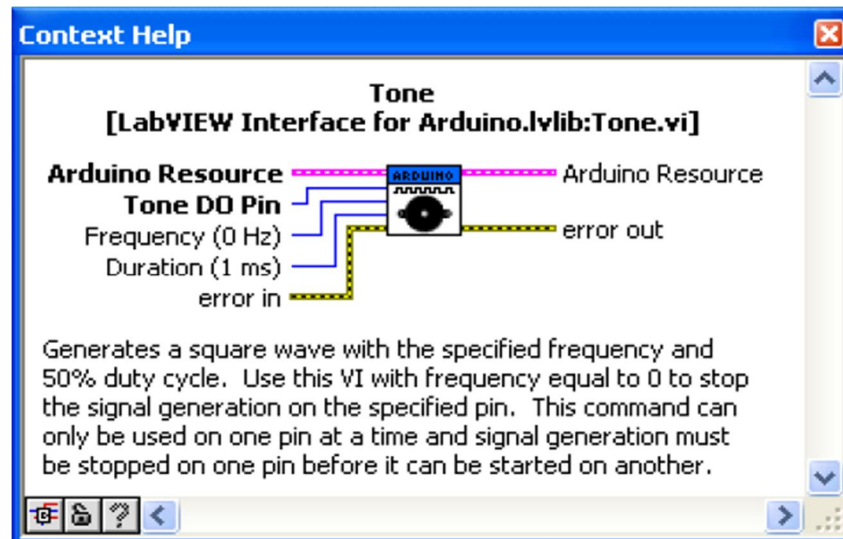
Figura 63. Escribe el puerto PWM.



Fuente: Autores

- **Genera un Tono:** Genera un tono de frecuencia y duración variables en el PIN designado mediante Tono del Pin (Figura 64).

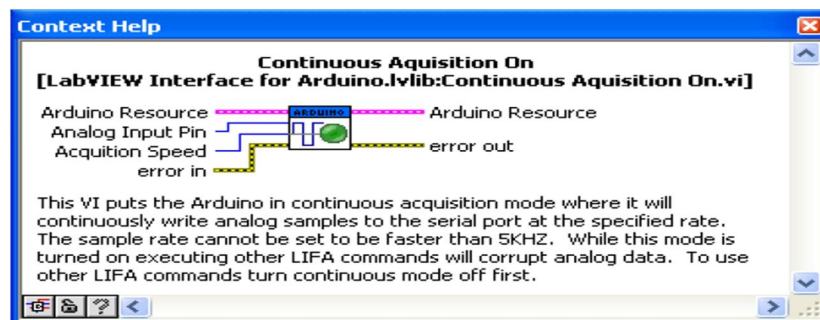
Figura 64. Genera un Tono.



Fuente: Autores

- **Librería analog sampling:**
- **Adquisición continua de datos:** Permite activar la lectura de datos en una entrada analógica teniendo la posibilidad de asignar el tiempo de muestreo en la lectura (Figura 65).

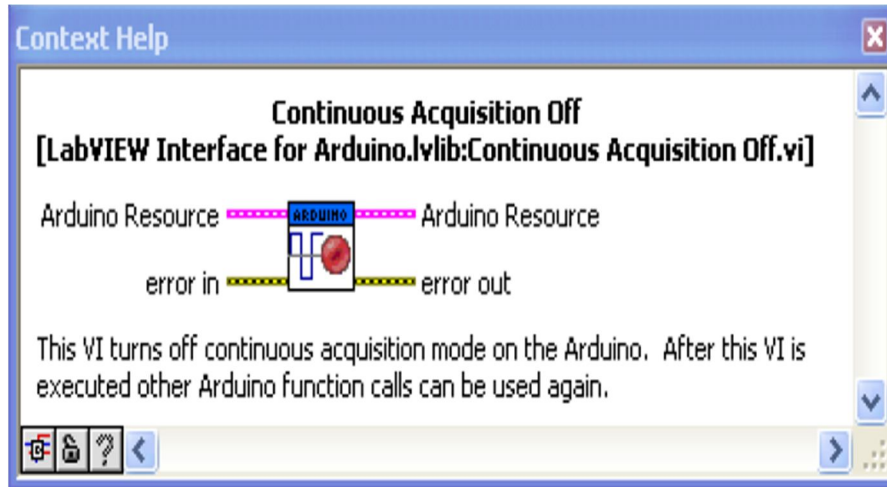
Figura 65. Adquisición continua de datos.



Fuente: Autores

- **Detiene la adquisición continua de los datos:** Permite desactivar la lectura de datos en una entrada analógica (Figura 66).

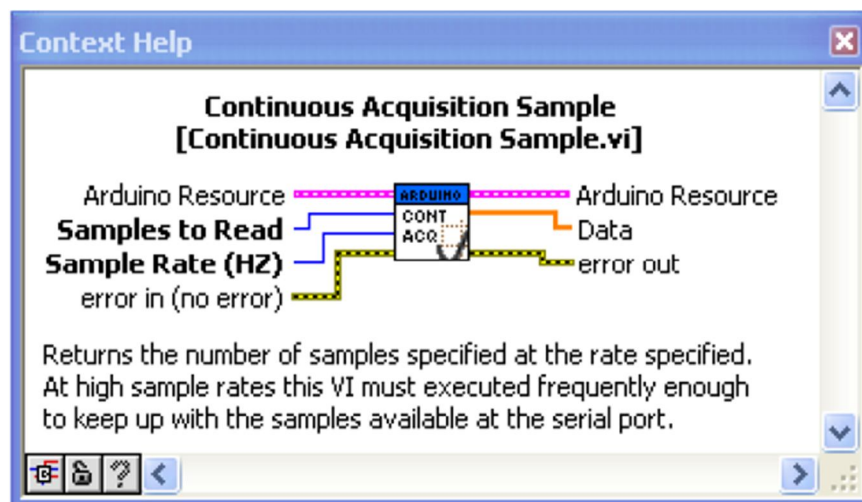
Figura 66. Detiene la adquisición continua de los datos.



Fuente: Autores

- **Adquisición de un número de muestras de valor:** Lee un determinado número de veces (muestras) un canal de entrada analógica con una frecuencia de barrido determinada por el usuario (Figura 67).

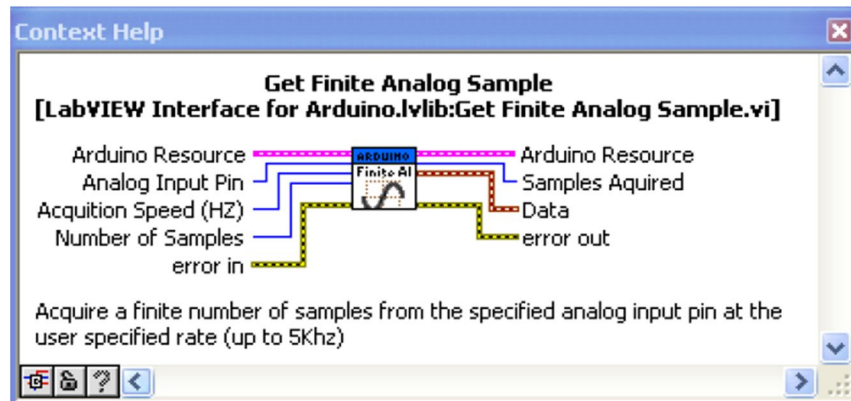
Figura 67. Adquisición de un número de muestras de valor.



Fuente: Autores

- **Recoge un número finito de muestras de datos:** Recoge un determinado número de muestras por un Pin analógico devolviendo un array de datos con los valores (Figura 68).

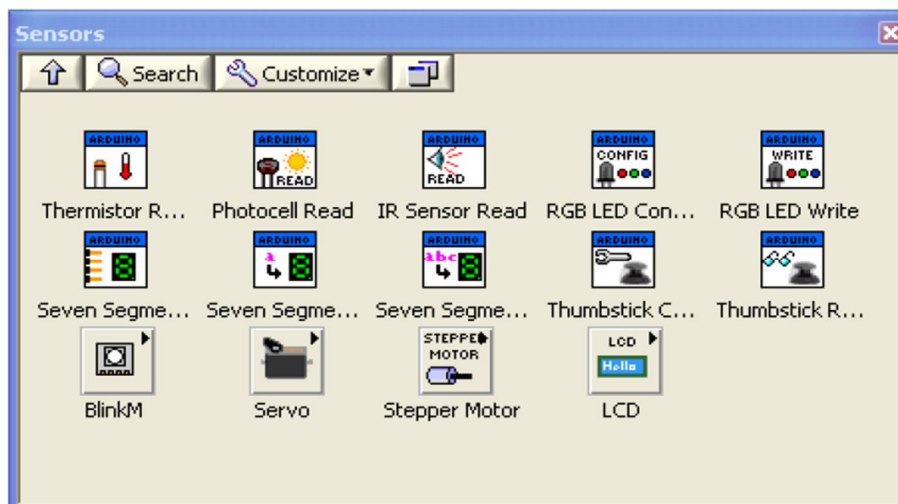
Figura 68. Recoge un número finito de muestras de datos.



Fuente: Autores

- **Librería sensores:** En esta librería se ofrece una amplia colección de bloques de función que permiten la configuración de la conexión de señores a la tarjeta Arduino (Figura 69).

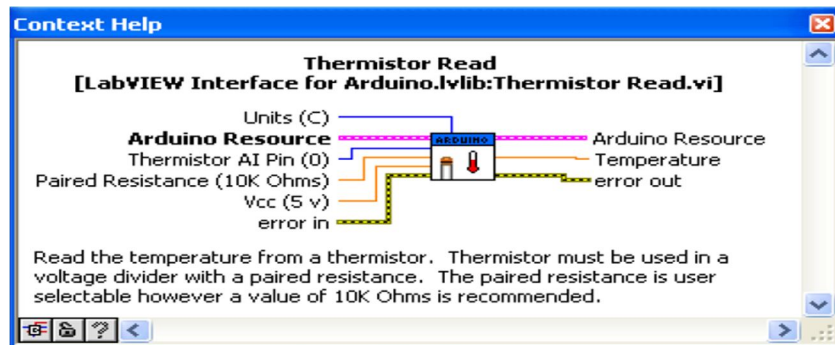
Figura 69. Librería Sensores.



Fuente: Autores

- **Lee el valor de un sensor de temperatura:** Permite la configuración del PIN en el que se colocara el sensor así como el valor de la resistencia divisora de tensión que conectemos con el fin de realizar el escalado de la medida y también la posibilidad de establecer una tensión de referencia distinta a los 5 vcc que por defecto toma. Devuelve un valor de tipo Double equivalente a la temperatura medida (Figura 70).

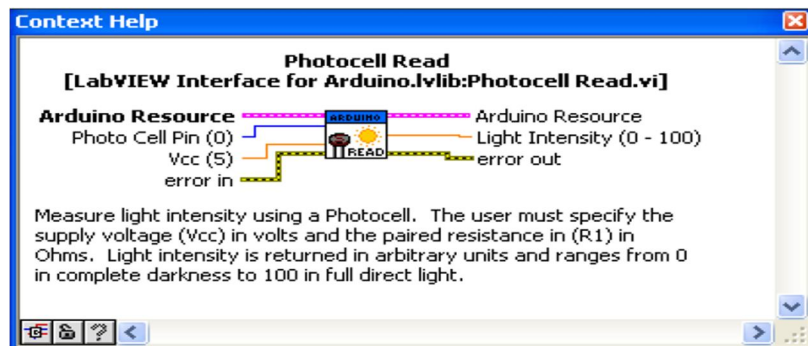
Figura 70. Lee el valor de un sensor de temperatura.



Fuente: Autores

- **Lee el valor de un sensor de Luz:** Permite la configuración del PIN en el que se colocara el sensor así como él y también la posibilidad de establecer una tensión de referencia distinta a los 5 vcc que por defecto toma. Devuelve un valor de tipo Double entre 0-100 equivalente a la cantidad de luz medida (Figura 71).

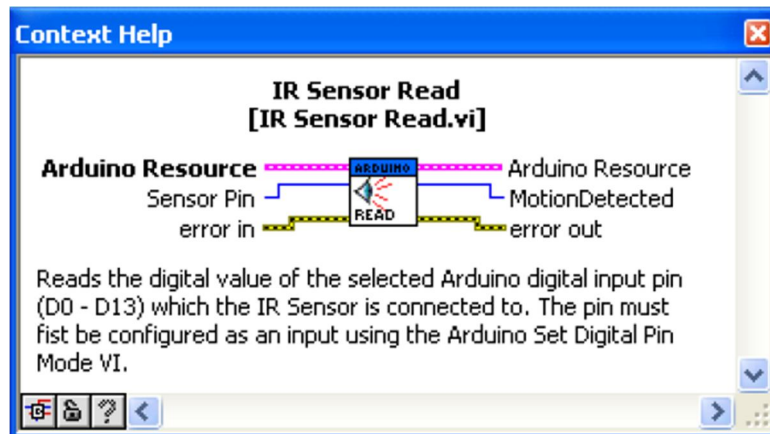
Figura 71. Lector del valor de un sensor de luz.



Fuente: Autores

- **Lee el valor de un sensor de Infrarrojos:** Permite la configuración del PIN en el que se colocara el sensor. Devuelve un valor de tipo Integer equivalente a la temperatura medida (Figura 72).

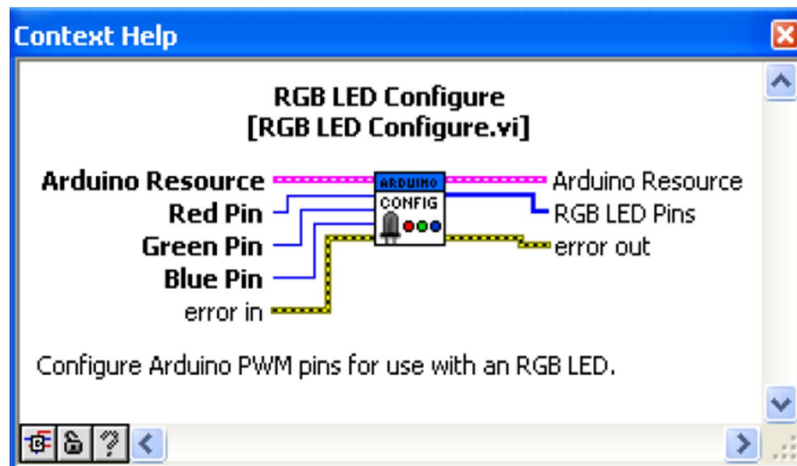
Figura 72. Lee el valor de un sensor de Infrarrojos.



Fuentes: Autores

- **Configura un led RGB:** Se designan los pins para salida de cada color (Figura 73).

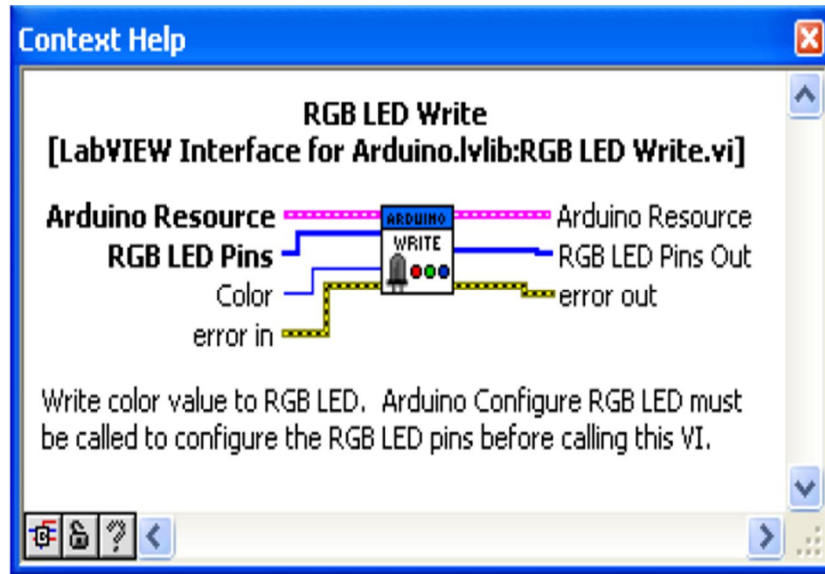
Figura 73. Configura un led RGB.



Fuente: Autores

- **Escribe en un led RGB:** Se escribe el valor Color sobre un led RGB en los pines designados RGB LED Pins (Figura 74).

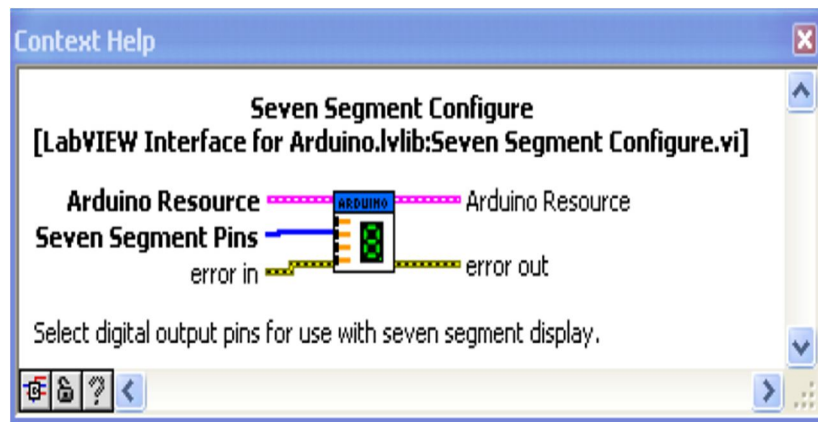
Figura 74. Escribe en un LED RGB.



Fuentes: Autores

- **Configura un display de siete segmentos** (Figura 75)

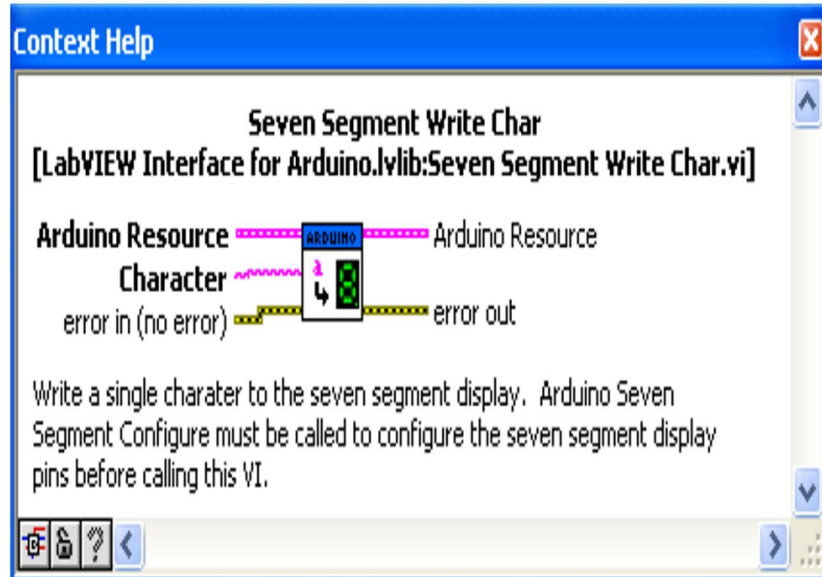
Figura 75. Configura un display de siete segmentos.



Fuente: Autores.

- **Escribe un carácter en un display de siete segmentos (Figura 76).**

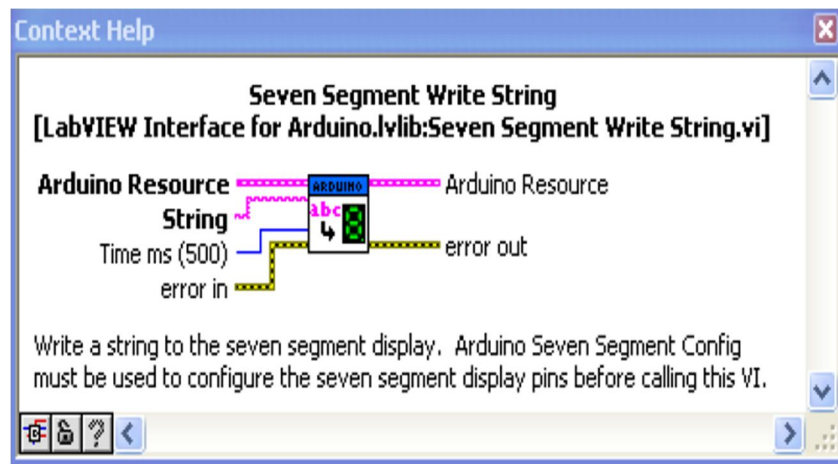
Figura 76. Escribe un carácter en un display de siete segmentos.



Fuente: Autores

- **Escribe un String en un display de siete segmentos (Figura 77)**

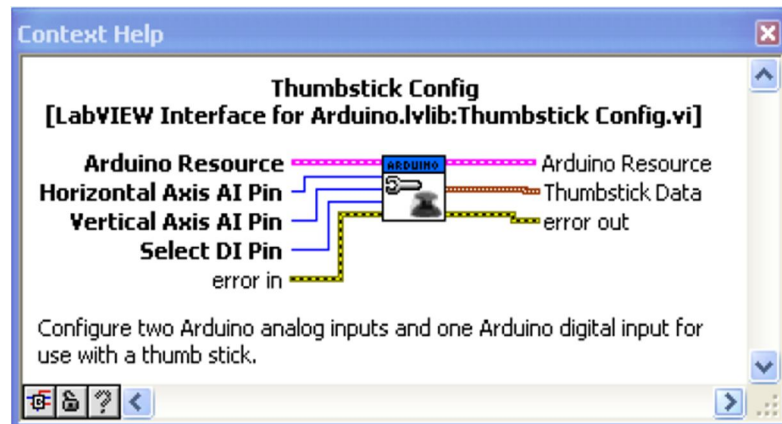
Figura 77. Escribe un String en un display de siete segmentos.



Fuente: Autores.

- **Configura un joystick:** Se designan los pines analógicos para el eje X y el eje Y así como la entrada digital para el botón de selección. Genera una señal de salida en forma de cláster de 3 elementos (Figura 78)

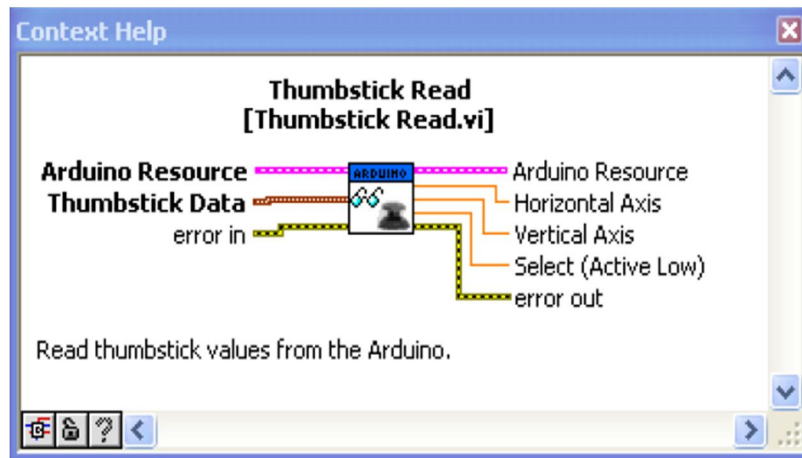
Figura 78. Configura un joystick.



Fuente: Autores

- **Lee valores de un joystick:** Lee los valores y los presenta en las salidas correspondientes a los ejes X e Y y Selección (Figura 79).

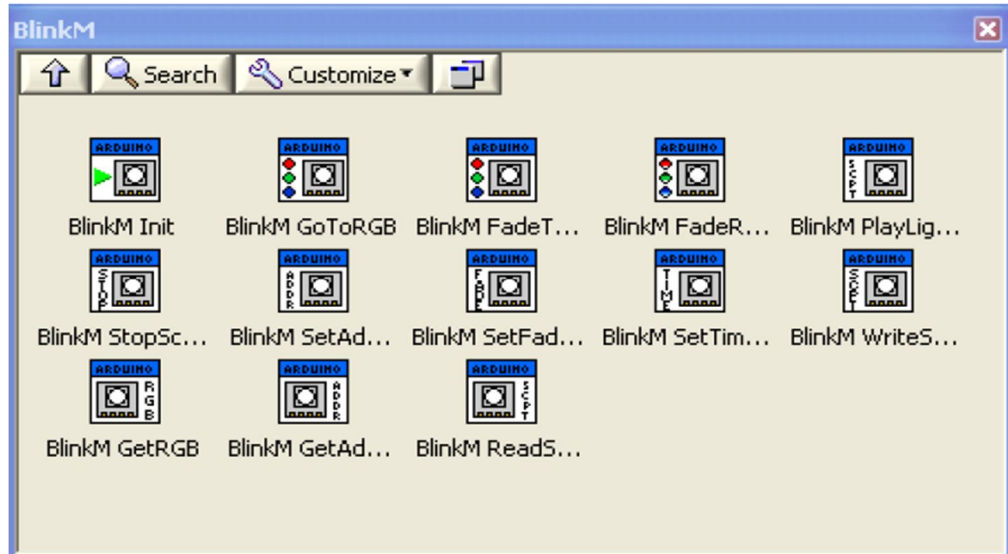
Figura 79. Lee valores de un joystick.



Fuente: Autores

- **Librería BlinkM:** Esta librería sirve para el manejo de elementos luminosos tipo BlinkM (Figura 80).

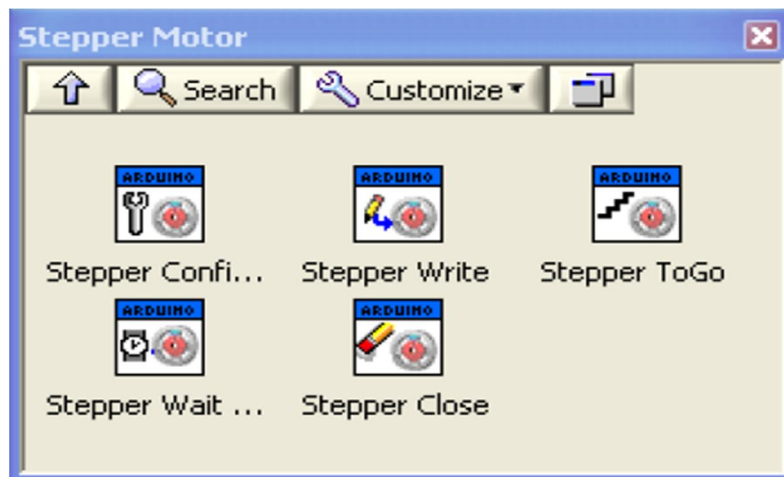
Figura 80. Librería BlinkM.



Fuente: Autores

- **Librería Stepper Motor:** Librería para control de motores paso a paso (Figura 81).

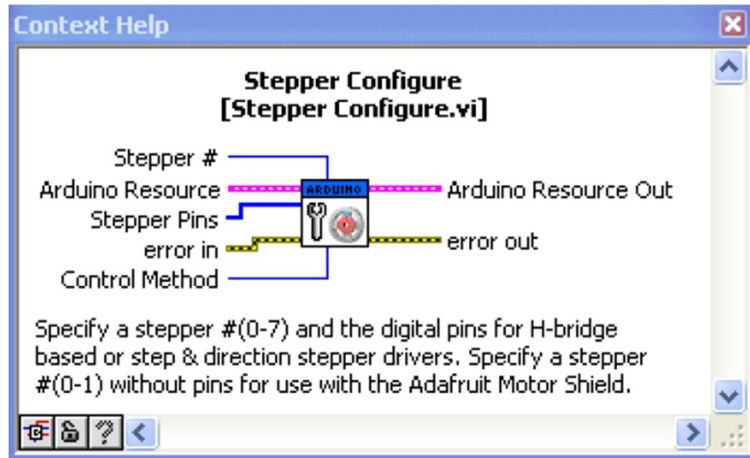
Figura 81. Librería Stepper Motor.



Fuente: Autores

- **Configura motor paso a paso:** Especifica una salida para conectar un motor (Figura 82).

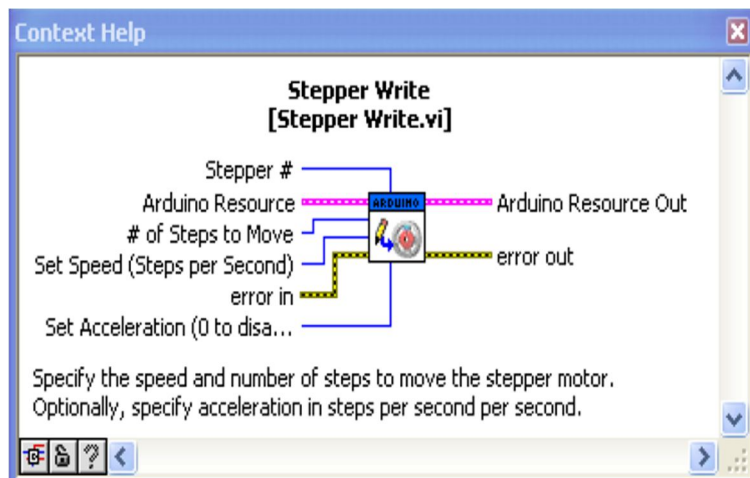
Figura 82. Configura motor paso a paso.



Fuente: Autores

- **Escribe valores sobre un motor paso a paso:** Escribe el número de pasos a girar y la velocidad de generación de pasos, así como el motor a activar (Figura 83).

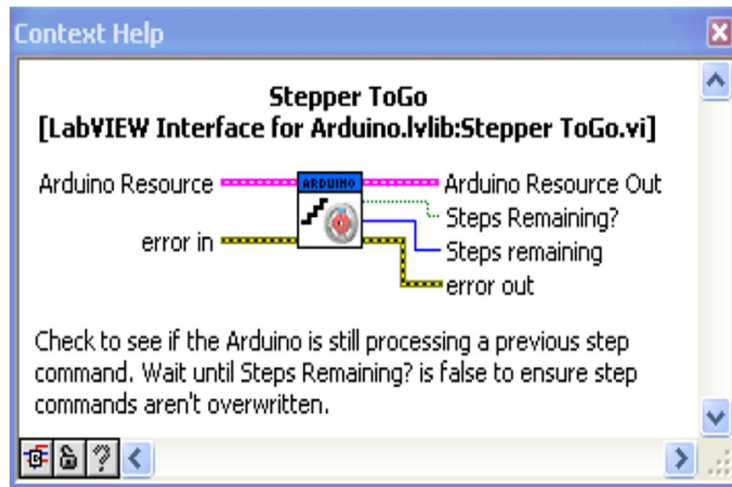
Figura 83. Escribe valores sobre un motor paso a paso.



Fuente: Autores

- **Confirmación de funcionamiento del motor paso a paso:** Indica en su salida el número de pasos que faltan para alcanzar la consigna dada (Figura 84).

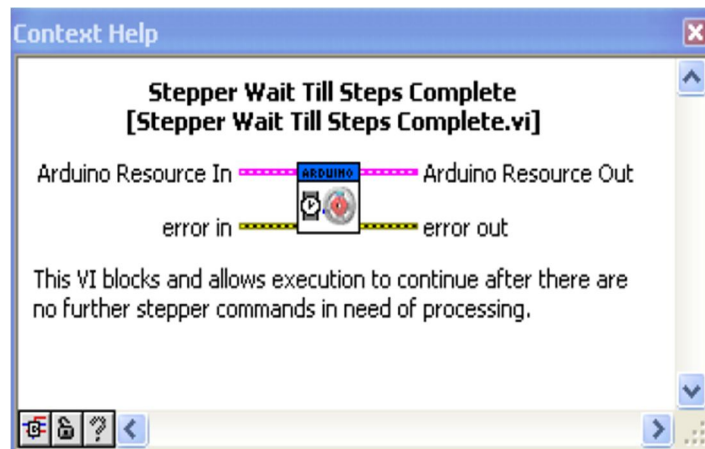
Figura 84. Confirmación de funcionamiento del motor paso a paso.



Fuente: Autores

- **Espera la consecución de todos los pasos consignados para el giro** (Figura 85).

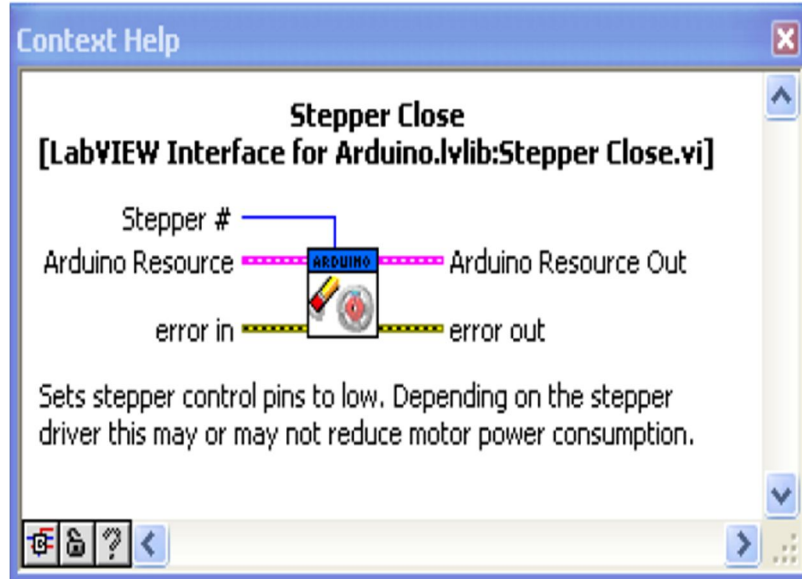
Figura 85. . Espera la consecución de todos los pasos consignados para el giro.



Fuente: Autores

- **Cierra el gobierno del motor paso a paso** (Figura 86).

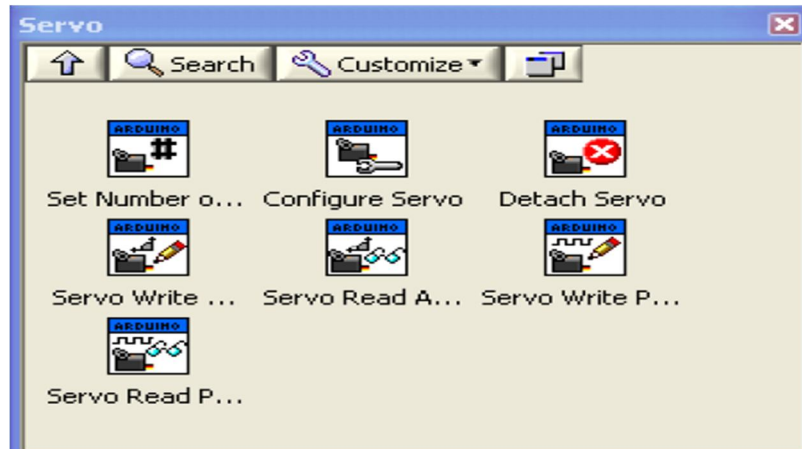
Figura 86. Cierra el gobierno del motor paso a paso.



Fuente: Autores.

- **Librerías de Servos** (Figura 87).

Figura 87. Librería de Servos.

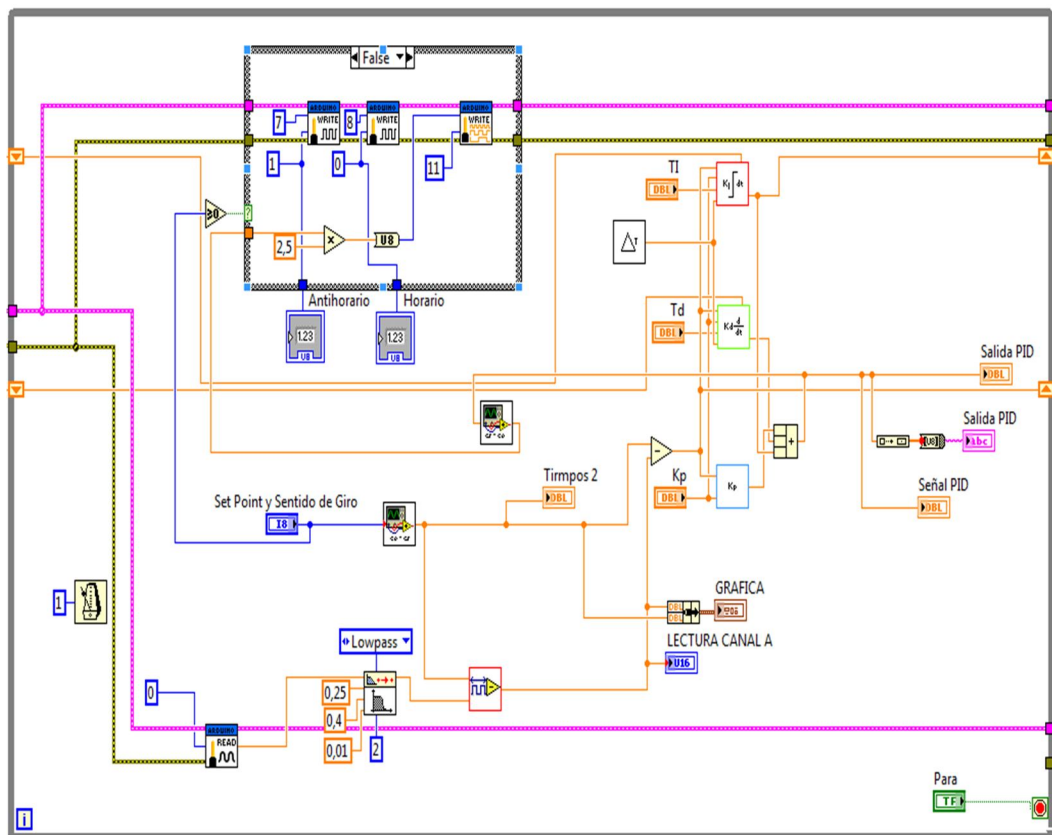


Fuente: Autores

5.3. CONTROL PID PARA MOTOR DC

En esta parte del trabajo de grado estará dedicada a la programación del controlador en LabVIEW y la comunicación USB al ordenador atreves de la tarjeta arduino.

Figura 88. Estructura de programación.

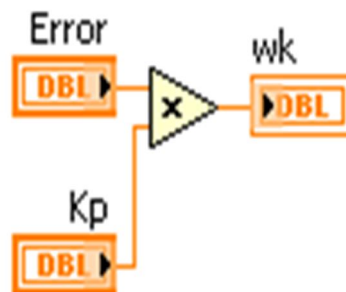


Fuente: Autores

Para comenzar explicare la estructura del programa en LabView (Figura 88), el programa está compuesto por un While Loop que permite ejecutar iteraciones continuamente, al inicio del programa se establece la configuración del COM virtual con el que se va a comunicar el programa, es decir datos como el nombre del puerto, velocidad de transmisión y numero de bits en la transmisión. Dentro del

While Loop se establece la apertura del puerto y el tamaño del buffer de recepción, luego se hace la recepción de datos al "int" para ser usado en el PID. En la programación se usaron subVIs para cada uno de los controladores separados y luego sumar su resultado.

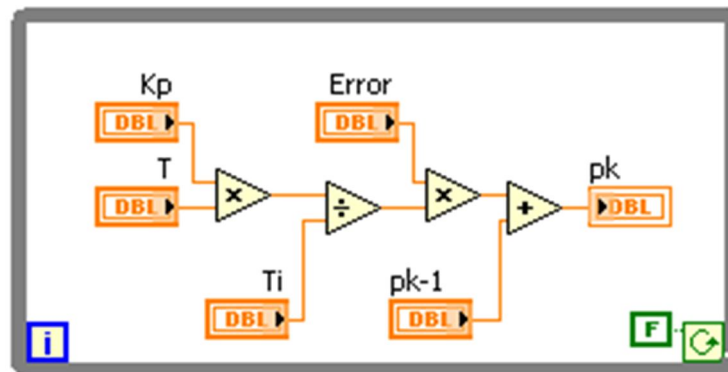
Figura 89. Programación proporcional.



Fuente: Autores

El primer controlador es el Proporcional, según la teoría este corresponde únicamente a el error multiplicado por una constante, es decir $w_k = K_p \cdot \text{Error}$ (Figura 89). El error es calculado en el programa principal restando el valor muestreado del valor del set point.

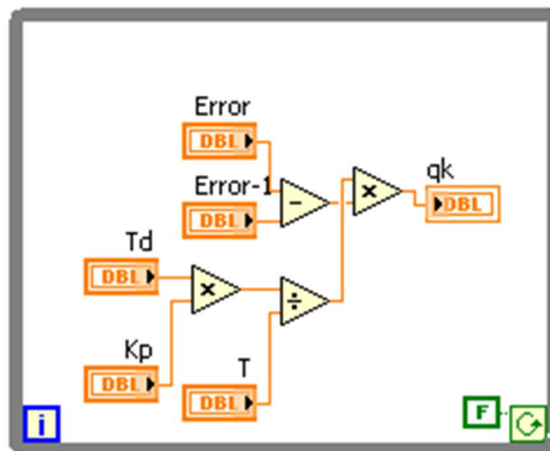
Figura 90. Programación integral.



Fuente: Autores

El controlador Integral es más complejo que el Proporcional, en este se tienen en cuenta el tiempo de muestreo, una constante o tiempo de integración, nuevamente el error, la constante de proporcionalidad y la salida del controlador en la iteración anterior (esta se establece en el programa principal). De esta forma se cumple la fórmula $p_k = ((k_p * t / t_i) * \text{Error}) + p_{k-1}$ de donde p_k es la salida del controlador, k_p es la constante de proporcionalidad, T es el tiempo de muestreo, T_i es el tiempo de integración, el error y p_{k-1} es el valor del controlador en ciclo inmediatamente anterior (Figura 90).

Figura 91. Programación derivativa.



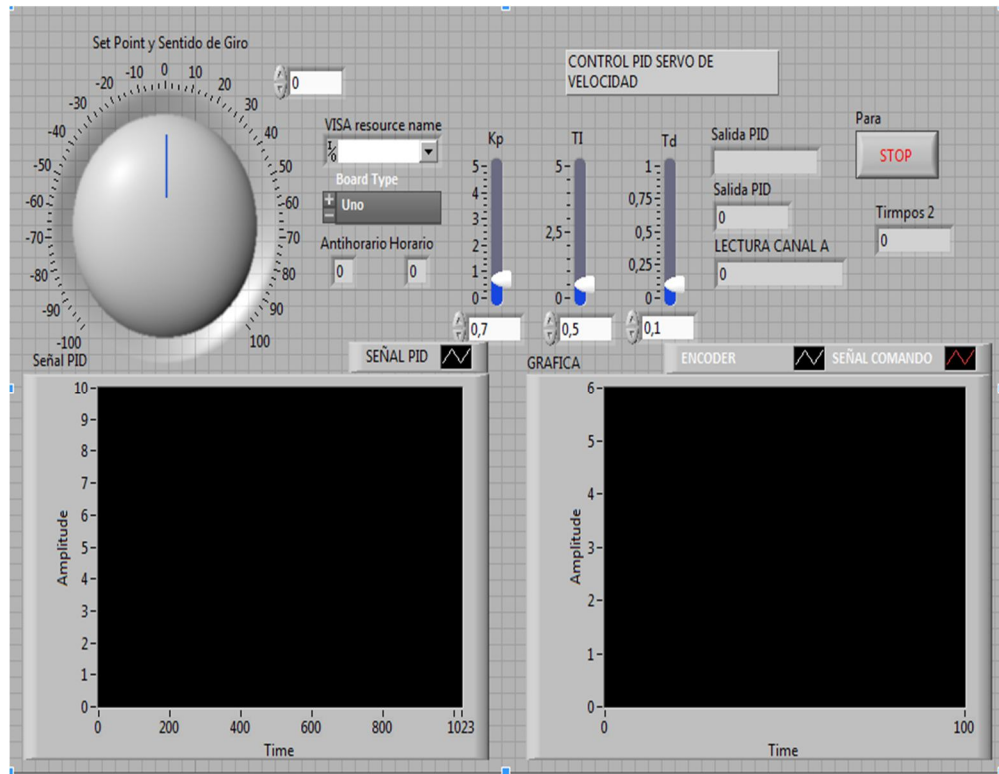
Fuente: Autores

El controlador Derivativo tiene la siguiente ecuación $q_k = (t_d * k_p / t) * (\text{error} - (\text{error} - 1))$, en esta ecuación se tiene a q_k que es la salida del controlador, t_d que corresponde al tiempo de derivación, k_p es la constante de proporcionalidad, t el periodo de muestreo, el error y error-1 el valor del error en el ciclo inmediatamente anterior (Figura 91).

Luego de los valores de los controladores son sumados y enviados al arduino donde este valor se verá reflejado en el ciclo de trabajo del PWM que controla el motor. Para evitar posibles ambigüedades en el ciclo de trabajo del PWM se hace

una restricción en la que si el valor del PID es superior a 255 el PWM será de 255 y si es inferior a 0 el PWM será de 0.

Figura 92. Panel frontal de PID.



Fuente: Autores

En el panel frontal (Figura 92) se pueden visualizar y modificar el set point y cada una de las constantes (k_p , t_i y t_d), además una gráfica de la velocidad conjunto al set point y una de la salida del PID. El arduino hace la lectura de la velocidad del motor, establece la comunicación USB, recibe el valor del PID y varía el ciclo útil del PWM.

6. PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en las pruebas realizadas del servo de velocidad y posición, se muestra la metodología utilizada para encontrar las constantes del PID y el comportamiento de las señales con respecto a estas.

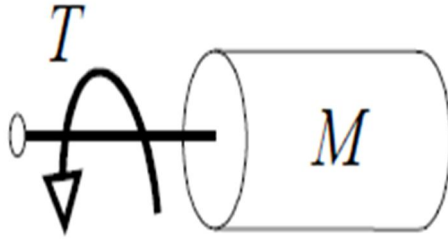
6.1. MODELO MATEMÁTICO DEL SISTEMA

En este capítulo nos centraremos en la determinación del modelo matemático que describa el comportamiento del sistema de engranajes, tendremos en cuenta que los movimientos de los sistemas mecánicos se pueden describir como de traslación o de rotación o de una combinación de ambos y las ecuaciones que gobiernan los sistemas mecánicos están formuladas por la ley de movimiento de Newton.

Para este sistemas nos centraremos en el movimiento de rotación, este se definen como extensión de la ley de Newton: La suma algebraica de momentos o pares alrededor de un eje fijo es igual al producto de la inercia por la aceleración angular alrededor de un eje. Los elementos bases constitutivos son: el momento de inercia, el resorte tensional y la fricción viscosa.

La Inercia (J_c) se considera a la propiedad de un elemento de almacenar energía cinética del movimiento de rotación, ver (figura 93).

Figura 93. Momento de inercia de un cilindro.



Fuente: Autores

$$T = J_c \alpha = J_c \dot{\omega} = J_c \ddot{\theta}$$

$$J_c = \sum_i m_i r_i^2$$

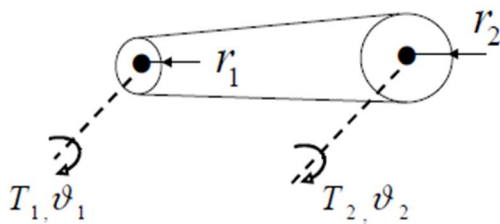
$$J_c = \frac{1}{2} M r^2$$

(Momento de inercia disco)

Donde r es el radio del cilindro de masa M y α , ω y θ son la aceleración, velocidad y desplazamiento angular respectivamente del cilindro.

Para nuestro sistema mecánico contamos con un sistema de cadena, Las cadenas permiten transmitir la energía mecánica a mayor distancia que los trenes de engranajes (figura 94). Sin embargo, son menos precisas en su transmisión y tienen mayores pérdidas. Para su modelado, se supone que no hay deslizamientos entre la cinta y las poleas, las ecuaciones son similares a la de los trenes de engranajes.

Figura 94. Transmisión por cadena.



Fuente: Autores

$$\dot{\vartheta}_1 r_1 = \dot{\vartheta}_2 r_2$$

$$T_1 \dot{\vartheta}_1 = T_2 \dot{\vartheta}_2$$

En nuestro sistema contamos con un tren de engranajes, en los trenes de engranajes las velocidades angulares de los motores suelen ser mucho más elevada que el nivel de rotación que hay que dar a la carga. O por el contrario, el par necesario en la carga es bastante más alto que el dado por el motor. Para adaptar la potencia mecánica entregada por el motor a la carga se hace uso de los trenes de engranajes. Estos sistemas mecánicos transmiten la energía de un punto a otro, adaptando la velocidad angular y el par mecánico. En la analogía eléctrica, los trenes de engranajes hacen el mismo papel que los transformadores eléctricos. En los transformadores, la potencia eléctrica es prácticamente igual en la entrada y en la salida y su función es adaptar los niveles de tensión y corriente. Los trenes de engranajes transmiten la potencia mecánica, casi sin pérdidas, y adaptan la velocidad angular y el par de la entrada a la salida.

El modelado ideal de los trenes de engranajes se hace a partir de tres supuestos:

1. El número de dientes sobre la superficie de los engranajes, N_1 y N_2 , es proporcional a los radios r_1 y r_2 :

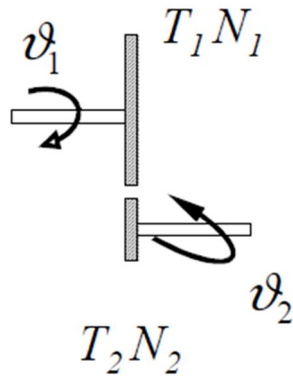
$$\frac{r_1}{N_1} = \frac{r_2}{N_2}$$

2. La distancia recorrida por la periferia de cada engranaje es la misma, igualando las circunferencias de ambas según el desplazamiento angular dado para un tiempo determinado, $\dot{\vartheta}_1$ y $\dot{\vartheta}_2$:

$$\dot{\vartheta}_1 r_1 = \dot{\vartheta}_2 r_2$$

3. La potencia transmitida en la entrada en un engranaje es igual al que se da en la salida, ya que se supone que no hay pérdidas:

Figura 95. Potencia transmitida.



$$T_1 \dot{\vartheta}_1 = T_2 \dot{\vartheta}_2$$

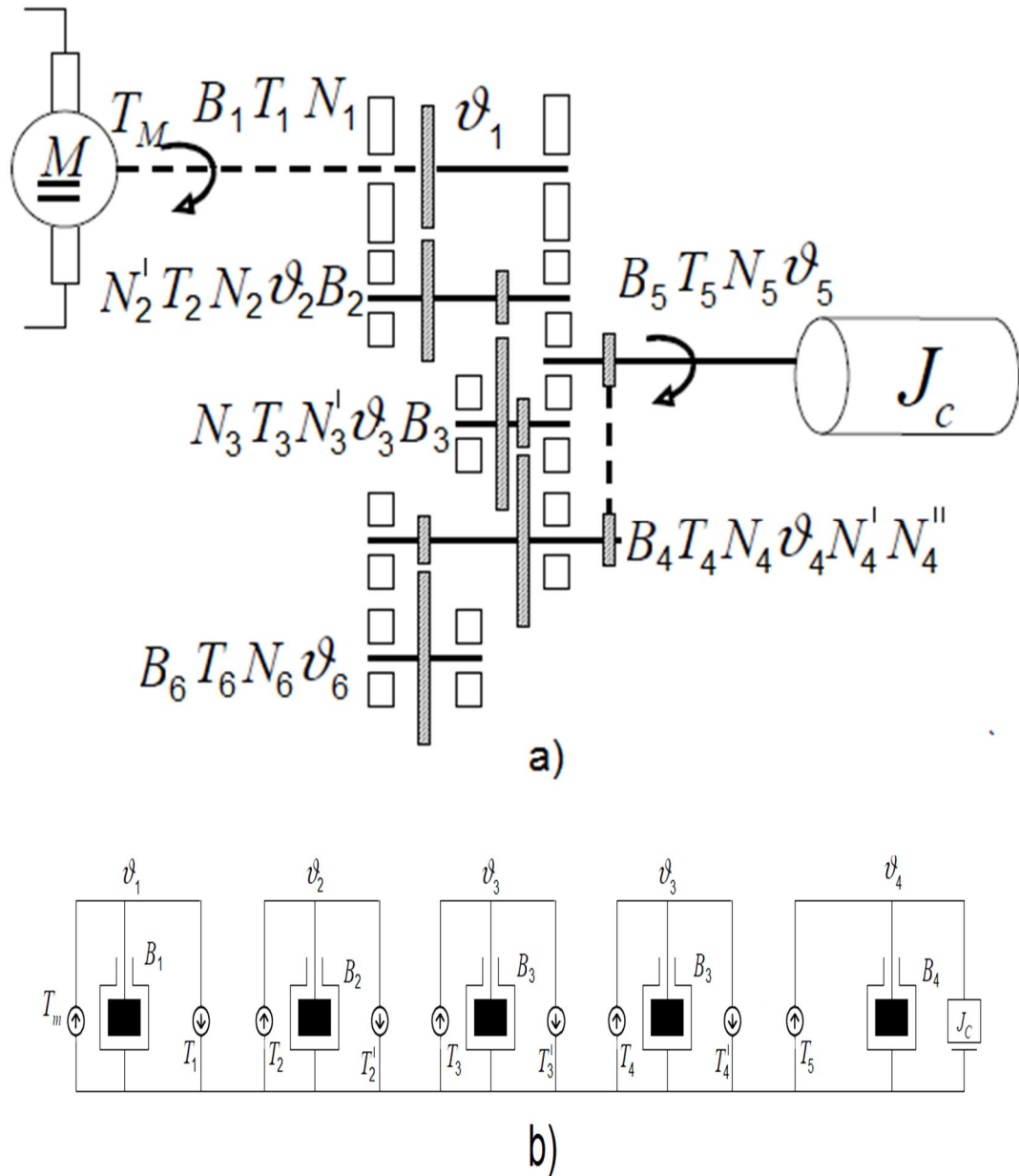
Fuente: Autores

A partir de estos tres supuestos se consiguen las siguientes razones, nótese que las relaciones de desplazamiento angular entre los engranajes, ϑ_i , son idénticas a sus necesidades, ω_i :

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{\dot{\vartheta}_2}{\dot{\vartheta}_1} = \frac{r_1}{r_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{\omega_2}{\omega_1}$$

Los trenes de engranajes reales se modelan como ideales acompañados de unas pérdidas debidas a los rozamientos. En la (figura 96) se muestra una representación simplificada, constituida por un arrastre de una carga por parte de un motor eléctrico a través de un tren de engranajes.

Figura 96. a) Modelo del sistema de engranajes real b) Circuito equivalente.



Fuente: Autores

La potencia dada por el motor se transmitirá por el tren de engranajes y habrá pérdidas por los rozamientos. Introduciendo el análisis de la salida, el par mecánico transmitido e igualándolo al momento de inercia de la carga y a la fricción viscosa producida en los cojinetes de salida y las razones del tren, se trasladará la carga a la entrada y quedará definida su ecuación dinámica :

$$T_M = \dot{v}_1 B_1 + T_1 \quad (1)$$

$$T_2 = \dot{v}_2 B_2 + T'_2 \quad (2)$$

$$T_3 = \dot{v}_3 B_3 + T'_3 \quad (3)$$

$$T_4 = \dot{v}_4 B_4 + T'_4 \quad (4)$$

$$T_5 = J_C \ddot{v}_5 + B_5 \dot{v}_5 \quad (5)$$

$$T_1 = \frac{N_1}{N_2} T_2 \quad (6)$$

$$T'_2 = \frac{N'_2}{N_3} T_3 \quad (7)$$

$$T'_3 = \frac{N'_3}{N_4} T_4 \quad (8)$$

$$T'_4 = \frac{N'_4}{N_5} T_5 \quad (9)$$

$$\dot{v}_2 = \frac{N_1}{N_2} \dot{v}_1 \quad (10)$$

$$\dot{v}_3 = \frac{N'_2}{N_3} \dot{v}_2 \quad (11)$$

$$\dot{v}_4 = \frac{N'_3}{N_4} \dot{v}_3 \quad (12)$$

$$\dot{v}_5 = \frac{N'_4}{N_5} \dot{v}_4 \quad (13)$$

$$\ddot{v}_5 = \frac{N'_4}{N_5} \ddot{v}_4 \quad (14)$$

$$\dot{v}_3 = \frac{N'_2}{N_2} \frac{N_1}{N_3} \dot{v}_1 \quad (16)$$

$$\dot{v}_4 = \frac{N'_2}{N_2} \frac{N'_3}{N_3} \frac{N_1}{N_4} \dot{v}_1 \quad (17)$$

$$\dot{v}_5 = \frac{N'_2}{N_2} \frac{N'_3}{N_3} \frac{N'_4}{N_4} \frac{N_1}{N_5} \dot{v}_1 \quad (18)$$

➤ Reacomodando las ecuaciones anteriores en función de \dot{v}_1 :

$$\dot{v}_5 = \frac{N'_2}{N_2} \frac{N'_3}{N_3} \frac{N'_4}{N_4} \frac{N_1}{N_5} \dot{v}_1 \quad (15)$$

➤ Sustituyendo en las ecuaciones y combinando las ecuaciones anteriores obtenemos:

* 6 → 1

$$T_M = \dot{v}_1 B_1 + \frac{N_1}{N_2} T_2 \quad .a)$$

* 2 → a)

$$T_M = \dot{v}_1 B_1 + \frac{N_1}{N_2} \dot{v}_2 B_2 + \frac{N_1}{N_2} T'_2 \quad .b)$$

* 10 → b)

$$T_M = \dot{v}_1 B_1 + \frac{N_1}{N_2} \frac{N_1}{N_2} \dot{v}_1 B_2 + \frac{N_1}{N_2} T'_2 \quad .c)$$

* 7 → c)

$$T_M = \dot{v}_1 B_1 + \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \dot{v}_1 B_2 + \frac{N'_2 N_1}{N_2 N_3} T_3 \quad .d)$$

* 3 → d)

$$T_M = \dot{v}_1 B_1 + \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \dot{v}_1 B_2 + \frac{N'_2 N_1}{N_2 N_3} \dot{v}_3 B_3 + \frac{N'_2 N_1}{N_2 N_3} T'_3 \quad .e)$$

* 16 → e

$$T_M = \dot{v}_1 B_1 + \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \dot{v}_1 B_2 + \left(\frac{N_1}{N_3}\right)^2 \left(\frac{N'_2}{N_2}\right)^2 \dot{v}_1 B_3 + \frac{N'_2 N_1}{N_2 N_3} T'_3 \quad .f)$$

* 8 → f)

$$T_M = \dot{v}_1 B_1 + \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \dot{v}_1 B_2 + \left(\frac{N_1}{N_3}\right)^2 \left(\frac{N'_2}{N_2}\right)^2 \dot{v}_1 B_3 + \frac{N'_2 N'_3 N_1}{N_2 N_3 N_4} T_4 \quad .g)$$

* 4 → g)

$$T_M = \dot{v}_1 B_1 + \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \dot{v}_1 B_2 + \left(\frac{N_1}{N_3}\right)^2 \left(\frac{N'_2}{N_2}\right)^2 \dot{v}_1 B_3 + \frac{N'_2 N'_3 N_1}{N_2 N_3 N_4} \dot{v}_4 B_4 + \frac{N'_2 N'_3 N_1}{N_2 N_3 N_4} T'_4 \quad .h)$$

* 17 → h)

$$T_M = \dot{v}_1 B_1 + \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \dot{v}_1 B_2 + \left(\frac{N_1}{N_3}\right)^2 \left(\frac{N'_2}{N_2}\right)^2 \dot{v}_1 B_3 + \left(\frac{N'_2}{N_2}\right)^2 \left(\frac{N'_3}{N_3}\right)^2 \left(\frac{N_1}{N_4}\right)^2 \dot{v}_1 B_4 + \frac{N'_2 N'_3 N_1}{N_2 N_3 N_4} T'_4 \quad .i)$$

* 9 → i)

$$T_M = \dot{v}_1 B_1 + \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \dot{v}_1 B_2 + \left(\frac{N_1}{N_3}\right)^2 \left(\frac{N'_2}{N_2}\right)^2 \dot{v}_1 B_3 + \left(\frac{N'_2}{N_2}\right)^2 \left(\frac{N'_3}{N_3}\right)^2 \left(\frac{N_1}{N_4}\right)^2 \dot{v}_1 B_4 + \frac{N'_2 N'_3 N'_4 N_1}{N_2 N_3 N_4 N_5} T_5 \quad .j)$$

* 5 → j)

$$T_M = \dot{v}_1 B_1 + \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \dot{v}_1 B_2 + \left(\frac{N_1}{N_3}\right)^2 \left(\frac{N'_2}{N_2}\right)^2 \dot{v}_1 B_3 + \left(\frac{N'_2}{N_2}\right)^2 \left(\frac{N'_3}{N_3}\right)^2 \left(\frac{N_1}{N_4}\right)^2 \dot{v}_1 B_4 + \frac{N'_2 N'_3 N'_4 N_1}{N_2 N_3 N_4 N_5} J_C \ddot{v}_5 + \frac{N'_2 N'_3 N'_4 N_1}{N_2 N_3 N_4 N_5} B_5 \dot{v}_5 \quad k)$$

* 15 → k)

$$T_M = \dot{v}_1 B_1 + \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \dot{v}_1 B_2 + \left(\frac{N_1}{N_3}\right)^2 \left(\frac{N'_2}{N_2}\right)^2 \dot{v}_1 B_3 + \left(\frac{N'_2}{N_2}\right)^2 \left(\frac{N'_3}{N_3}\right)^2 \left(\frac{N_1}{N_4}\right)^2 \dot{v}_1 B_4 + \left(\frac{N'_2}{N_2}\right)^2 \left(\frac{N'_3}{N_3}\right)^2 \left(\frac{N'_4}{N_4}\right)^2 \left(\frac{N_1}{N_5}\right)^2 \dot{v}_1 J_C + \frac{N'_2 N'_3 N'_4 N_1}{N_2 N_3 N_4 N_5} B_5 \dot{v}_5 \quad .l)$$

* 18 → l) Finalmente obtenemos la ecuación característica del sistema:

$$T_M = \dot{v}_1 B_1 + \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \dot{v}_1 B_2 + \left(\frac{N_1}{N_3}\right)^2 \left(\frac{N'_2}{N_2}\right)^2 \dot{v}_1 B_3 + \left(\frac{N'_2}{N_2}\right)^2 \left(\frac{N'_3}{N_3}\right)^2 \left(\frac{N_1}{N_4}\right)^2 \dot{v}_1 B_4 \\ + \left(\frac{N'_2}{N_2}\right)^2 \left(\frac{N'_3}{N_3}\right)^2 \left(\frac{N'_4}{N_4}\right)^2 \left(\frac{N_1}{N_5}\right)^2 \dot{v}_1 J_C + \left(\frac{N'_2}{N_2}\right)^2 \left(\frac{N'_3}{N_3}\right)^2 \left(\frac{N'_4}{N_4}\right)^2 \left(\frac{N_1}{N_5}\right)^2 \dot{v}_1 B_5$$

Los elementos de modelado de la salida, el momento de inercia de la carga y los rozamientos de salida, son vistos desde la entrada como otros equivalentes ponderados por la relación del tren de engranajes.

6.2. CINÉTICA DE TREN DE ENGRANAJES

6.2.1. Análisis de velocidad para tren de engranajes

Para engranes acoplados el movimiento rotacional y la potencia deben transmitidos desde un engranaje impulsor hasta el engranaje impulsado con un movimiento positivo suave y uniforme, y con poca pérdida debido a la fricción. En la ley fundamental de los engranajes se estipula que la normal común para el perfil de los dientes en un punto de contacto siempre debe pasar a través de un punto fijo, denominado, punto de paso, con el objetivo de mantener una razón constante de la velocidad de los dientes en los dos engranajes de acoplamiento.

Esto con lleva que la velocidad en este punto debe ser la misma para el engranaje y el Piñón.

$$r_p \omega_p = r_g \omega_g$$

Un tren de engranajes compuesto al menos un eje soporta uno o más engranajes en este tipo de tren de engranajes están sincronizados con sus respectivos ejes, de manera que las velocidades angulares de todos los engranajes son iguales en la del eje sobre el cual están montados. Las velocidades angulares de los ejes

adyacentes están regidas por la relación de engranajes del acoplamiento asociado.

Si Ω_i representa velocidad angular del eje i ésimo, entonces la ecuación se representa así:

$$\frac{\Omega_i}{\Omega_p} = -\frac{N_p}{N_g}$$

De aquí, la razón de la velocidad angular

$$Z_{i,n} = \frac{\Omega_i}{\Omega_n}$$

De aquí salen nuestras ecuaciones del tren de engranajes para el eje del servo de velocidad.

$$Z_{4,1} = \left(\frac{\Omega_4}{\Omega_3}\right) \left(\frac{\Omega_3}{\Omega_2}\right) \left(\frac{\Omega_2}{\Omega_1}\right) = \left(\frac{N_6}{N_5}\right) \left(\frac{N_4}{N_3}\right) \left(\frac{N_2}{N_1}\right) \rightarrow \frac{\Omega_4}{\Omega_1} = \frac{N_6 N_4 N_2}{N_5 N_3 N_1}$$

Donde N es el número de dientes de cada engranaje.

Tabla 3. Numero de dientes engranajes.

ENGRANAJE # 1 y 2		ENGRANAJE # 3		ENGRANAJE # 4,6 y 8	
DIAMETRO MEDIO	48	DIAMETRO MEDIO	25,6	DIAMETRO MEDIO	120
PASO DIAMETRAL	1,25	PASO DIAMETRAL	1,25	PASO DIAMETRAL	1,25
# DIENTES	60	# DIENTES	32	# DIENTES	150

ENGRANAJE # 5		ENGRANAJE # 7	
DIAMETRO MEDIO	13,6	DIAMETRO MEDIO	14,4
PASO DIAMETRAL	1,25	PASO DIAMETRAL	1,25
# DIENTES	17	# DIENTES	18

Fuente: Autores

$$\frac{\Omega_4}{\Omega_1} = \frac{60 * 150 * 150}{60 * 32 * 17} = \frac{1350000}{32640} = 41.036$$

$$Z_{4,1} = \frac{w_1}{w_4} \rightarrow w_4 = \frac{w_1}{41.036}$$

Tabla 4. Resultados de RPM en el volante.

RPM MOTOR	SALIDA RPM VOLANTE
2595	62,74133958
3040	73,50045176
3410	82,44623043
3590	86,79823086
3710	89,69956449
3815	92,23823141
3915	94,65600942
3996	96,61440962
4065	98,28267645
4129	99,83005438

Fuente: Autores

Calculando para el servo de posición.

$$Z_{5,1} = \left(\frac{\Omega_5}{\Omega_4}\right) \left(\frac{\Omega_4}{\Omega_3}\right) \left(\frac{\Omega_3}{\Omega_2}\right) \left(\frac{\Omega_2}{\Omega_1}\right) = \left(\frac{N_8}{N_7}\right) \left(\frac{N_6}{N_5}\right) \left(\frac{N_4}{N_3}\right) \left(\frac{N_2}{N_1}\right) \rightarrow \frac{\Omega_5}{\Omega_1} = \frac{N_8 N_6 N_4 N_2}{N_7 N_5 N_3 N_1}$$

$$\frac{\Omega_5}{\Omega_1} = \frac{60 * 150 * 150 * 150}{60 * 32 * 17 * 18} = \frac{3375000}{9792} = 344.6691$$

$$Z_{5,1} = \frac{w_1}{w_5} \rightarrow w_5 = \frac{w_1}{344.6691}$$

Tabla 5. Resultados de RPM en la regleta.

RPM MOTOR	SALIDA RPM REGLETA
2595	7,528960385
3040	8,820053785
3410	9,893547173
3590	10,4157872
3710	10,76394722
3815	11,06858723
3915	11,35872058
3996	11,59372859
4065	11,7939206
4129	11,97960595

Fuente: Autores

Con el volumen total del volante y la densidad del material (Cold Rolled)⁹

$$Densidad = 7.66 \times 10^{-3} \frac{Kg}{Cm^3}$$

$$Volumen volante = 158.7 Cm^3$$

El volante está compuesto de 3 segmentos.

$$Volumen cilindro hueco = \pi \times Altura \times (Radio Ext^2 - Radio Int^2)$$

$$Densidad = \frac{Masa}{Volumen}$$

Tabla 6. Resultado de Inercia total del volante.

Discos	Radio Int	Radio Ext	Altura	Masa	Volumen	Inercia
1	0,635 Cm	7,85 Cm	6,2 Cm	0,9091 Kg	120,028 Cm ³	28,3192 Kg/Cm ²
2	0,635 Cm	3,2 Cm	1 Cm	0,246 kg	32,167 Cm ³	1,261 Kg/Cm ²
3	0,635 Cm	1,2 Cm	1,43 Cm	0,049 Kg	6,469 Cm ³	0,035 Kg/Cm ²
INERCIA TOTAL DEL DISCO						29,615 Kg/Cm²

Fuente: Autores

⁹ http://www.agofer.com.co/sites/default/files/catalogo/Catalogo_productos_Agofer-Edicion_3-07-Laminas.pdf

$$Inercia\ Volante = \frac{Masa \times Radio\ vol.^2}{2} = 29,615 \frac{Kg}{Cm^2}$$

Convirtiendo los rpm en $\frac{Radianes}{segundos}$ encontramos la aceleración = $\frac{\Delta w}{\Delta t}$

Donde el $\Delta t = 1.5\ segundos$

Tabla 7. Resultado de Aceleración angular volante.

ACELERACIÓN VOLANTE	
4,380182054	RD/SEG^2
5,131311539	RD/SEG^2
5,755846167	RD/SEG^2
6,059673824	RD/SEG^2
6,262225595	RD/SEG^2
6,439458395	RD/SEG^2
6,608251538	RD/SEG^2
6,744973983	RD/SEG^2
6,861441252	RD/SEG^2
6,969468863	RD/SEG^2

Fuente: Autores

Y por la ecuación $Torque = Inercia \times Aceleracion\ angular$

Tabla 8. Resultado de Torque en el volante.

TORQUE	
0,01297241	N*MTS
0,01519696	N*MTS
0,0170466	N*MTS
0,01794642	N*MTS
0,0185463	N*MTS
0,01907119	N*MTS
0,01957109	N*MTS
0,01997601	N*MTS
0,02032094	N*MTS
0,02064088	N*MTS

Fuente: Autores

- **Simulación en herramienta CAD.**

Solid Works 2010.

En esta figura se observa en modelamiento del banco con el cual se pudo hacer una comparación entre los cálculos y las simulaciones y de este comenzar a construir un modelo real.

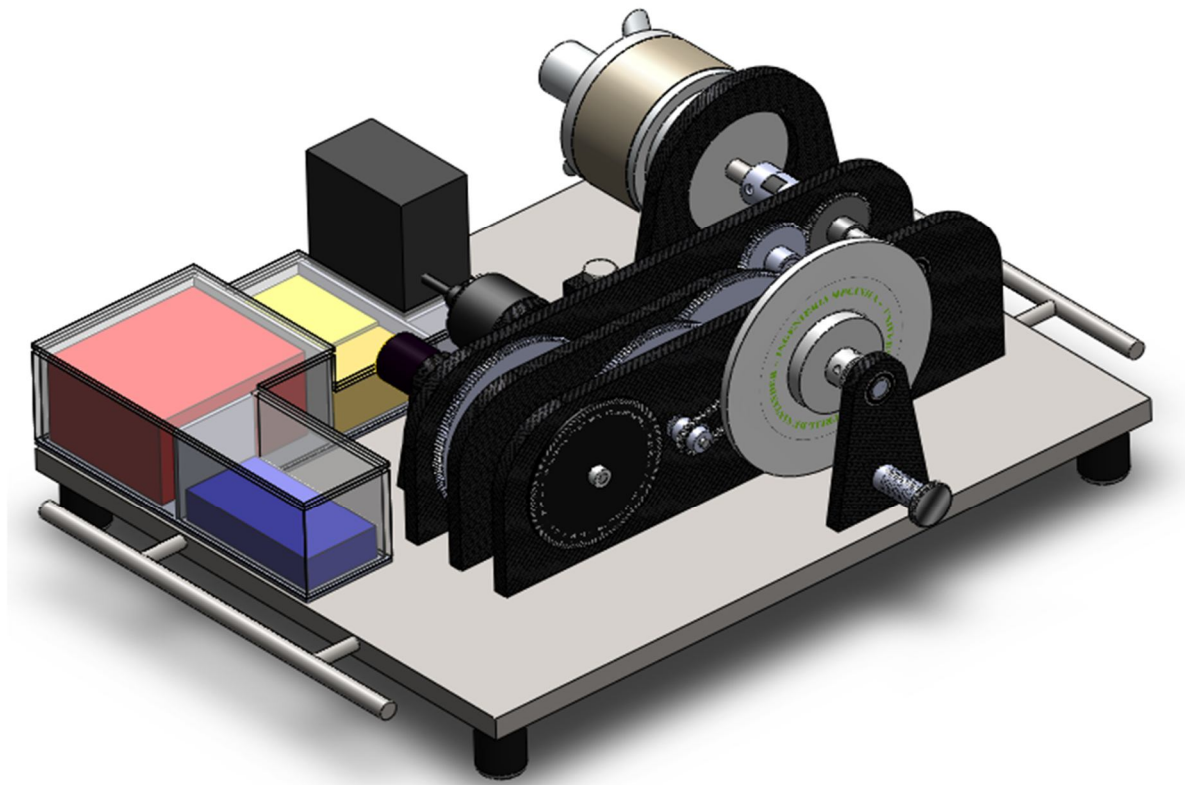
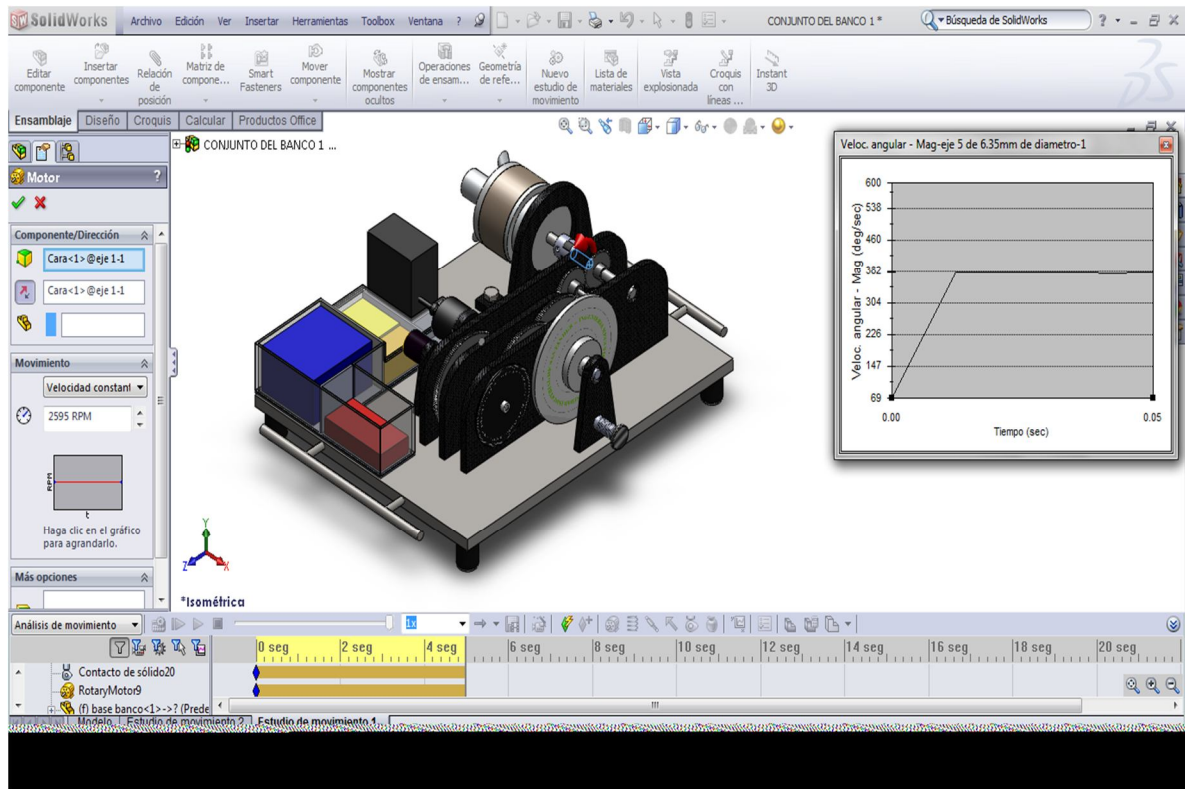


Figura 97. Esquema de la simulación.

Fuente: Autores

Figura 98. Simulación en Solidworks 2010.



Fuente: Autores

En este software se simulo el comportamiento de las velocidades en los ejes y se obtuvo un resultado el cual se comparó con nuestro modelo matemático y de ecuaciones simples anteriormente anunciadas, en la (figura 98) observamos una simulación con 2595 RPM de entrada al tren de engranajes esta nos arroja en el eje de interés $376.5 \frac{deg}{seg}$ haciendo la respectiva conversión de unidades nos da 62.75 RPM y comparando con los resultado de la tabla 4 corroboramos nuestro diseño de tren de engranajes.

En la tabla 9 se especifica los valores arrojado por la simulación en la herramienta CAD.

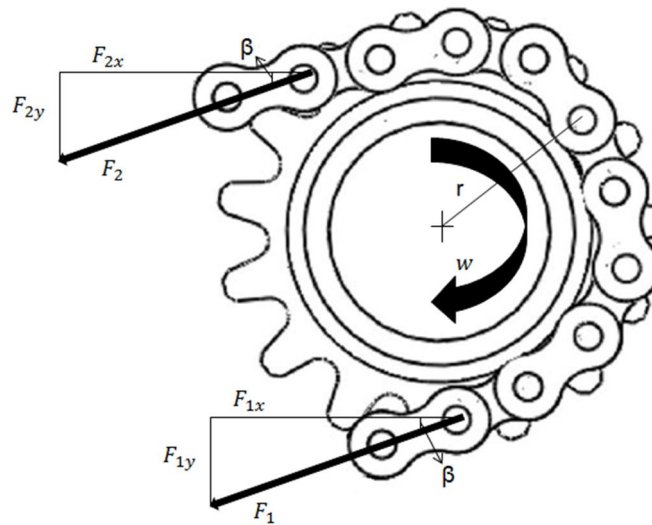
Tabla 9. Resultados de simulación en soliworks 2010.

RPM MOTOR	RESULTADOS EN EJE Grado/segundos	RESULTADOS EN EJE RPM
2595	376,44	62,74
3040	440,9	73,5
3410	494,64	82,44
3590	520,74	86,79
3710	578,74	89,69
3815	553,38	92,23
3915	567,9	94,65
3996	579,66	96,61
4065	589,68	98,28
4129	598,98	99,83

Fuente: Autores

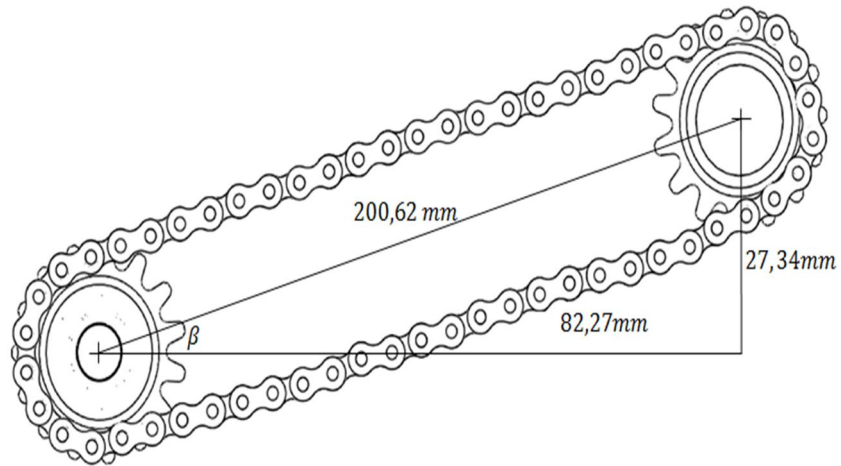
6.2.2. Diseño de ejes para tren de engranajes

Figura 99. Diagrama de cuerpo libre de transmisión de cadena.



Fuente: Autores

Figura 100. Medidas entre piñones.



Fuente: Autores

$$\omega = 10.45 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad t = 1.5\text{s} \quad I = 29.62\text{kg} * \text{cm}^2 \quad r = 10.35\text{mm} \quad \alpha = \frac{\omega}{t}$$

$$\alpha = 6.967 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \quad \text{tor} = I * \alpha \quad \text{tor} = 0.021 \text{ N} * \text{m} \quad \text{tor} = (F_1 - F_2) * r$$

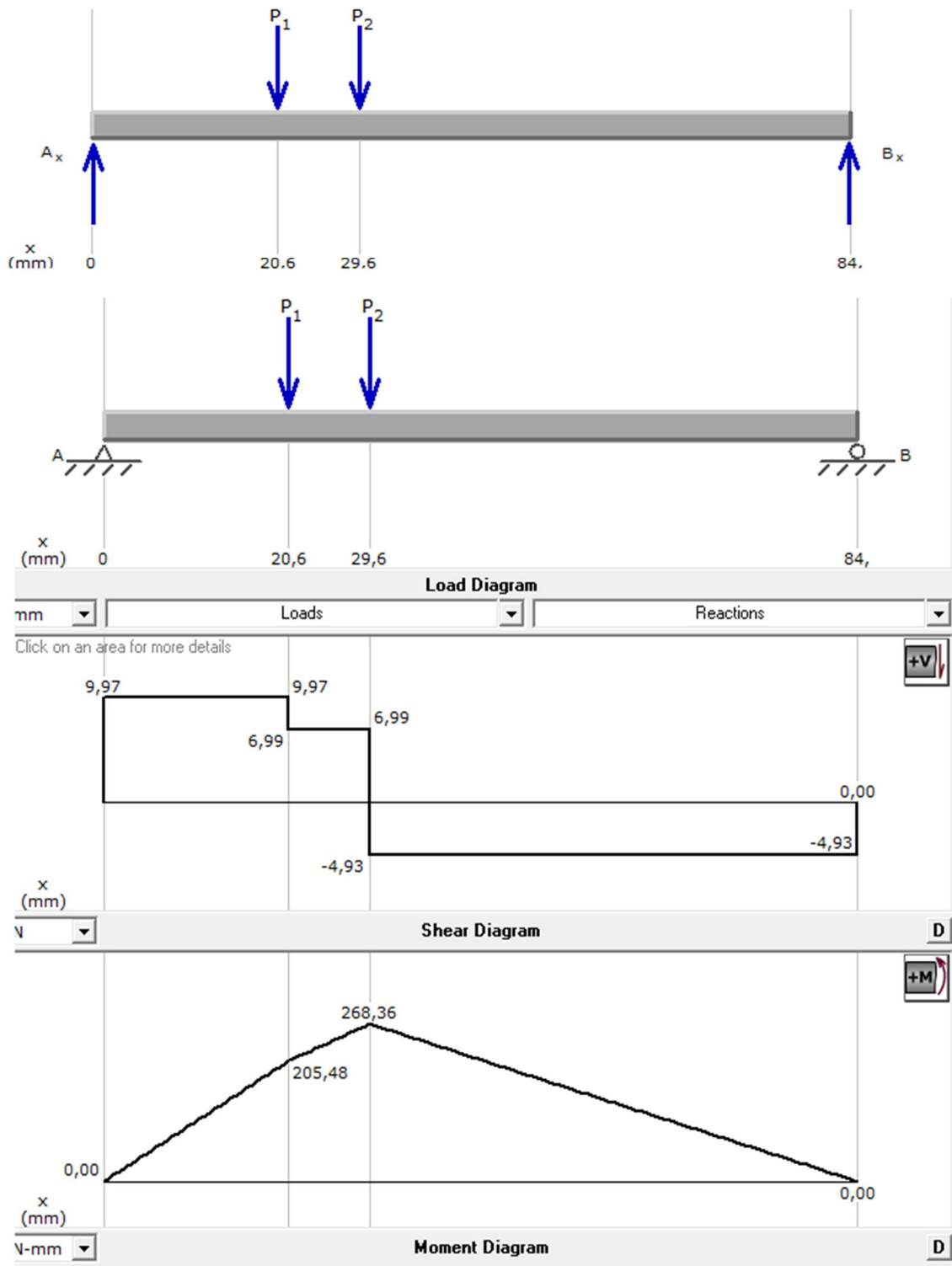
$$F_1 = 5 * F_2 \quad F_2 = 0.498 \text{ N} \quad F_1 = 2.492 \text{ N}$$

$$F_{1y} = F_1 * \text{sen}(\beta) \quad F_{1x} = F_1 * \text{cos}(\beta) \quad F_{2y} = F_2 * \text{sen}(\beta)$$

$$F_{2x} = F_2 * \text{cos}(\beta) \quad F_{1y} = 2.491 \text{ N} \quad F_{1x} = 0.06 \text{ N} \quad F_{2y} = 0.498 \text{ N}$$

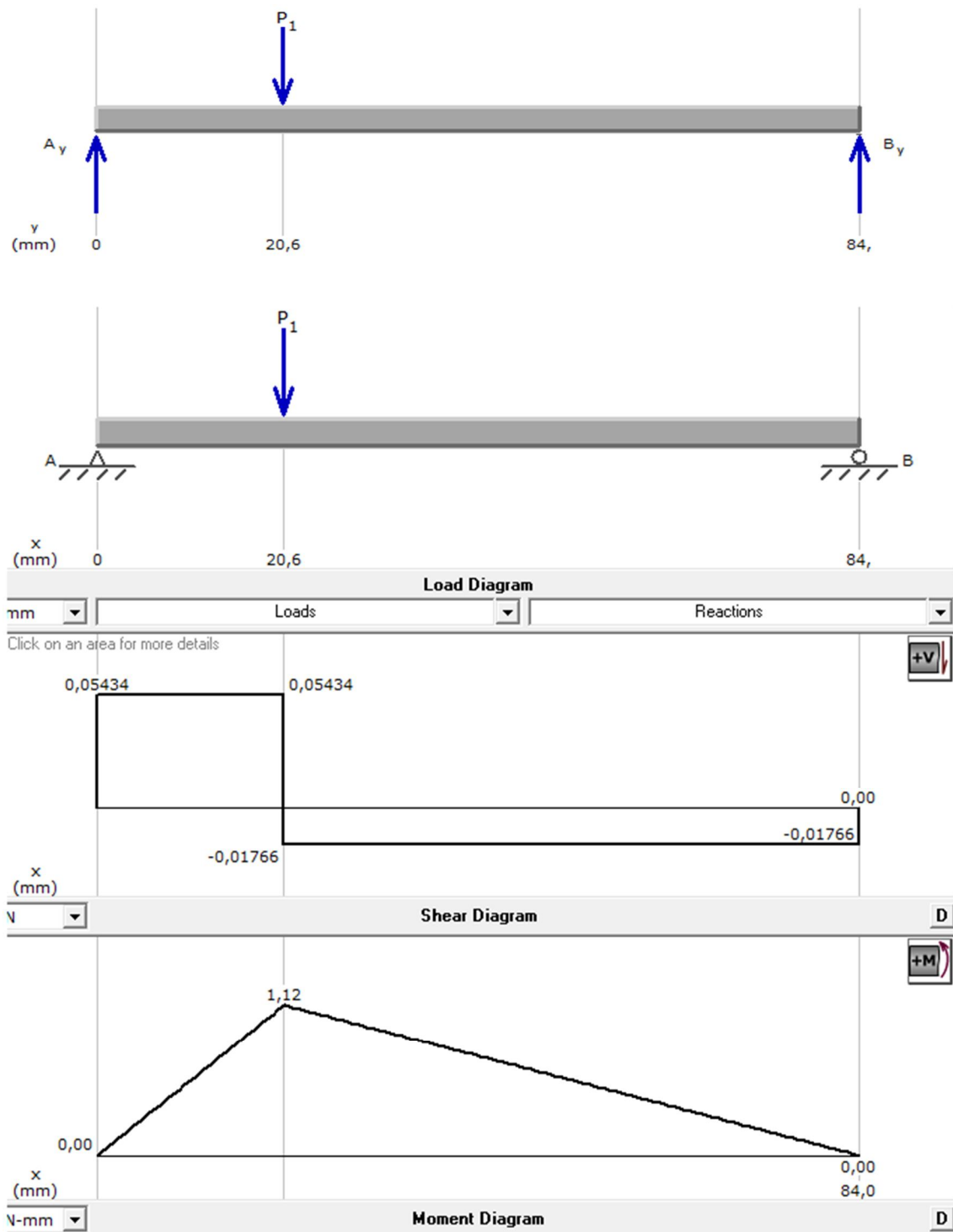
$$F_{2x} = 0.012 \text{ N}$$

Figura 101. Diagrama de cortante y momento plano X - Z.



Fuente: Autores

Figura 102. Diagrama de cortante y momento plano Y - Z.



Fuente: Autores

$$M_x = 205,48 N * mm \quad M_y = 1,12 N * mm \quad M_R = \sqrt{M_x^2 + M_y^2} N * mm$$

mm

$$M_R = 205,483 N * mm$$

$$M_{max} = 268,36 N * mm \quad M_a = 268,36 N * mm \quad T_m = 0.021 N * mm$$

$$d = \left\{ \frac{32 * N}{\pi} * \left[\left(k_f * \frac{M_a}{S_3} \right)^2 + \frac{3}{4} * \left(k_{fm} * \frac{T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}}$$

El material de los ejes es de acero 1030 laminado en caliente

$$S_y = 38 Kpsi \quad S_{ut} = 68 Kpsi$$

El eje cuenta con un radio de entalladura de 0,01 in

$$r = 0,01 in \quad \sqrt{a} = 0,095823$$

$$q = \frac{1}{1 + \frac{\sqrt{a}}{\sqrt{r}}} \quad q = 0,511 \quad k_t = 4$$

$$k_f = 1 + (q * (k_t - 1)) \quad k_f = 2.532$$

Suponemos inicialmente un valor de $k_f * |\sigma_{max}| < S_y$, calculamos los factores para obtener la resistencia o fatiga para especímenes afectados

- $S'_e = 0,5 * S_{ut} \quad S'_e = 34 ksi$

- Factor de tamaño C_s

$$C_s = 1$$

- Factor de carga C_l

$$C_l = 1 * 0,587 \rightarrow C_l = 0,587$$

- Factor de superficie C_{su}

$$C_{su} = A * (S_{ut})^{-0,718} \rightarrow C_{su} = 0,696$$

- Factor de confiabilidad C_{con} para una confiabilidad del 50%

$$C_{con} = 1$$

Finalmente obtenemos que:

$$S_e = S'_e * C_s * C_l * C_{su} * C_T * C_{con} \quad S_e = 9,578 * 10^7 Pa$$

Ahora si podemos calcular el diámetro del eje

$$D = \left\{ \frac{32 * N}{\pi} * \left[\left(k_f * \frac{M_a}{S_e} \right)^2 + \frac{3}{4} * \left(k_{fm} * \frac{T_m}{S_Y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} \rightarrow D = 7,122mm$$

Con este diámetro recalculamos todos los factores:

- Factor de tamaño C_s siendo $0 < D < 0,4''$

$$C_s = 1$$

- Factor de carga C_l

$$C_l = 1 * 0,587 \rightarrow C_l = 0,587$$

- Factor de superficie C_{su}

$$C_{su} = A * (S_{ut})^{-0,718} \rightarrow C_{su} = 0,696$$

- Factor de confiabilidad C_{con} para una confiabilidad del 50%

$$C_{con} = 1$$

- Recalculamos S_e

$$S_e = S'_e * C_s * C_l * C_{su} * C_T * C_{con} \quad S_e = 9,578 * 10^7 Pa$$

- Corregimos los concentradores $\frac{r}{d} = 0,036mm$, $k_t = 2,5$, $k_{tm} = 2,8$

$$k_f = 1 + (q * (k_t - 1)) \rightarrow k_f = 1,766$$

$$k_{fm} = 1 + (q * (k_{tm} - 1)) \rightarrow k_{fm} = 1,919$$

Ahora si podemos calcular el diámetro del eje

$$D = \left\{ \frac{32 * N}{\pi} * \left[\left(k_f * \frac{M_a}{S_e} \right)^2 + \frac{3}{4} * \left(k_{fm} * \frac{T_m}{S_Y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^{\frac{1}{3}} \rightarrow D = 6,316mm$$

6.3. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS CONSTANTES

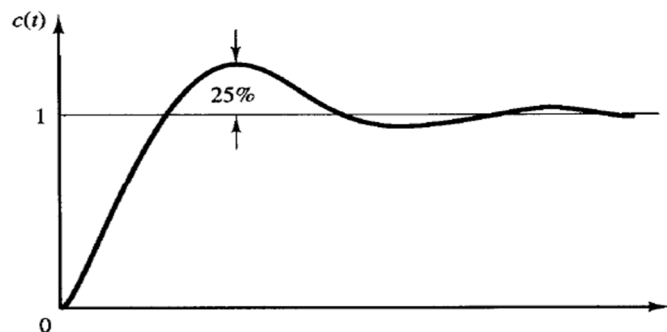
En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en las pruebas realizadas del servo de velocidad y posición, se muestra la metodología utilizada para encontrar las constantes del PID y el comportamiento de las señales con respecto a estas.

6.3.1. Procedimiento para la determinación de las constantes

La metodología utilizada para sintonizar controladores PID fue la Reglas de Ziegler-Nichols. Ziegler y Nichols propusieron unas reglas para determinar los valores de la ganancia proporcional K_p , del tiempo integral T_i y del tiempo derivativo T_d , con base en las características de respuesta transitoria de una planta específica. Tal determinación de los parámetros de los controladores PID o de la sintonización de los controles PID la realizan los ingenieros en el sitio mediante experimentos sobre la planta.

Existen dos métodos denominados reglas de sintonización de Ziegler-Nichols. En ambos se pretende obtener un 25% de sobrepaso máximo en la respuesta escalón (véase la figura 98).

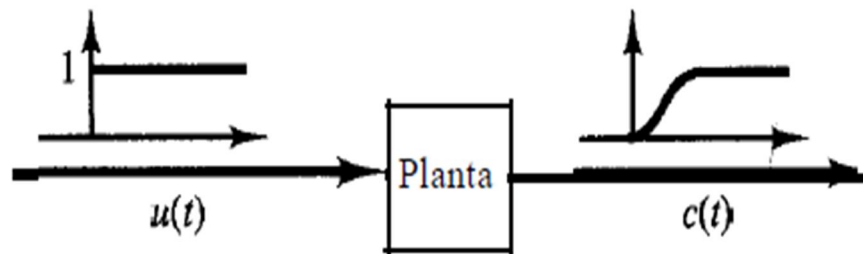
Figura 103. Curva de respuesta escalón unitario que muestra un sobrepaso máximo de 25 %.



Fuente: Ingeniería de control moderna (Ogata), Pag 671.

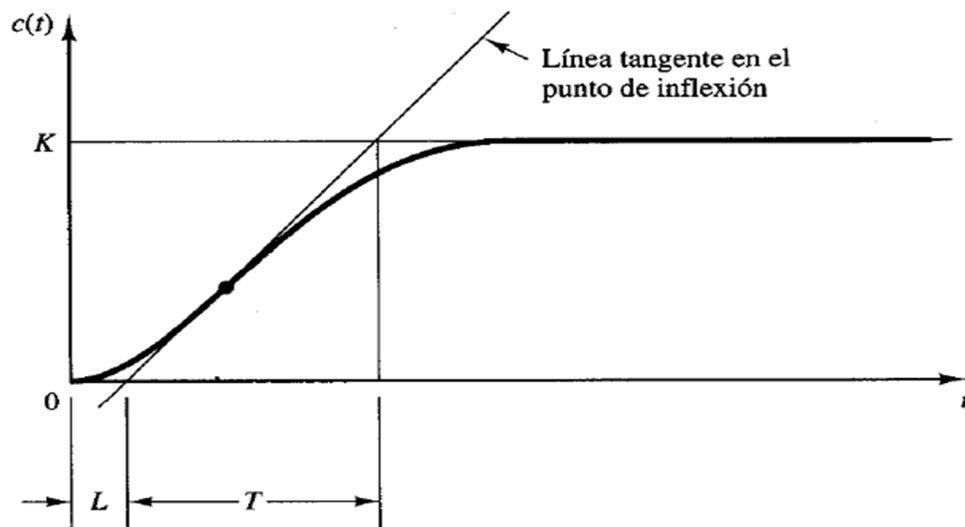
En este trabajo de grado utilizaremos el primer método, en este primer método la respuesta de la planta a una entrada escalón unitario se obtiene de manera experimental, como se observa en la (figura 104). Si la planta no contiene integradores ni polos dominantes complejos conjugados, la curva de respuesta escalón unitario puede tener forma de S, como se observa en la (figura 105). (Si la respuesta no exhibe una curva con forma de S, este método no es pertinente.) Tales curvas de respuesta escalón se generan experimentalmente o a partir de una simulación dinámica de la planta.

Figura 104. Respuesta escalón unitario de una planta.



Fuente: Ingeniería de control moderna (Ogata), Pag 671.

Figura 105. Curva de respuesta con forma de S.



Fuente: Ingeniería de control moderna (Ogata), Pag 671.

La curva con forma de S se caracteriza por dos parámetros: el tiempo de retardo L y la constante de tiempo T . El tiempo de retardo y la constante de tiempo se determinan dibujando una recta tangente en el punto de inflexión de la curva con forma de S y determinando las intersecciones de esta tangente con el eje del tiempo y la línea $C_{(t)} = K$, como se aprecia en la (figura 105).

Basándonos en esta metodología y la experiencia propia, se dedujo las constantes del controlador PID (K_p , K_i y K_d), el procedimiento que se pudo determinar consta de 3 pasos que a continuación serán explicados en detalle:

- **Paso 1. Determinación de la variable proporcional:** lo primero es tomar el tiempo integral y llevarlo a su máximo valor ($T_i=30$), seguidamente el tiempo derivativo es llevado a cero ($T_d=0$); teniendo estas variables en estos valores y la proporcional en un valor bajo se dispone a ir aumentando este valor hasta que se tenga las características de respuesta deseadas.
- **Paso 2. Determinación de la variable integral:** a estas alturas ya tenemos un valor para la acción proporcional (K_p) que aporta una buena respuesta, proseguimos a descender el valor de la acción integral hasta anular el error en estado estacionario, aunque la oscilación sea excesiva, también disminuirémos ligeramente la ganancia y repetir hasta obtener las características de respuesta deseadas.
- **Paso 3. Determinación de la variable derivativa:** Manteniendo la ganancia (K_p) y tiempo integral (T_i) obtenidos anteriormente, aumentar la acción derivativa (T_d) hasta obtener características similares pero con la respuesta más rápida y una disminución considerable de la oscilación, aumentaremos ligeramente la ganancia si fuera necesario.

6.4. COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA CON RESPECTO A LAS CONSTANTES DEL PID

En la tabla 10 podemos ver las conclusiones que se obtuvieron en el proceso de determinación de las constantes de las acciones de control.

Tabla 10. Comportamiento de PID por prueba y error.

Parámetros	Kp aumenta	Ti disminuye	Td aumenta
Velocidad	Aumenta	Aumenta	Aumenta
Estabilidad	Se Reduce	Disminuye	Aumenta
Error Estacionario	No Eliminado	Eliminado	No Eliminado
Área de Error	Se Reduce	Disminuye hasta cierto punto	Se Reduce
Perturbación Control	Aumenta Bruscamente	Aumenta gradualmente	Aumenta Bruscamente
Frecuencia Lazo	No afecta hasta cierto punto	Disminuye	aumenta

Fuente: Autores

Las constantes que mejor se comportaron en este servo de velocidad y posición fueron las siguientes:

Tabla 11. Constantes de Servo de velocidad y Servo de posición.

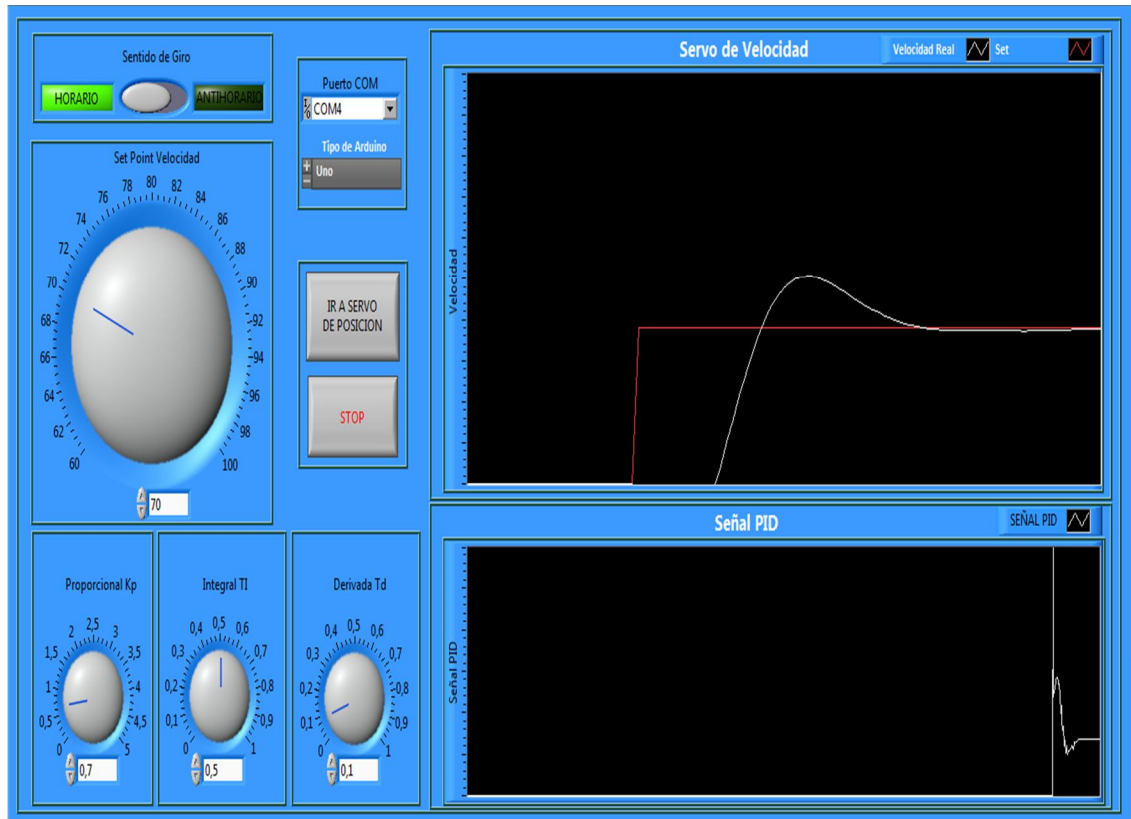
Servo velocidad		Servo posición	
acción	valor	acción	valor
Kp	1.4	Kp	5.8
Ti	0,5	Ti	70
Td	0,1	Td	0,34

Fuentes: Autores

A continuación veremos el comportamiento del servo mecanismo de velocidad al alterar los valores de sus constantes:

- Comportamiento con las constantes obtenidas anteriormente se muestran en la (Figura 106).

Figura 106. Comportamiento de constantes encontradas.

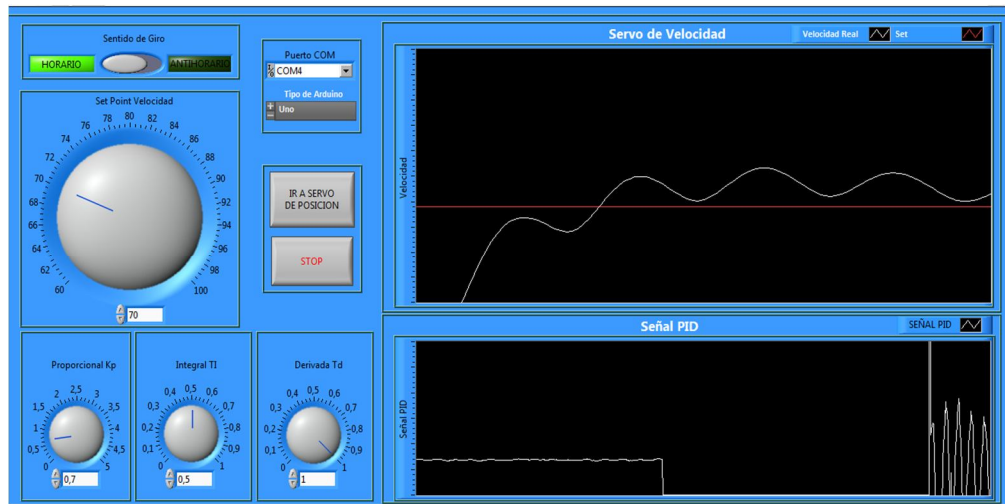


Fuentes: Autores.

En la gráfica se observa el comportamiento deseado del PID al compararlo con graficas de la (figura 12) estable con amortiguamiento crítico.

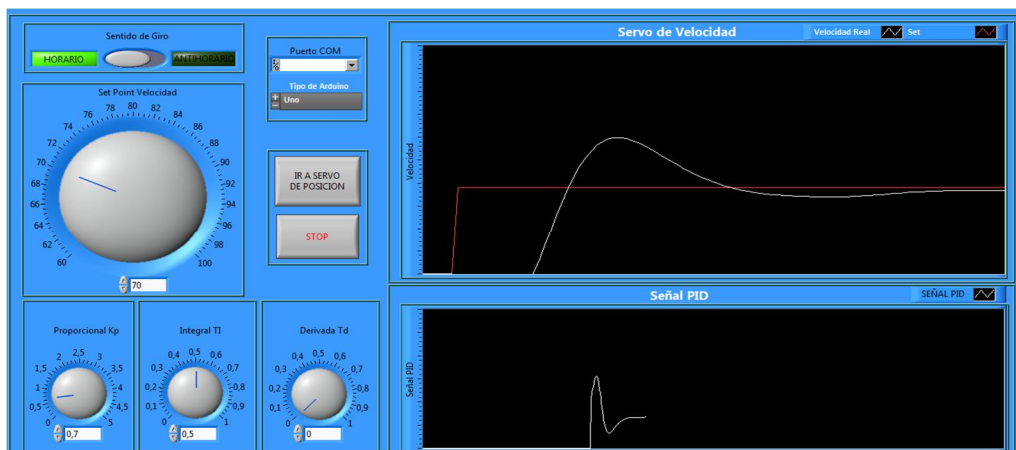
- En las gráficas (figura 107 y 108) se logra observar el comportamiento del PID con constantes derivativa altas y bajas respectivamente, vemos que el primer caso (derivada alta) el comportamiento del controlador es muy oscilante e inestable, en el segundo caso las señal se ve más estable pero se observa un desfase entre ambas señales y un retardo en estabilizarse.

Figura 107. Comportamiento de Servo velocidad con alta constante derivativa.



Fuente: Autores

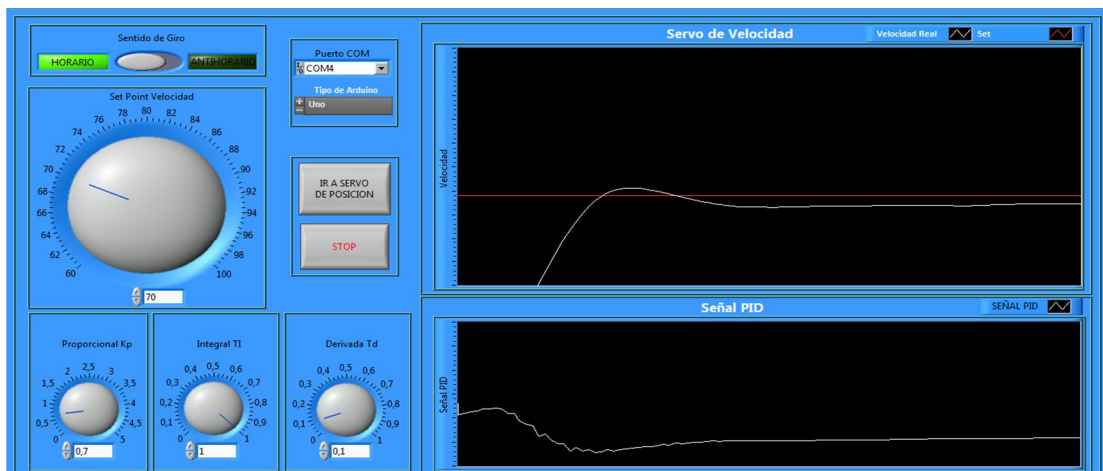
Figura 108. Comportamiento de Servo de velocidad con baja constante derivativa.



Fuente: Autores

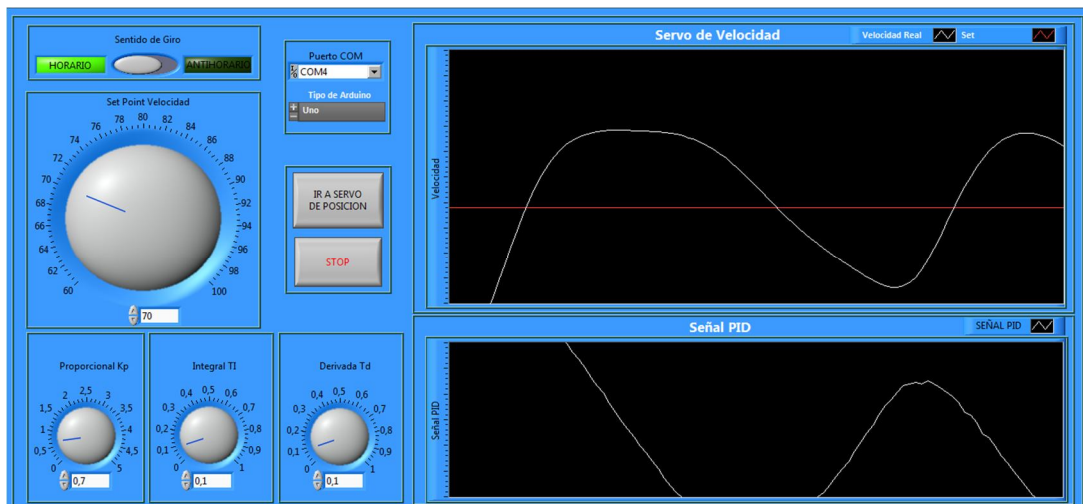
- En las gráficas (figura 109 y 110) se logra observar el comportamiento del PID con constantes de integrales altas y bajas respectivamente, en el primer caso (integral alta) el comportamiento se observa que hay una estabilización de la señal más rápido pero se observa un desfase entre la señal de set y la señal real; con la constantes integral baja el sistema se comporta con oscilaciones no estables.

Figura 109. Comportamiento de Servo de velocidad con alta constante integral.



Fuente: Autores.

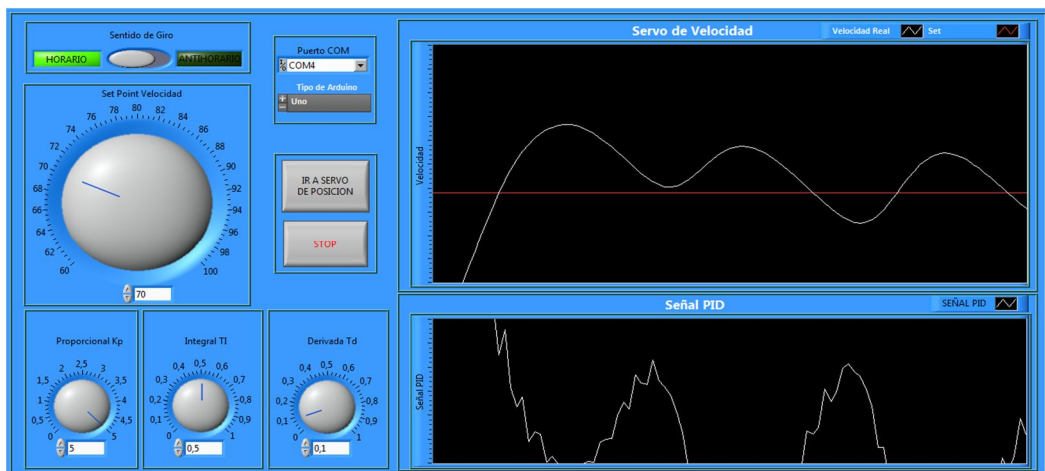
Figura 110. Comportamiento de Servo de velocidad con baja constante integral.



Fuente: Autores.

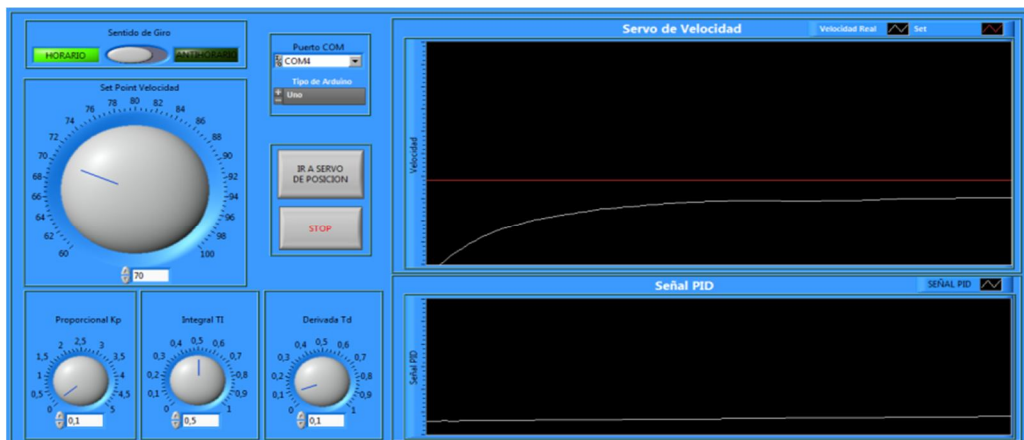
- En las gráficas (figura 111 y 112) se logra observar el comportamiento del PID con constantes de proporcionales altas y bajas respectivamente, en el caso de la proporcional alta el valor inicial de la salida del PID será muy alta y esta hace que nunca llegue a la señal de set debido a que el impulso inicial sobrepasara el punto de referencia; en el caso de baja proporcional la señal va a rumbo a estabilizarse pero con un tiempo de respuesta muy bajo.

Figura 111. Comportamiento de Servo de velocidad con alta constante proporcional.



Fuente: Autores.

Figura 112. Comportamiento de Servo de velocidad con baja constate proporcional.



Fuente: Autores.

CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

La incorporación del banco de pruebas de servomecanismo de posición angular y velocidad rotacional como práctica en el laboratorio del curso de control automático, cumplió con los resultados esperados:

- ✓ Se logró la construcción de un banco de pruebas portable, de una manera muy práctica.
- ✓ Se dotó el laboratorio de control automático de la escuela de Ingeniería Mecánica una práctica en la que los estudiantes interactúan y se familiarizan con el uso de servo de velocidad y posición netamente electro-electrónico.
- ✓ Se comprobó que el modelo matemático, ecuaciones simples y modelamiento en la herramienta CAD (solidworks 2010) se comportaron similar
- ✓ Se logra evidenciar que con la implementación del sistema de arduino en interface con Labview, se logra una buena estabilidad entre ellas (arduino uno y labview 9), a pesar de la velocidad de transmisión de datos entre las mismas.
- ✓ Contado con una tarjeta de adquisición de datos más avanzada se lograría un sistema más eficiente.
- ✓ El mecanismo quedo en la capacidad de realizar pruebas de velocidad angular y posición mediante servos de velocidad y posición, con la característica de obtener diversas curvas de respuesta, de pendiendo de las variables impuestas por el operador.

RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda implementar en el banco un sensor RVDT (Transductor Rotativo Variable Diferencial) para así lograr una mayor cobertura en la lectura de datos de posición.
- ✓ Para obtener una mejor respuesta en el servo de posición se sugiere implementar un DAQ propio de la compañía desarrolladora del software Labview para mejorar el tiempo de transmisión de datos ya que el software posee ciertas herramientas que no se implementan con una tarjeta arduino.

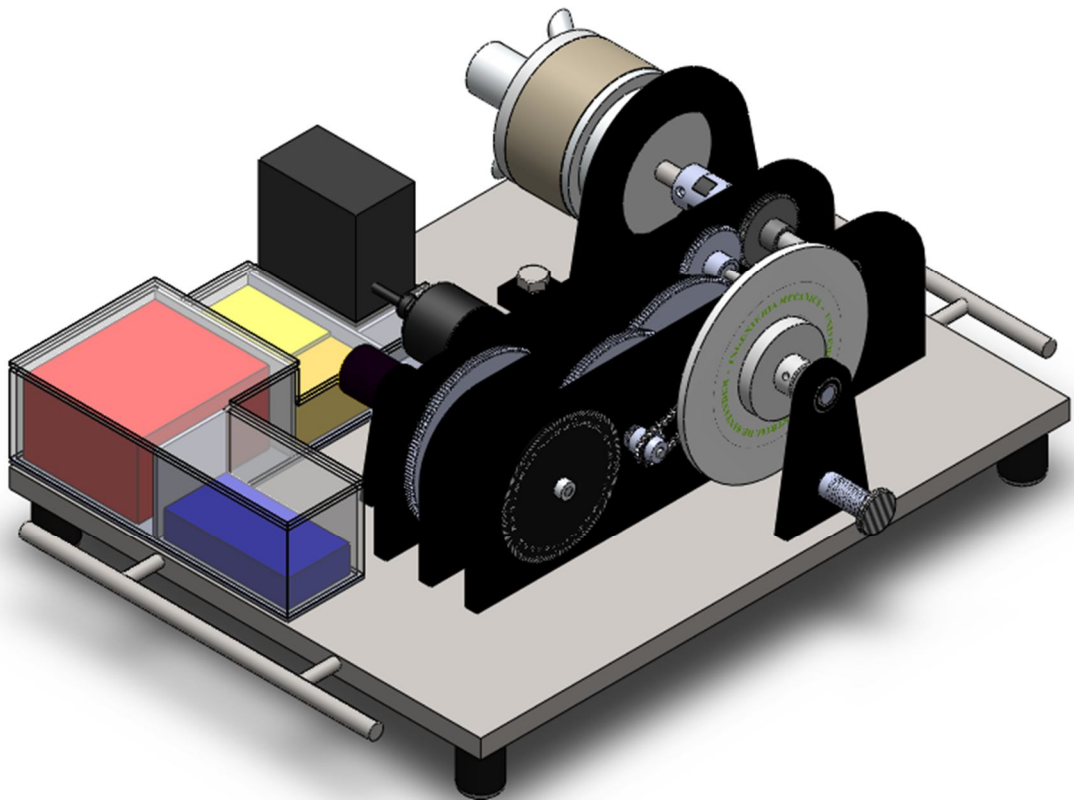
BIBLIOGRAFIA

- ✓ FAIRCHILD semiconductor “4N25 datasheet Version 1.0 [en línea],
http://www.datasheetcatalog.net/es/datasheets_pdf/4/N/2/5/4N25.shtml.
- ✓ **HAMROCK, BERNARD J.** (2000) elementos de maquina (primera Ed),
México, Mc Graw-hill.
- ✓ <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/209835>
- ✓ <http://www.arduino.cc/>
- ✓ <http://www.roboticaludica.com/arduino-daq-labview/>
- ✓ International recibir. “ IRFZ4905 Datasheet Version 2.01” [en línea],
http://www.redrok.com/MOSFET_IRF4905_-55V_-74A_20mO_Vth-4.0_TO-220.pdf
- ✓ International rectifier. “IRF48N Datasheet Version 2.0” [en línea],
<http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irfz48n.pdf>
- ✓ **MALVINO ALBERT PAUL.** (1999) Principios de electrónica,(sexta Ed),México, Mc GrawHill.
- ✓ **RICHARD, ROBERT H.** (2005) sistemas de control moderno (Decima Ed),
Madrid (España), Pearson Educación.

ANEXOS

Anexo A
Manual de uso y mantenimiento
Servomecanismo de Posición Angular y Velocidad Rotacional.

Manual de uso y mantenimiento
Servomecanismo de Posición Angular y Velocidad Rotacional



INTRODUCCIÓN

Para un funcionamiento óptimo y para prevenir un uso incorrecto del banco de pruebas Servomecanismo eléctrico- electrónico de Posición Angular y Velocidad Rotacional, lea por favor este manual atentamente y cumpla todas las recomendaciones de seguridad antes de poner en servicio el banco.

Tenga siempre el manual a mano. Reemplace un manual extraviado lo antes posible.

La instalación y los trabajos de mantenimiento deben ser realizados únicamente por personal calificado.

Definición de los Niveles de Advertencia

Todos los avisos referentes a la seguridad del personal se clasifican según sigue, dependiendo de la severidad de las consecuencias de un posible incidente.



Peligro

Esto advierte de una acción o procedimiento que, si se lleva a cabo incorrectamente, ocasionará un daño severo al mecanismo.



Precaución

Esto advierte de una acción o procedimiento que, si se lleva a cabo incorrectamente, es probable que ocasione un daño en el mecanismo.

1. Información general

Sistema de engranajes

Siempre trate el tren de engranajes, como si estuviera en movimiento a no ser que el sistema eléctrico no este acoplado al sistema electrónico.

Tome medidas preventivas para evitar la existencia de elementos extraños en el tren de engranajes.

Detenga el sistema si:

- Si el amperaje de la fuente supera el límite establecido (10 Amp).
- Al observar mal funcionamiento de algunos de sus componentes ya sea mecánico o eléctrico.

2. Preparación de conexión

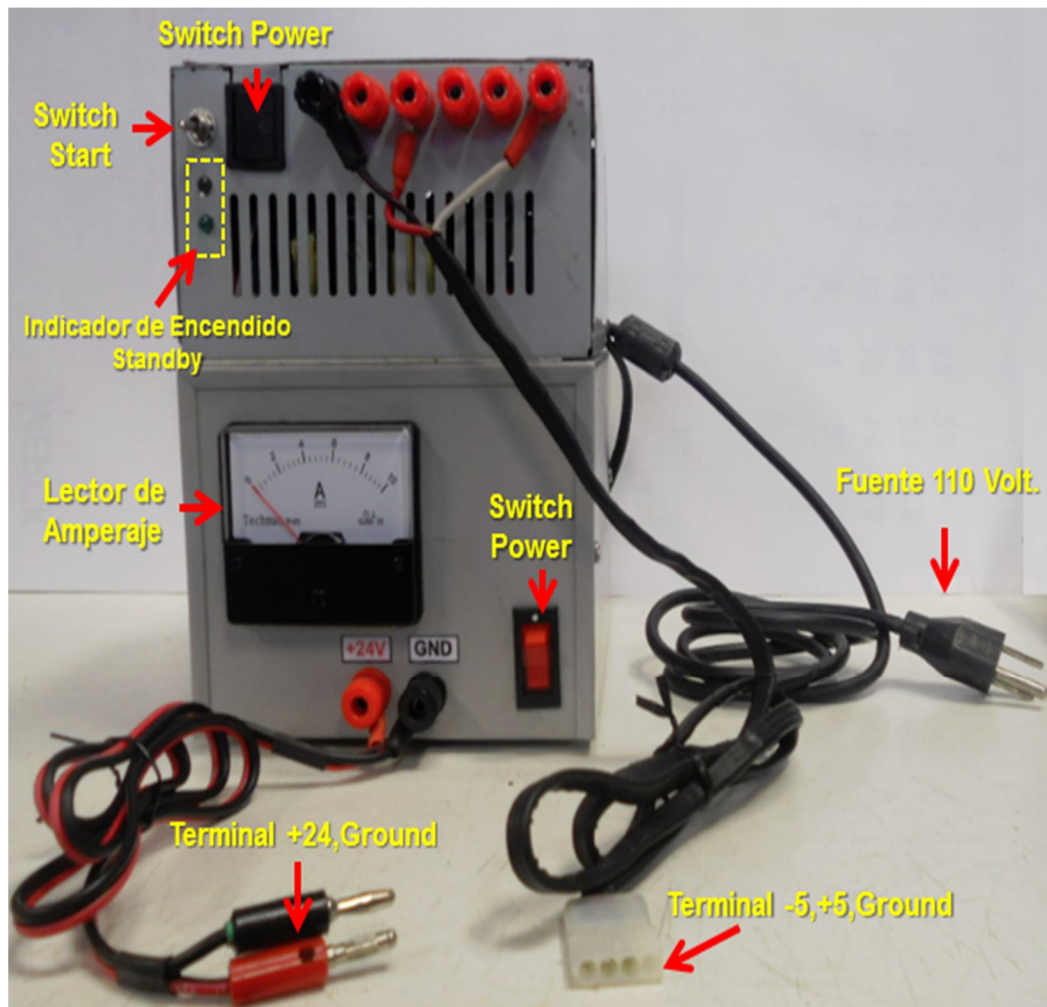


Precaución

Poner la máxima precaución, al conectar los cables de alimentación del banco de pruebas, ya que existe la posibilidad que el sistema este energizado.

Identificación de fuente de +24 volt, +5 volt, y -5 volt

Observar que las fuentes eléctricas tengan sus conexiones en los lugares determinados por los terminales correspondientes según imagen.





Nota:

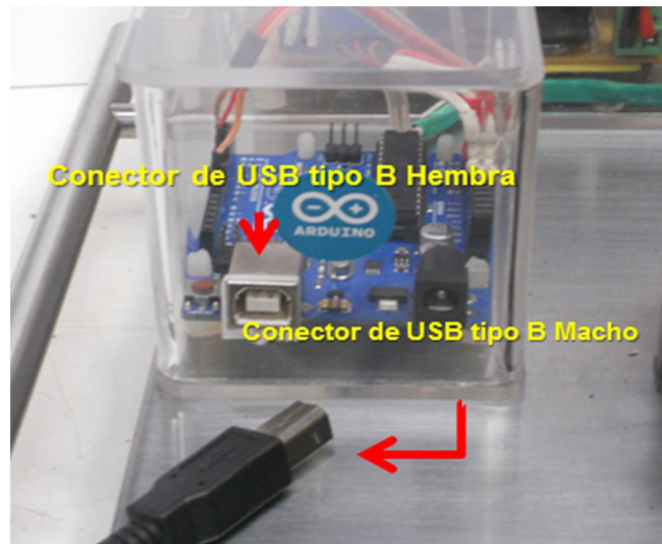
El Indicador de Encendido/Standby. Se ilumina el led de color verde en modo de espera. Se iluminara los dos leds cuando la fuente de alimentación este activada.

Activación de las fuentes



Para la activación de las fuentes debemos ubicar los Switch de estas.

En la parte superior izquierda se encuentra el switch power de la fuente de 5volt que es de color negro esta activa un led de color verde lo cual indica que la fuente está energizada.

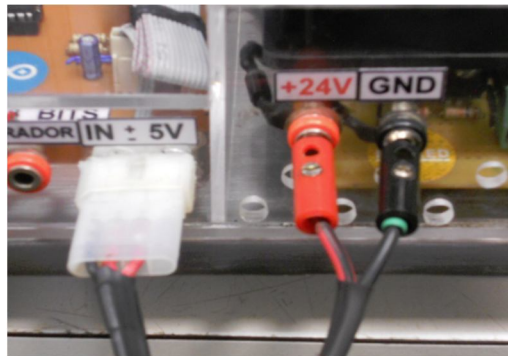


Procedimiento de conexión:



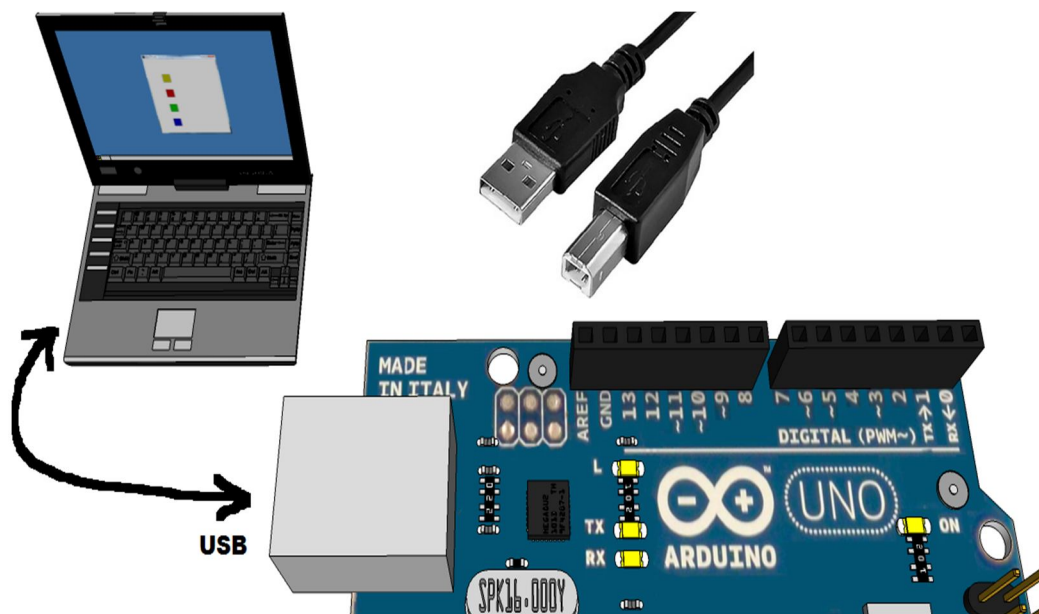
Precaución

**AL MOMENTO DE REALIZAR LA CONEXIÓN,
LAS FUENTES NO DEBEN ESTAR
ACTIVADAS.**



Para el empalme del sistema de tratamiento de señales y el sistema de alimentación, debemos conectar la alimentación de 5 volt y 24 volt en los conectores del banco de pruebas.

Para la conexión de sistema de mando (ordenador) al sistema de tratamiento de señales, se realiza por medio de un cable USB al ordenador ver imagen



3. Manejo de software

Para el inicio de las pruebas, ejecutamos el archivo control servo VP el cual desplegara la pantalla de control del sistema, ver figura a continuación.



Desplegada la pantalla, procedemos a verificar las conexiones del sistema ya anteriormente realizadas.



Peligro

ANTES DE EJECUTAR EL PROGRAMA DEBEMOS VERIFICAR QUE LA PERILLA DE CONTROL DE VELOCIDAD SE ENCUENTRE EN CERO.

Ya verificado que todo esté en orden, Procedemos a activar el sistema de alimentación, y vamos a la opción puerto COM de la pantalla y seleccionamos el puerto donde está instalada la tarjeta arduino, y también seleccionamos el tipo de tarjeta arduino

(arduino uno) que manejamos y damos click en el botón de ejecución de programa (RUN). Ya realizado lo anterior podemos comenzar a trabajar el servo de velocidad con las constantes que deseemos imponer al sistema.

Cuando se requiera pasar al servo de posición se da click en el botón ir a servo de posición y se desplegara la pantalla que se observa a continuación.



Para comenzar a operar el servo de posición se debe activar el programa, dando click en el botón de encendido de posición y se resaltara el indicador ON.



NOTA:

La regleta debe estar situada dentro del rango establecido (0°- 260°). De no ser así el servo de posición no se comportara en la forma deseada.

Con el servo de posición activado ya se puede hacer uso de ello, en el rango ya mencionado.

Cuando se quiera pasar al servo velocidad se debe desactivar el botón de encendido el cual resaltara el indicador OFF, para así desactivar el servo de posición y da click en el botón ir a servo de velocidad.

ANEXO B
DATA SHEET

DATASHEET OPTOCOPLADOR 4N25



GENERAL PURPOSE 6-PIN PHOTOTRANSISTOR OPTOCOUPPLERS

4N25
4N37

4N26
H11A1

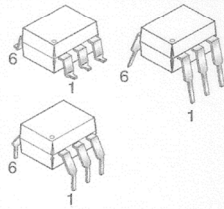
4N27
H11A2

4N28
H11A3

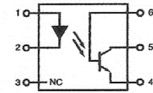
4N35
H11A4

4N36
H11A5

WHITE PACKAGE (-M SUFFIX)

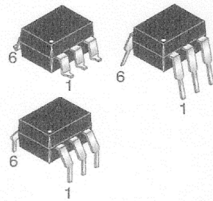


SCHEMATIC



PIN 1. ANODE
2. CATHODE
3. NO CONNECTION
4. EMITTER
5. COLLECTOR
6. BASE

BLACK PACKAGE (NO -M SUFFIX)



DESCRIPTION

The general purpose optocouplers consist of a gallium arsenide infrared emitting diode driving a silicon phototransistor in a 6-pin dual in-line package.

FEATURES

- Also available in white package by specifying -M suffix, eg. 4N25-M
- UL recognized (File # E90700)
- VDE recognized (File # 94766)
 - Add option V for white package (e.g., 4N25V-M)
 - Add option 300 for black package (e.g., 4N25.300)

APPLICATIONS

- Power supply regulators
- Digital logic inputs
- Microprocessor inputs



GENERAL PURPOSE 6-PIN PHOTOTRANSISTOR OPTOCOUPLEDERS

**4N25
4N37**

**4N26
H11A1**

**4N27
H11A2**

**4N28
H11A3**

**4N35
H11A4**

**4N36
H11A5**

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified)			
Parameter	Symbol	Value	Units
TOTAL DEVICE			
Storage Temperature	T_{STG}	-55 to +150	$^\circ\text{C}$
Operating Temperature	T_{OPR}	-55 to +100	$^\circ\text{C}$
Lead Solder Temperature	T_{SOL}	260 for 10 sec	$^\circ\text{C}$
Total Device Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	250 3.3 (non-M), 2.94 (-M)	mW
EMITTER			
DC/Average Forward Input Current	I_F	100 (non-M), 60 (-M)	mA
Reverse Input Voltage	V_R	6	V
Forward Current - Peak (300 μs , 2% Duty Cycle)	$I_F(pk)$	3	A
LED Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	150 (non-M), 120 (-M) 2.0 (non-M), 1.41 (-M)	mW mW/ $^\circ\text{C}$
DETECTOR			
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	30	V
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	70	V
Emitter-Collector Voltage	V_{ECO}	7	V
Detector Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	150 2.0 (non-M), 1.76 (-M)	mW mW/ $^\circ\text{C}$

4N25
4N37

4N26
H11A1

4N27
H11A2

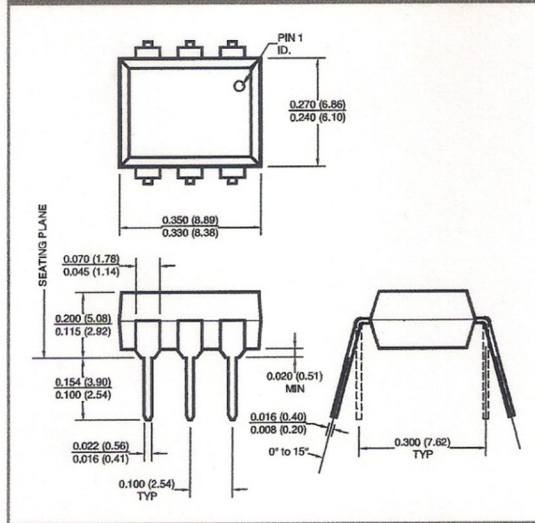
4N28
H11A3

4N35
H11A4

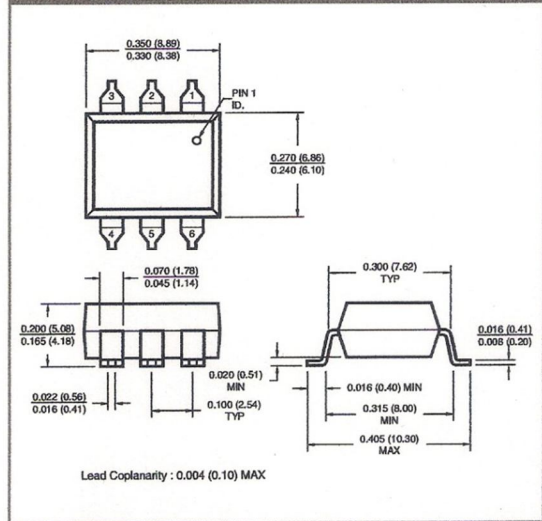
4N36
H11A5

Black Package (No -M Suffix)

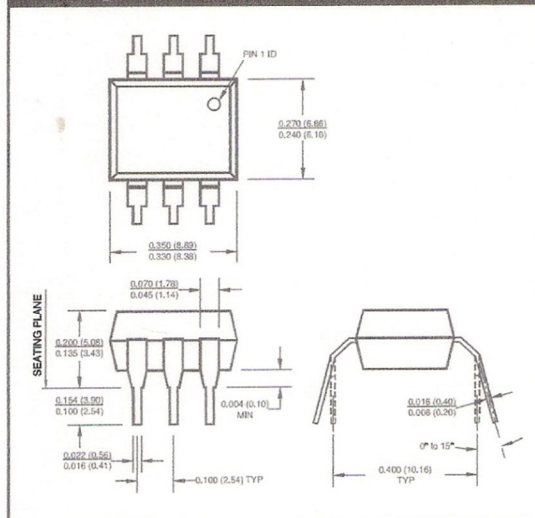
Package Dimensions (Through Hole)



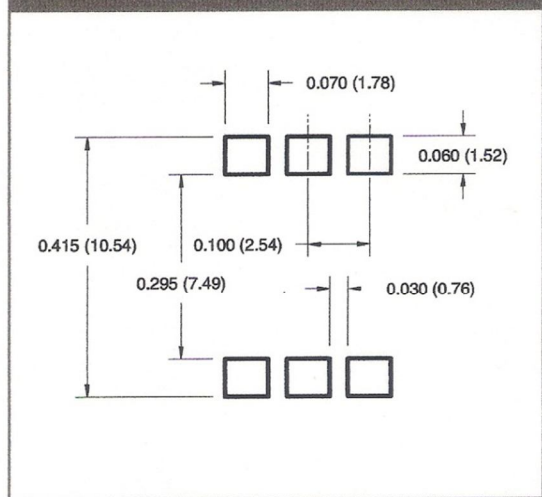
Package Dimensions (Surface Mount)



Package Dimensions (0.4" Lead Spacing)



**Recommended Pad Layout for
Surface Mount Leadform**



NOTE

All dimensions are in inches (millimeters)

DATASHEET AMPLIFICADOR OPERACIONAL LM741C

intersil

**CA741, CA741C, CA1458, CA1558,
LM741, LM741C, LM1458**

Data Sheet

September 1998

File Number 531.4

0.9MHz Single and Dual, High Gain Operational Amplifiers for Military, Industrial and Commercial Applications

The CA1458, CA1558 (dual types); CA741C, CA741 (single types); high-gain operational amplifiers for use in military, industrial, and commercial applications.

These monolithic silicon integrated circuit devices provide output short circuit protection and latch-free operation. These types also feature wide common mode and differential mode signal ranges and have low offset voltage nulling capability when used with an appropriately valued potentiometer. A 10kΩ potentiometer is used for offset nulling types CA741C, CA741 (see Figure 1). Types CA1458, CA1558 have no specific terminals for offset nulling. Each type consists of a differential input amplifier that effectively drives a gain and level shifting stage having a complementary emitter follower output.

The manufacturing process make it possible to produce IC operational amplifiers with low burst "popcorn" noise characteristics.

Technical Data on LM Branded types is identical to the corresponding CA Branded types.

Features

- Input Bias Current 500nA (Max)
- Input Offset Current 200nA (Max)

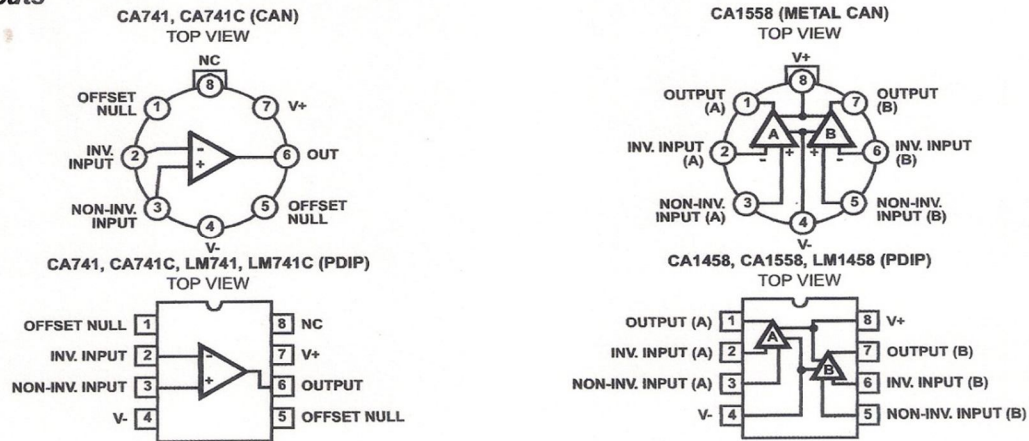
Applications

- Comparator
- Multivibrator
- DC Amplifier
- Summing Amplifier
- Integrator or Differentiator
- Narrow Band or Band Pass Filter

Ordering Information

PART NUMBER	TEMP. RANGE (°C)	PACKAGE	PKG. NO.
CA0741E	-55 to 125	8 Ld PDIP	E8.3
CA0741CE	0 to 70	8 Ld PDIP	E8.3
CA1458E	0 to 70	8 Ld PDIP	E8.3
CA1558E	-55 to 125	8 Ld PDIP	E8.3
CA0741T	-55 to 125	8 Pin Metal Can	T8.C
CA0741CT	0 to 70	8 Pin Metal Can	T8.C
CA1558T	-55 to 125	8 Pin Metal Can	T8.C
LM741N	-55 to 125	8 Ld PDIP	E8.3
LM741CN	0 to 70	8 Ld PDIP	E8.3
LM1458N	0 to 70	8 Ld PDIP	E8.3

Pinouts



CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures. 1-888-INTERSIL or 321-724-7143 | Copyright © Intersil Corporation 1999

CA741, CA741C, CA1458, CA1558, LM741, LM741C, LM1458

Absolute Maximum Ratings

Supply Voltage	
CA741C, CA1458, LM741C, LM1458 (Note 1)	36V
CA741, CA1558, LM741 (Note 1)	44V
Differential Input Voltage	30V
Input Voltage	$\pm V_{SUPPLY}$
Offset Terminal to V- Terminal Voltage (CA741C, CA741)	$\pm 0.5V$
Output Short Circuit Duration	Indefinite

Thermal Information

Thermal Resistance (Typical, Note 3)	θ_{JA} (°C/W)	θ_{JC} (°C/W)
PDIP Package	130	N/A
Can Package	155	67
Maximum Junction Temperature (Can Package)	175°C	
Maximum Junction Temperature (Plastic Package)	150°C	
Maximum Storage Temperature Range	-65°C to 150°C	
Maximum Lead Temperature (Soldering 10s)	300°C	

Operating Conditions

Temperature Range	
CA741, CA1558, LM741	-55°C to 125°C
CA741C, CA1458, LM741C, LM1458 (Note 2)	0°C to 70°C

CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

NOTES:

- Values apply for each section of the dual amplifiers.
- All types in any package style can be operated over the temperature range of -55°C to 125°C, although the published limits for certain electrical specification apply only over the temperature range of 0°C to 70°C.
- θ_{JA} is measured with the component mounted on an evaluation PC board in free air.

Electrical Specifications Typical Values Intended Only for Design Guidance, $V_{SUPPLY} = \pm 15V$

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	TYPICAL VALUE (ALL TYPES)	UNITS
Input Capacitance	C_I		1.4	pF
Offset Voltage Adjustment Range			± 15	mV
Output Resistance	R_O		75	Ω
Output Short Circuit Current			25	mA
Transient Response		Unity Gain, $V_I = 20mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L \leq 100pF$		
Rise Time	t_r		0.3	μs
Overshoot	O.S.		5.0	%
Slew Rate (Closed Loop)	SR	$R_L \geq 2k\Omega$	0.5	V/ μs
Gain Bandwidth Product	GBWP	$R_L = 12k\Omega$	0.9	MHz

Electrical Specifications For Equipment Design, $V_{SUPPLY} = \pm 15V$

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TEMP (°C)	(NOTE 4) CA741, CA1558, LM741			(NOTE 4) CA741C, CA1458, LM741C, LM1458			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	$R_S \leq 10k\Omega$	25	-	1	5	-	2	6	mV
		Full	-	1	6	-	-	7.5	mV
Input Common Mode Voltage Range		25	-	-	-	± 12	± 13	-	V
		Full	± 12	± 13	-	-	-	-	V
Common Mode Rejection Ratio	$R_S \leq 10k\Omega$	25	-	-	-	70	90	-	dB
		Full	70	90	-	-	-	-	dB
Power Supply Rejection Ratio	$R_S \leq 10k\Omega$	25	-	-	-	-	30	150	$\mu V/V$
		Full	-	30	150	-	-	-	$\mu V/V$
Input Resistance		25	0.3	2	-	0.3	2	-	M Ω

CA741, CA741C, CA1458, CA1558, LM741, LM741C, LM1458

Electrical Specifications For Equipment Design, $V_{SUPPLY} = \pm 15V$ (Continued)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TEMP (°C)	(NOTE 4) CA741, CA1558, LM741			(NOTE 4) CA741C, CA1458, LM741C, LM1458			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Bias Current		25	-	80	500	-	80	500	nA
		Full	-	-	-	-	-	800	nA
		-55	-	300	1500	-	-	-	nA
		125	-	30	500	-	-	-	nA
Input Offset Current		25	-	20	200	-	20	200	nA
		Full	-	-	-	-	-	300	nA
		-55	-	85	500	-	-	-	nA
		125	-	7	200	-	-	-	nA
Large Signal Voltage Gain	$R_L \geq 2k\Omega, V_O = \pm 10V$	25	50,000	200,000	-	20,000	200,000	-	V/V
		Full	25,000	-	-	15,000	-	-	-
Output Voltage Swing	$R_L \geq 10k\Omega$	25	-	-	-	± 12	± 14	-	V
		Full	± 12	± 14	-	-	-	-	V
	$R_L \geq 2k\Omega$	25	-	-	-	± 10	± 13	-	V
		Full	± 10	± 13	-	± 10	± 13	-	V
Supply Current		25	-	1.7	2.8	-	1.7	2.8	mA
		-55	-	2	3.3	-	-	-	mA
		125	-	1.5	2.5	-	-	-	mA
Device Power Dissipation		25	-	50	85	-	50	85	mW
		-55	-	60	100	-	-	-	mW
		125	-	45	75	-	-	-	mW

NOTE:

4. Values apply for each section of the dual amplifiers.

Test Circuits

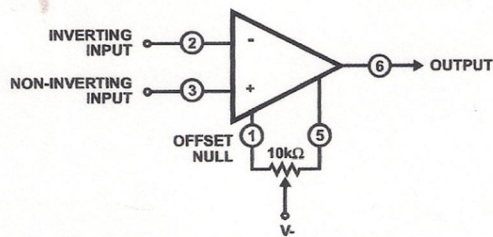


FIGURE 1. OFFSET VOLTAGE NULL CIRCUIT FOR CA741C, CA741, LM741C, AND LM741

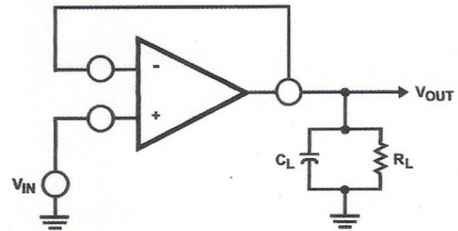


FIGURE 2. TRANSIENT RESPONSE TEST CIRCUIT FOR ALL TYPES



May 1999

DAC0808 8-Bit D/A Converter

General Description

The DAC0808 is an 8-bit monolithic digital-to-analog converter (DAC) featuring a full scale output current settling time of 150 ns while dissipating only 33 mW with $\pm 5V$ supplies. No reference current (I_{REF}) trimming is required for most applications since the full scale output current is typically ± 1 LSB of $255 I_{REF}/256$. Relative accuracies of better than $\pm 0.19\%$ assure 8-bit monotonicity and linearity while zero level output current of less than $4 \mu A$ provides 8-bit zero accuracy for $I_{REF} \geq 2$ mA. The power supply currents of the DAC0808 is independent of bit codes, and exhibits essentially constant device characteristics over the entire supply voltage range.

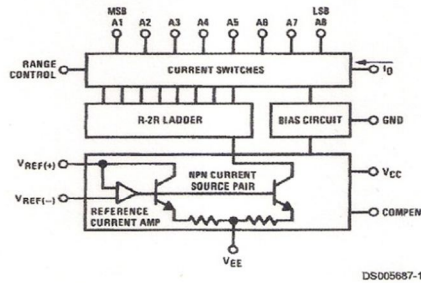
The DAC0808 will interface directly with popular TTL, DTL or CMOS logic levels, and is a direct replacement for the MC1508/MC1408. For higher speed applications, see DAC0800 data sheet.

Features

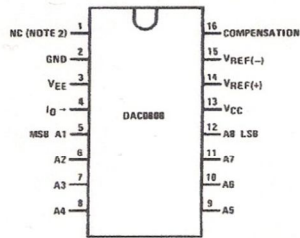
- Relative accuracy: $\pm 0.19\%$ error maximum
- Full scale current match: ± 1 LSB typ
- Fast settling time: 150 ns typ
- Noninverting digital inputs are TTL and CMOS compatible
- High speed multiplying input slew rate: 8 mA/ μs
- Power supply voltage range: $\pm 4.5V$ to $\pm 18V$
- Low power consumption: 33 mW @ $\pm 5V$

DAC0808 8-Bit D/A Converter

Block and Connection Diagrams

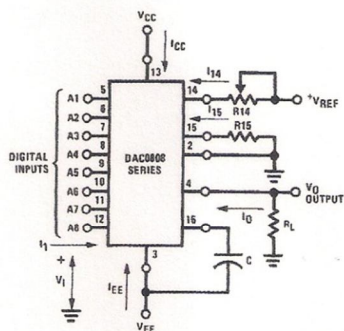


Dual-In-Line Package



Top View
Order Number DAC0808
See NS Package M16A or N16A

Test Circuits



DS005687-6

V_i and I_1 apply to inputs A1-A8.

The resistor tied to pin 15 is to temperature compensate the bias current and may not be necessary for all applications.

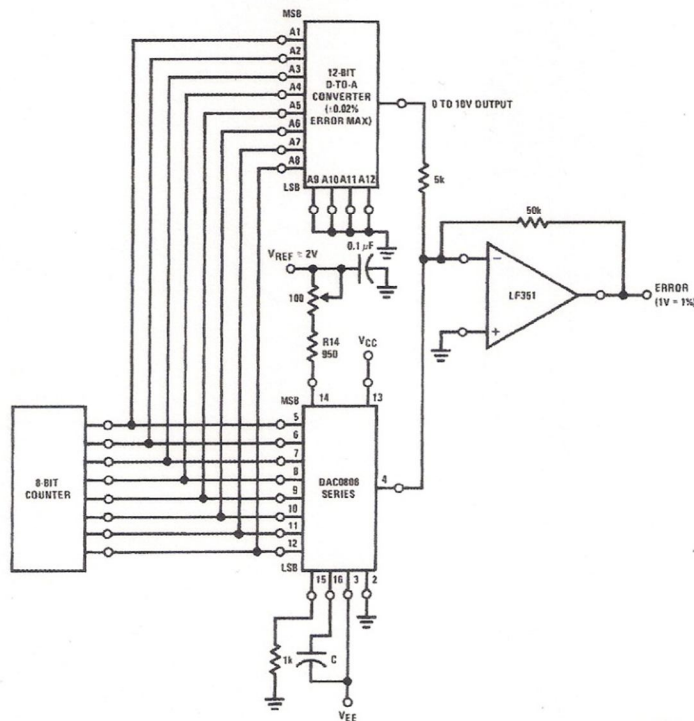
$$I_O = K \left(\frac{A_1}{2} + \frac{A_2}{4} + \frac{A_3}{8} + \frac{A_4}{16} + \frac{A_5}{32} + \frac{A_6}{64} + \frac{A_7}{128} + \frac{A_8}{256} \right)$$

where $K \cong \frac{V_{REF}}{R_{14}}$

and $A_N = "1"$ if A_N is at high level

$A_N = "0"$ if A_N is at low level

FIGURE 3. Notation Definitions Test Circuit (Note 8)



DS005687-7

FIGURE 4. Relative Accuracy Test Circuit (Note 8)

DATASHEET ENCODER ABSOLUTO MODELO SR12

MODEL SR12 ABSOLUTE ENCODER



Actual Size

- Miniature size: 1.25" diameter
- 9-bit resolution
- 512 counts/revolution, single turn
- Exact shaft position available even after power interruption
- Parallel or serial outputs
- Gray code, natural binary or 0-10vdc analog formats
- Rugged aluminum housing
- 1/4" or 6mm stainless steel shaft
- Precision ball bearings
- 5 vdc supply voltage
- TTL compatible outputs
- Low Cost

9 bit resolution in a miniature, low cost package

The Photocraft SR12 is a full function, 9-bit, single-turn, absolute position encoder intended for applications requiring miniature size, low cost, and up to 512 uniquely identifiable positions per revolution. The low cost and small size make it ideal for applications previously limited to using precision potentiometers. The SR12 has the advantage of longer life because of the non-contact optical construction, and it requires fewer external parts since the outputs can directly interface to a computer, PLC, or other digital equipment without the need for A/D converters.

The SR12 is based on a patented, cost saving technology that significantly reduces the size and complexity over conventional absolute encoders without any loss of functionality. Its construction consists of an infrared LED that provides a uniform, dependable light source, and is used to read one of up to 512 unique codes precisely imprinted on a code disk. The intensity of the LED is dynamically adjusted to counteract the effects of

temperature or aging. A linear array sensor and an integrated microcontroller read and interpret the code disk at a rate of 1000 samples per second generating absolute position information accurate to within 1/512th of a rotation. The position is then converted to either a natural binary or a gray code number and output as a 9-bit digital number in either parallel or serial format. The position can also be converted to a 0-10vdc analog voltage.

Use of an absolute code disk guarantees that the SR12 provides correct positional information when power is first applied, without rehoming, even if the system is moved while power is off.

A DataReady output indicates when the parallel outputs are changing. This can be used, for example, as a signal to an external system, or to clock an external latch.

Photocraft, Inc

www.photocraftencoders.com

Phone: 630-365-7148

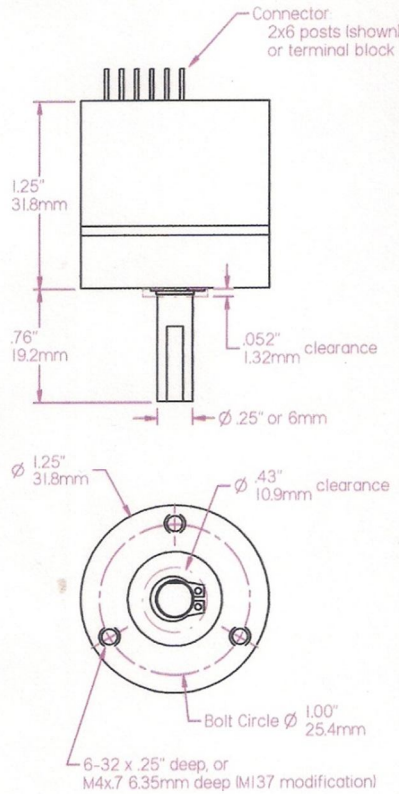
MODEL SR12

Absolute Shaft Encoder

FEATURES

- 7, 8, or 9 bit resolution
- Up to 512 positions/revolution, single turn
- Parallel, Serial, or Analog Outputs
- Digital Output: Natural Binary or Gray Code
- Analog Output: 0-10 vdc
- Supply: 5 vdc (12-30 vdc for analog)
- 1/4" or 6mm Shaft Diameters
- ESD Protected
- Custom Models Available

DIMENSIONS



SPECIFICATIONS

Mechanical

Maximum speed: 5,000 rpm
Bearings: ball bearings, shielded
Shaft Loading: 10 lb. (4.5 kg) axial
 10 lb. (4.5 kg) radial
Bearing Life: 52 x 1,000,000/rpm = hours
Weight: 1.75 oz. (50 gm)

Materials:

- Case: Aluminum, anodized
- Shaft: 303 Stainless steel
- Epoxy potting

Output Configurations

Digital Parallel: 2x6 posts on .1" centers
 — 5vdc with totem-pole outputs



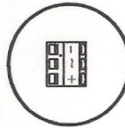
Pin Function	Pin Function
1 Supply	7 2 ⁸
2 2 ³	8 2 ⁷
3 2 ²	9 2 ⁶
4 2 ¹	10 2 ⁵
5 2 ⁰	11 2 ⁴
6 DataReady	12 Common

Digital Serial (SPI): 5 position terminal block
 — 5vdc with totem-pole outputs



Terminal	Function
+	5vdc supply
1	Slave Select
2	Clock Input
3	Data Output
-	Common

Analog: 3 position terminal block
 — 12-30vdc with 0-10vdc output



Terminal	Function
-	Common
~	0-10vdc output
+	12-30vdc supply

Electrical

Supply Voltages: (specify when ordering)

- 5 vdc ± 5%
- 12-30 vdc (only for analog output)

Current: 25 ma max (no load)

Operating Temperature: -40° to 70° C

Output Codes: (specify when ordering)

- Gray Code
- Natural Binary
- 0-10 vdc analog

Interrogation Rate: 1KHz (typical)

Note: This is the rate at which the code disk is sampled. Regardless of the rotational speed, this determines the maximum rate the outputs change.

Consult factory for details.

Resolution: (specify when ordering)

- 128, 256, or 512 positions/revolution

Accuracy: ± 1/2 bit digital, ± 1 bit analog

Rotation: (specify when ordering)

Counts can increase with clockwise (CW) rotation as viewed from shaft end, or they can decrease clockwise.

Digital Output Logic Levels:

- Logic "0": low voltage (0.6 volts max.)
- Logic "1": high voltage (Supply - 0.7 volts min.)

DataReady Output: Normally high, goes low momentarily (7 µsec) while the outputs are changing. Stays low to indicate an error condition.

Analog Output Levels:

- Zero code error: 20mv
- Full-scale error: 125mv
- Relative accuracy: ± 20mv

Output Circuits:

- Totem-pole: 5 ma. max source and 6 ma. max sink current
- 0-10vdc analog: uses OPA251 op amp, and DAC6571 D-to-A converter

MODEL NUMBER

Model Number	Resolution: 128, 256, or 512	Supply Voltages: Analog output: 12-30vdc, Digital output: 5vdc
SR12	Output Code: A=0-10vdc analog, G=Gray Code, N=Natural Binary	Special Features: SPI=Serial Peripheral Interface, M=Modification Number. Call or see our website for more information.
Shaft Diameter: blank for 1/4", M6=6mm	Rotation: leave blank to increase CW, D=counts decrease for CW rotation.	Accessories: leave blank for no accessories. Call or see our website for more information.

Example: SR12-512N/5 - 1/4" shaft, 512 resolution, natural binary code, counts increase for CW rotation, 5vdc supply

MATERIAL HANDLING AND INDUSTRIAL EXPERIENCE SINCE 1974

HOTOCRAFT INC

602 E. North Street Elburn, IL 60119, USA
 630-365-7148 Fax: 630-365-7149
www.photocraftencoders.com

DATASHEET ENCODER INCREMENTAL MODELO E50S8-2500-3-T-24

E50S8

Diameter ϕ 50mm shaft type INCREMENTAL Rotary encoder

■ Features

- Suitable for Angle, Position, Revolution, Speed, Acceleration, Distance detection
- Power supply : 5VDC, 12-24VDC \pm 5%
- Cost effective

■ Applications

- Various tooling machinery, packing machine and general industrial machinery etc.

⚠ Please read "Caution for your safety" in operation manual before using.



■ Ordering information (Former name : ENB)

E50S	8	5000	3	2	24	
Series	Shaft diameter	Pulse/1 Revolution	Output phase	Output	Power supply	Cable
Diameter ϕ 50mm, shaft type	ϕ 8mm	See resolution	2 : A, B 3 : A, B, Z (Standard) 4 : A, \bar{A} , B, \bar{B} 6 : A, \bar{A} , B, \bar{B} , Z, \bar{Z}	1: Totem pole output 2: NPN open collector output 3: Voltage output L: Line driver output(*)	5 : 5VDC \pm 5% 24 : 12-24VDC \pm 5%	No mark: Normal type (*) 2C: Cable outgoing connector type

*Standard: E50S8-PULSE-3-2-24(12-24VDC) *Standard: A, B, Z *The power of Line driver is only for 5VDC

*Cable length : 200mm

■ Specifications

Item	Diameter ϕ 50mm shaft type Incremental Rotary encoder		
Resolution(P/R)	(*Note1) *1, *2, *5, 10, *12, 15, 20, 23, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 75, 100, 120, 150, 192, 200, 240, 250, 256, 300, 360, 400, 500, 512, 600, 800, 1000, 1024, 1200, 1500, 1800, 2000, 2048, 2500, 3000, 3600, 5000 (Not indicated type is available to customize)		
Electrical specification	Output phase	A, B, Z phase (Line driver : A, \bar{A} , B, \bar{B} , Z, \bar{Z} phase)	
	Phase difference of output	Output between A and B phase : $\frac{T}{4} \pm \frac{T}{8}$ (T=1 cycle of A phase)	
	Control output	Totem pole output	• Low \Rightarrow Load current : Max. 20mA, Residual voltage : Max. 0.5VDC • High \Rightarrow Load current : Max. -20mA, Output voltage : Min. (Power supply-1.5)VDC
		NPN open collector output	Load current : Max. 30mA, Residual voltage : Max. 0.4VDC
		Voltage output	Load current : Max. 10mA, Residual voltage : Max. 0.4VDC
		Line driver output	Low \Rightarrow Load current : Max. 20mA, Residual : Max. 0.5V High \Rightarrow Load current : Max. -20mA, Output voltage : Min. 2.5V
	Response time (Rise/Fall)	Totem pole output	Max. 1 μ s
		NPN open collector output	Max. 1 μ s
		Voltage output	Max. 1 μ s
		Line driver output	Max. 0.5 μ s
	Max. Response frequency	180kHz	
	Current consumption	Max. 60mA (disconnection of the load), Line driver output: Max. 50mA (disconnection of the load)	
	Insulation resistance	Min. 100M Ω (at 500VDC)	
Dielectric strength	750VAC 50/60Hz for 1 minute (Between all terminals and case)		
Connection	Cable outgoing type, 200mm cable outgoing connector type		
Mechanical specification	Starting torque	(*Note2) Max. 70gf \cdot cm (0.007N \cdot m)	
	Moment of inertia	Max. 80g \cdot cm ² (8×10^{-5} kg \cdot m ²)	
	Shaft loading	Radial : Max. 10kgf, Thrust : Max. 2.5kgf	
	Deviation of shaft position	Radial : Max. 0.1mm, Thrust : Max. 0.2mm	
	Max. allowable revolution	(*Note3) 5000rpm	
Vibration	1.5mm amplitude at frequency of 10 ~ 55Hz in each of X, Y, Z directions for 2 hours		
Shock	Max. 75G		
Ambient temperature	-10 ~ 70 $^{\circ}$ C (at non-freezing status), Storage: -25 ~ 85 $^{\circ}$ C		
Ambient humidity	35~85%RH, Storage: 35~90%RH		
Protection	IP50 (IEC specification)		
Cable	5P, ϕ 5mm, Length : 2m, Shield cable (Line driver output : 8P, ϕ 5mm)		
Accessory	ϕ 8mm coupling bracket		
Weight	Approx. 275g		
Approval	CE (Except Line driver output)		

(*Note1) *1 pulse is only for A, B phase (Line Driver output is A, \bar{A} , B, \bar{B} phase)

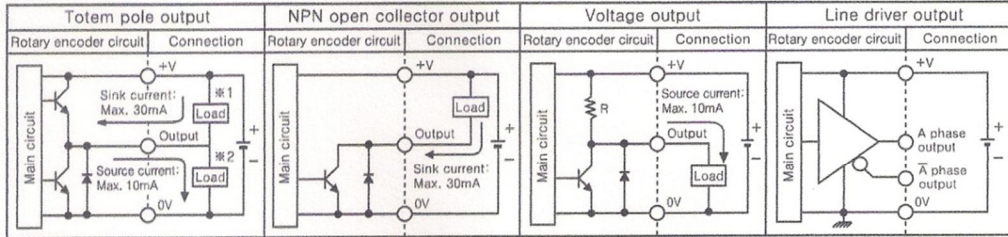
(*Note1) The lower torque than rated torque is optional.

(*Note3) Max. allowable revolution \geq Max. response revolution [Max. response revolution (rpm) = $\frac{\text{Max. response frequency}}{\text{Resolution}} \times 60 \text{ sec}$]

Please select the resolution to make lower max. revolution than max. allowable revolution.

∅ 50 Medium Duty Standard Shaft Type

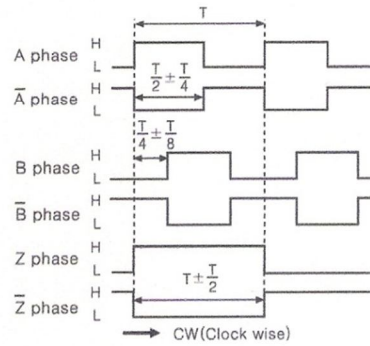
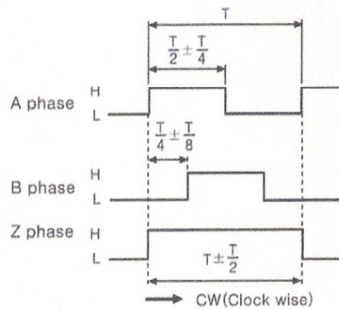
Control output diagram



☞ Totem pole output type can be used for NPN open collector output type(*1) or Voltage output type(*2).
 ☞ All output circuits are the same A, B, Z phase (Line driver output is A, \bar{A} , B, \bar{B} , Z, \bar{Z})

Output waveform

- Totem pole output / NPN open collector output / Voltage output
- Line driver output

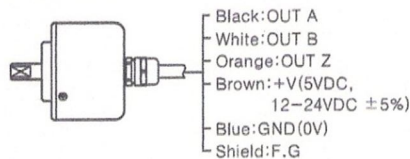


*CW : In a view of shaft

Connections

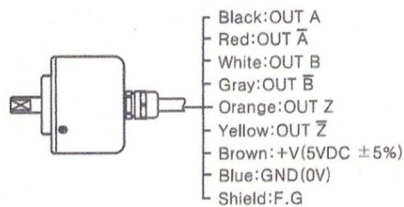
Normal type

- Totem pole output / NPN open collector output / Voltage output

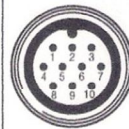


- * Unused wires must be insulated.
- * The shield wire and metal case of encoder must be grounded(F.G)

Line driver output



Cable outgoing connector type



Pin No.	Cable color	Totem pole output NPN open collector output Voltage output	Line driver output
①	Black	OUT A	OUT A
②	Red	N.C	OUT \bar{A}
③	Brown	+V	+V
④	Blue	GND	GND
⑤	White	OUT B	OUT B
⑥	Gray	N.C	OUT \bar{B}
⑦	Orange	OUT Z	OUT Z
⑧	Yellow	N.C	OUT \bar{Z}
⑨	Shield	F.G	F.G
⑩	Purple	N.C	N.C

* N.C(Not Connected)
 * F.G(Field Ground)

(A) Counter

(B) Timer

(C) Temp. controller

(D) Power controller

(E) Panel meter

(F) Tacho/Speed/Pulse meter

(G) Display unit

(H) Sensor controller

(I) Proximity sensor

(J) Photo electric sensor

(K) Pressure sensor

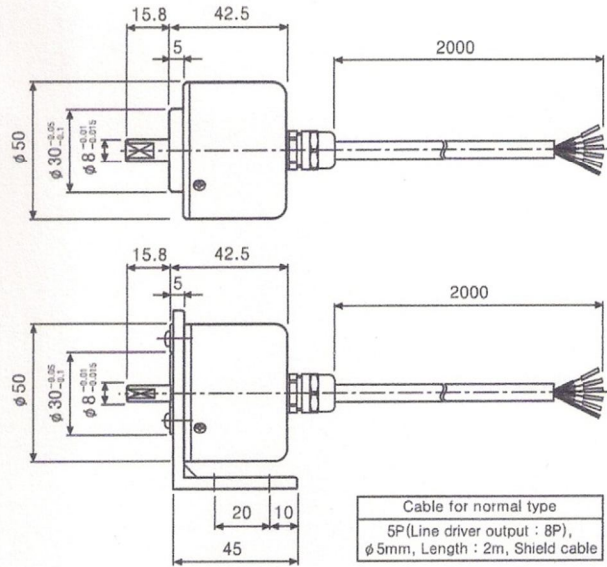
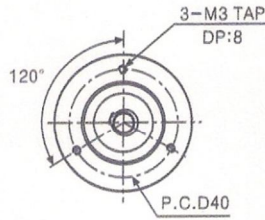
(L) Rotary encoder

(M) 5-Phase stepping motor & Driver & Controller

E50S8

Dimensions

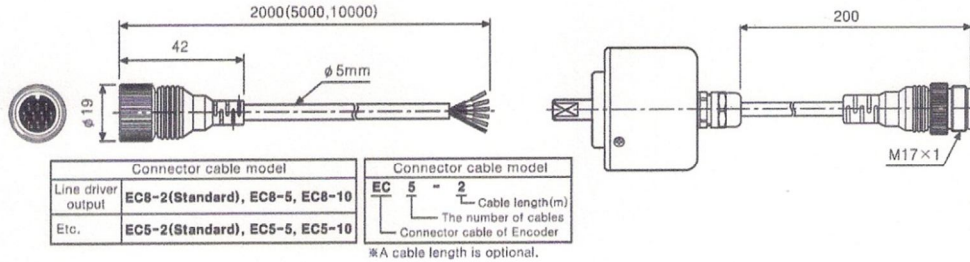
Normal type



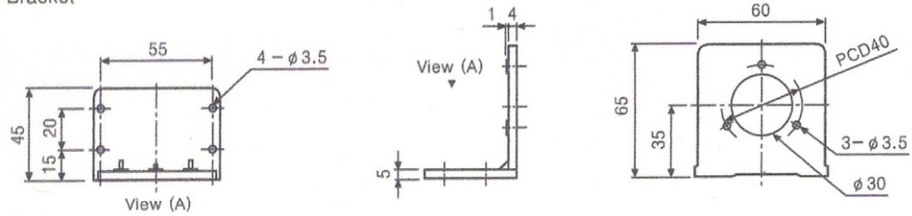
Cable for normal type
5P(Line driver output : BP),
φ5mm, Length : 2m, Shield cable

Cable outgoing connector type

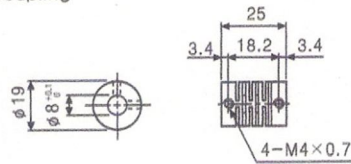
- Connector cable (Accessory)



- Bracket



- Coupling



Unit:mm

DATASHEET COMPUERTA LOGICA HD74LS04



HD74LS04 / HD74LS05

Hex Inverters / Hex Inverters (with Open Collector Outputs)

REJ03D0391-0300
Rev.3.00
Jul.13.2005

Features

- Ordering Information
- HD74LS04

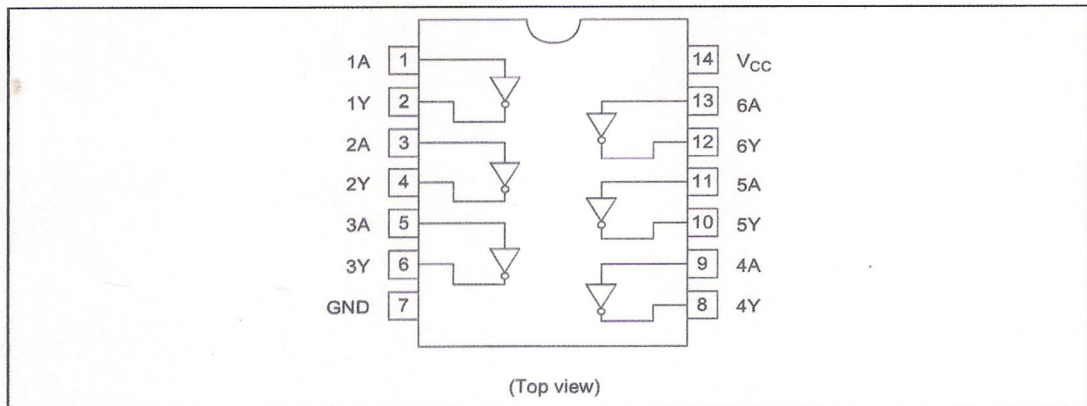
Part Name	Package Type	Package Code (Previous Code)	Package Abbreviation	Taping Abbreviation (Quantity)
HD74LS04P	DILP-14 pin	PRDP0014AB-B (DP-14AV)	P	—
HD74LS04FPEL	SOP-14 pin (JEITA)	PRSP0014DF-B (FP-14DAV)	FP	EL (2,000 pcs/reel)
HD74LS04RPEL	SOP-14 pin (JEDEC)	PRSP0014DE-A (FP-14DNV)	RP	EL (2,500 pcs/reel)

- HD74LS05

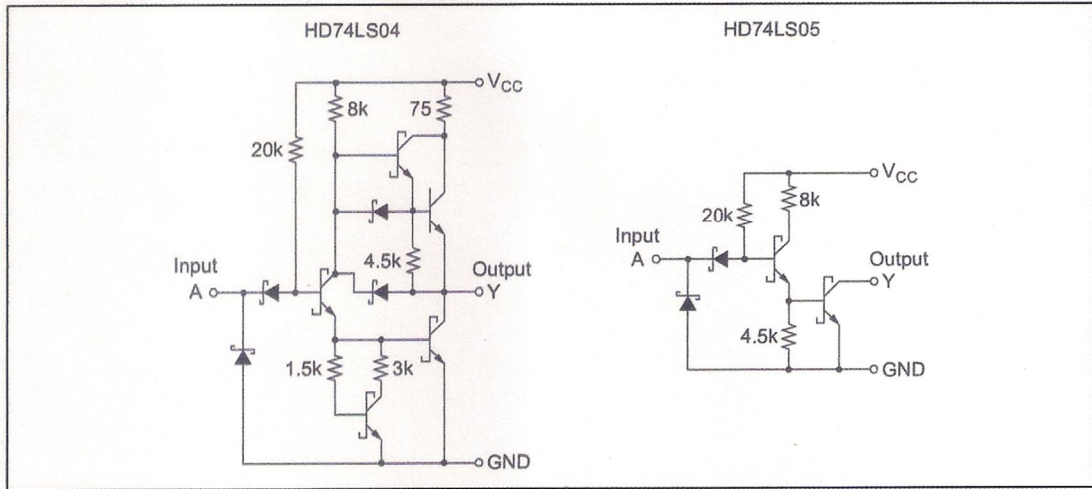
Part Name	Package Type	Package Code (Previous Code)	Package Abbreviation	Taping Abbreviation (Quantity)
HD74LS05P	DILP-14 pin	PRDP0014AB-B (DP-14AV)	P	—
HD74LS05FPEL	SOP-14 pin (JEITA)	PRSP0014DF-B (FP-14DAV)	FP	EL (2,000 pcs/reel)
HD74LS05RPEL	SOP-14 pin (JEDEC)	PRSP0014DE-A (FP-14DNV)	RP	EL (2,500 pcs/reel)

Note: Please consult the sales office for the above package availability.

Pin Arrangement



Circuit Schematic (1/6)



Absolute Maximum Ratings

Item	Symbol	Ratings	Unit
Supply voltage	V_{CC} ^{Note}	7	V
Input voltage	V_{IN}	7	V
Power dissipation	P_T	400	mW
Storage temperature	T_{stg}	-65 to +150	°C

Note: Voltage value, unless otherwise noted, are with respect to network ground terminal.

Recommended Operating Conditions

• HD74LS04

Item	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Supply voltage	V_{CC}	4.75	5.00	5.25	V
Output current	I_{OH}	—	—	-400	μA
	I_{OL}	—	—	8	mA
Operating temperature	T_{opr}	-20	25	75	°C

• HD74LS05

Item	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Supply voltage	V_{CC}	4.75	5.00	5.25	V
Output voltage	V_{OH}	—	—	5.5	V
Output current	I_{OL}	—	—	8	mA
Operating temperature	T_{opr}	-20	25	75	°C

HD74LS04 / HD74LS05

Electrical Characteristics

• HD74LS04

(Ta = -20 to +75 °C)

Item	Symbol	min.	typ.*	max.	Unit	Condition
Input voltage	V _{IH}	2.0	—	—	V	
	V _{IL}	—	—	0.8	V	
Output voltage	V _{OH}	2.7	—	—	V	V _{CC} = 4.75 V, V _{IL} = 0.8 V, I _{OH} = -400 μA
	V _{OL}	—	—	0.5	V	I _{OL} = 8 mA V _{CC} = 4.75 V, V _{IH} = 2 V
—		—	0.4			
Input current	I _{IH}	—	—	20	μA	V _{CC} = 5.25 V, V _I = 2.7 V
	I _{IL}	—	—	-0.4	mA	V _{CC} = 5.25 V, V _I = 0.4 V
	I _I	—	—	0.1	mA	V _{CC} = 5.25 V, V _I = 7 V
Short-circuit output current	I _{OS}	-20	—	-100	mA	V _{CC} = 5.25 V
Supply current	I _{CCH}	—	1.2	2.4	mA	V _{CC} = 5.25 V
	I _{CCL}	—	3.6	6.6	mA	V _{CC} = 5.25 V
Input clamp voltage	V _{IK}	—	—	-1.5	V	V _{CC} = 4.75 V, I _{IN} = -18 mA

Note: * V_{CC} = 5 V, Ta = 25°C

• HD74LS05

(Ta = -20 to +75 °C)

Item	Symbol	min.	typ.*	max.	Unit	Condition
Input voltage	V _{IH}	2.0	—	—	V	
	V _{IL}	—	—	0.8	V	
Output voltage	V _{OL}	—	—	0.5	V	I _{OL} = 8 mA V _{CC} = 4.75 V, V _{IH} = 2 V
		—	—	0.4		
Output current	I _{OH}	—	—	100	μA	V _{CC} = 4.75 V, V _{IL} = 0.8 V, V _{OA} = 5.5 V
Input current	I _{IH}	—	—	20	μA	V _{CC} = 5.25 V, V _I = 2.7 V
	I _{IL}	—	—	-0.4	mA	V _{CC} = 5.25 V, V _I = 0.4 V
	I _I	—	—	0.1	mA	V _{CC} = 5.25 V, V _I = 7 V
Supply current	I _{CCH}	—	1.2	2.4	mA	V _{CC} = 5.25 V
	I _{CCL}	—	3.6	6.6	mA	V _{CC} = 5.25 V
Input clamp voltage	V _{IK}	—	—	-1.5	V	V _{CC} = 4.75 V, I _{IN} = -18 mA

Note: * V_{CC} = 5 V, Ta = 25°C

Switching Characteristics

• HD74LS04

(V_{CC} = 5 V, Ta = 25°C)

Item	Symbol	min.	typ.	max.	Unit	Condition
Propagation delay time	t _{PLH}	—	9	15	ns	C _L = 15 pF, R _L = 2 kΩ
	t _{PHL}	—	10	15	ns	

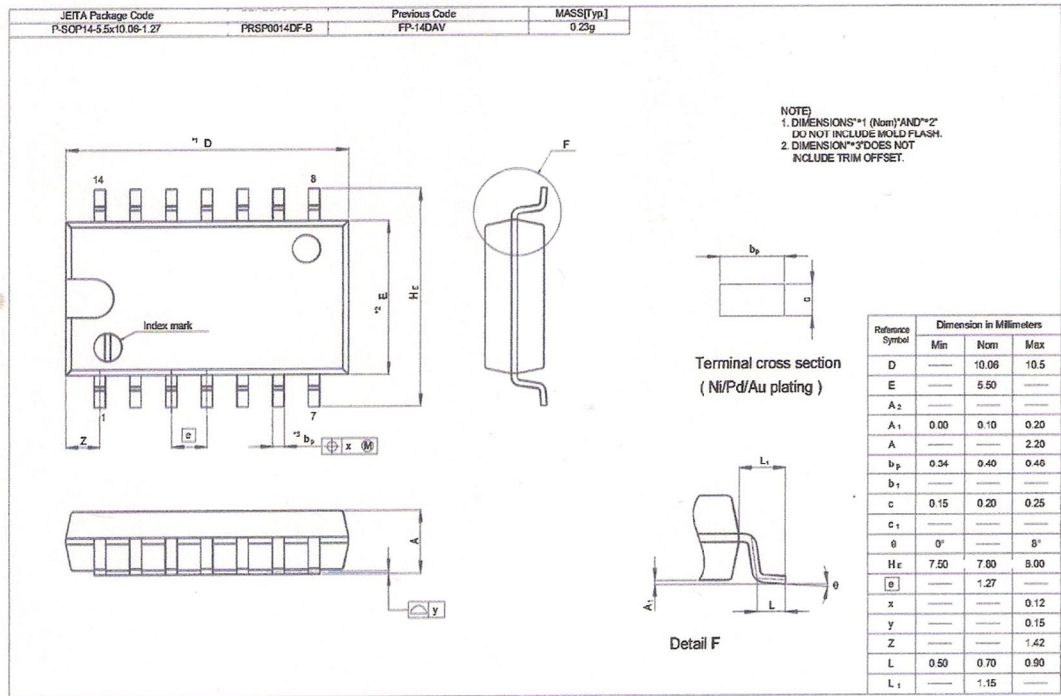
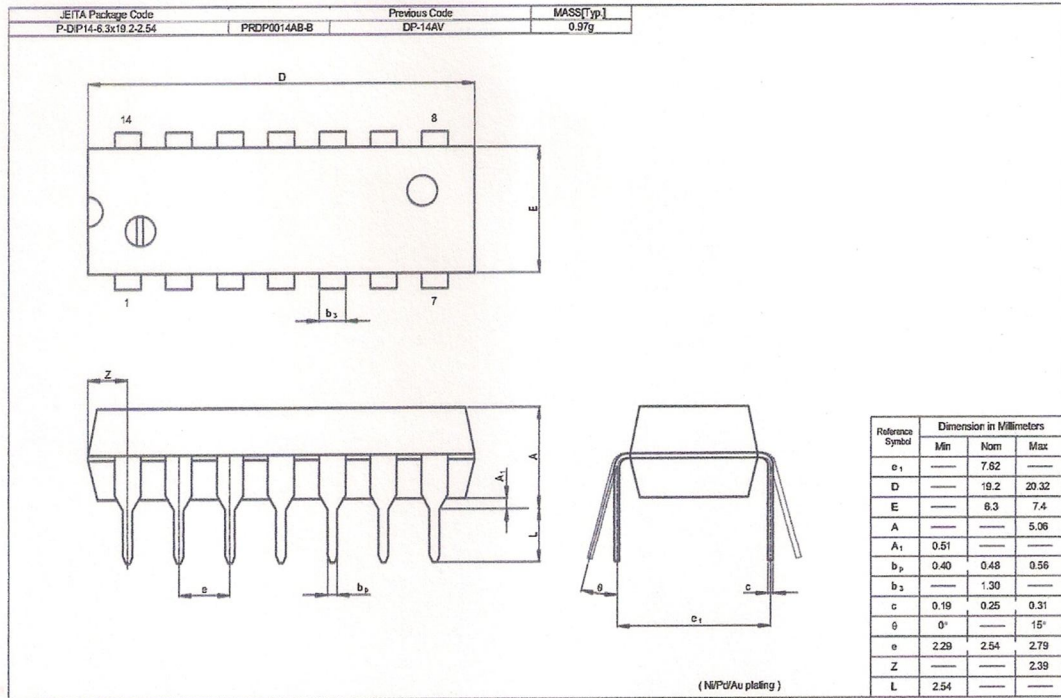
• HD74LS05

(V_{CC} = 5 V, Ta = 25°C)

Item	Symbol	min.	typ.	max.	Unit	Condition
Propagation delay time	t _{PLH}	—	17	32	ns	C _L = 15 pF, R _L = 2 kΩ
	t _{PHL}	—	15	28	ns	

Note: Refer to Test Circuit and Waveform of the Common Item "TTL Common Matter (Document No.: REJ27D0005-0100)".

Package Dimensions



DATASHEET COMPUERTA LOGICA HD74LS08



HD74LS08

Quadruple 2-Input Positive AND Gates

REJ03D0394-0200
Rev.2.00
Feb.18.2005

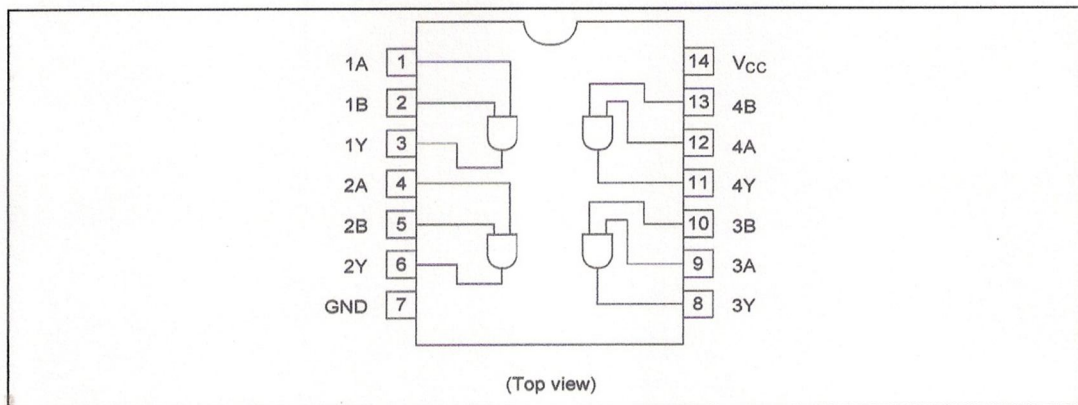
Features

- Ordering Information

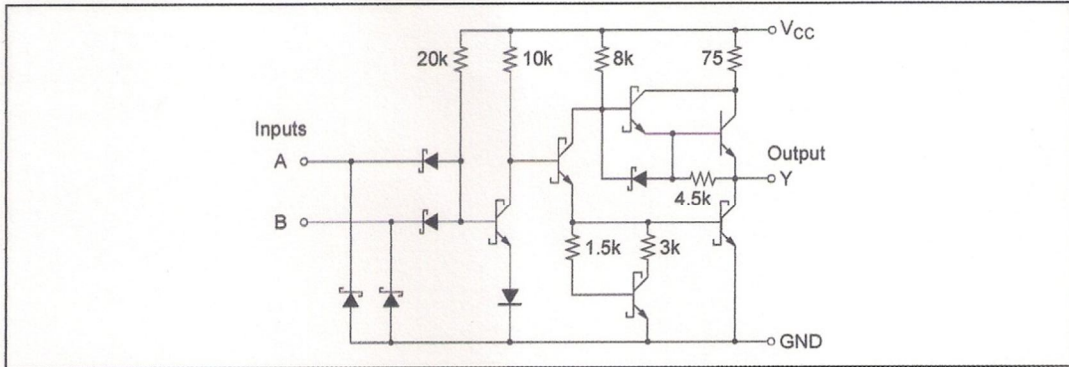
Part Name	Package Type	Package Code (Previous Code)	Package Abbreviation	Taping Abbreviation (Quantity)
HD74LS08P	DILP-14 pin	PRDP0014AB-B (DP-14AV)	P	—
HD74LS08FPEL	SOP-14 pin (JEITA)	PRSP0014DF-B (FP-14DAV)	FP	EL (2,000 pcs/reel)
HD74LS08RPEL	SOP-14 pin (JEDEC)	PRSP0014DE-A (FP-14DNV)	RP	EL (2,500 pcs/reel)

Note: Please consult the sales office for the above package availability.

Pin Arrangement



Circuit Schematic (1/4)



Absolute Maximum Ratings

Item	Symbol	Ratings	Unit
Supply voltage	V_{CC} ^{Note}	7	V
Input voltage	V_{IN}	7	V
Power dissipation	P_T	400	mW
Storage temperature	T_{stg}	-65 to +150	°C

Note: Voltage value, unless otherwise noted, are with respect to network ground terminal.

Recommended Operating Conditions

Item	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Supply voltage	V_{CC}	4.75	5.00	5.25	V
Output current	I_{OH}	—	—	-400	μA
	I_{OL}	—	—	8	mA
Operating temperature	T_{opr}	-20	25	75	°C

HD74LS08

Electrical Characteristics

(Ta = -20 to +75 °C)

Item	Symbol	min.	typ.*	max.	Unit	Condition
Input voltage	V _{IH}	2.0	—	—	V	
	V _{IL}	—	—	0.8	V	
Output voltage	V _{OH}	2.7	—	—	V	V _{CC} = 4.75 V, V _{IH} = 2 V, I _{OH} = -400 μA
	V _{OL}	—	—	0.5	V	V _{CC} = 4.75 V, V _{IL} = 0.8 V
		—	—	0.4		
Input current	I _{IH}	—	—	20	μA	V _{CC} = 5.25 V, V _I = 2.7 V
	I _{IL}	—	—	-0.4	mA	V _{CC} = 5.25 V, V _I = 0.4 V
	I _I	—	—	0.1	mA	V _{CC} = 5.25 V, V _I = 7 V
Short-circuit output current	I _{OS}	-20	—	-100	mA	V _{CC} = 5.25 V
Supply current	I _{CCH}	—	2.4	4.8	mA	V _{CC} = 5.25 V
	I _{CCL}	—	4.4	8.8	mA	V _{CC} = 5.25 V
Input clamp voltage	V _{IK}	—	—	-1.5	V	V _{CC} = 4.75 V, I _{IN} = -18 mA

Note: * V_{CC} = 5 V, Ta = 25°C

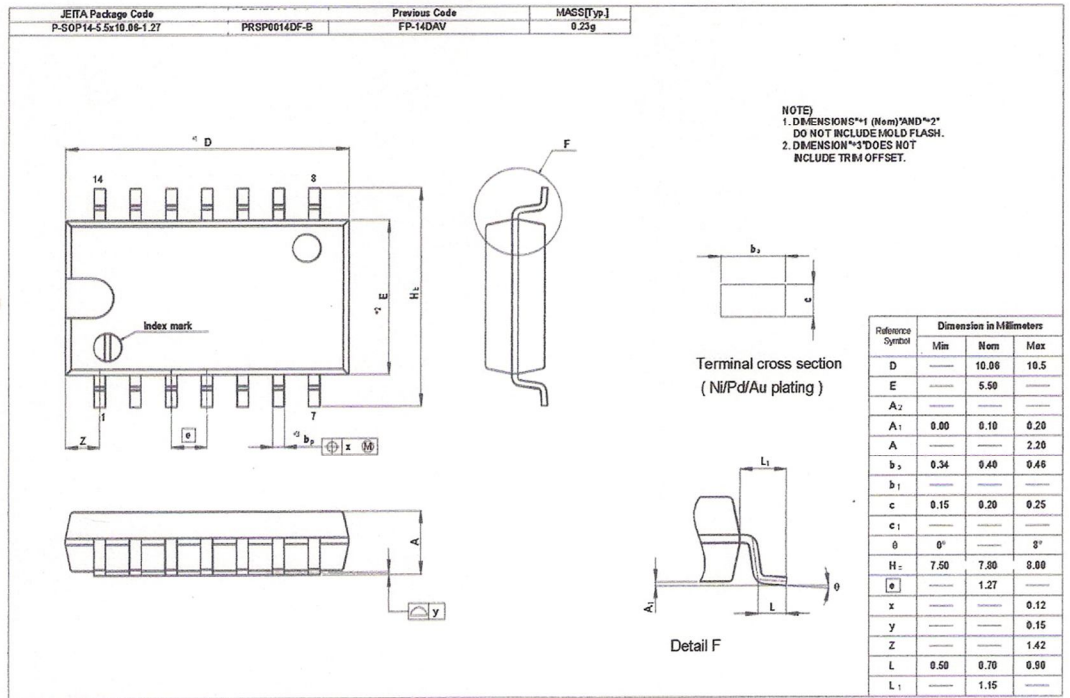
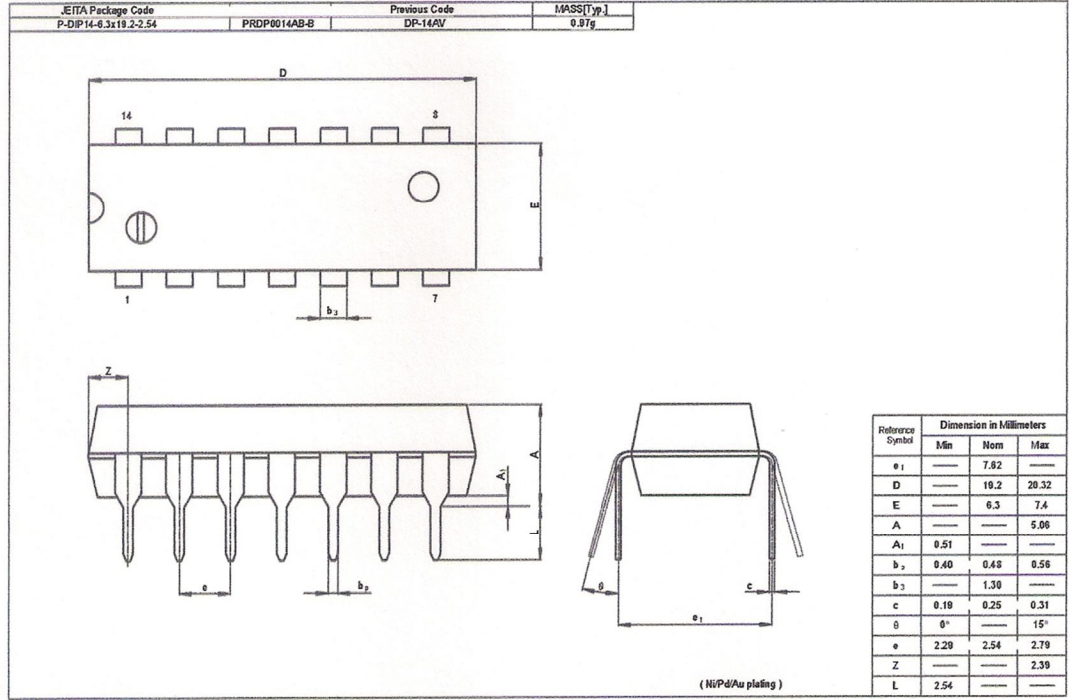
Switching Characteristics

(V_{CC} = 5 V, Ta = 25°C)

Item	Symbol	min.	typ.	max.	Unit	Condition
Propagation delay time	t _{PLH}	—	8	15	ns	C _L = 15 pF, R _L = 2 kΩ
	t _{PHL}	—	10	20	ns	

Note: Refer to Test Circuit and Waveform of the Common Item "TTL Common Matter (Document No.: REJ27D0005-0100)".

Package Dimensions

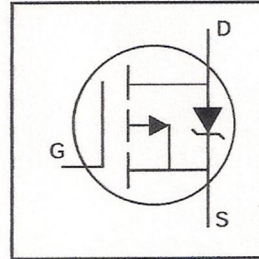


International
IR Rectifier

IRF4905

HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Ultra Low On-Resistance
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- P-Channel
- Fully Avalanche Rated

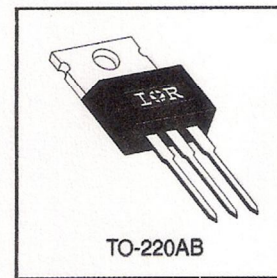


$V_{DSS} = -55V$
$R_{DS(on)} = 0.02\Omega$
$I_D = -74A$

Description

Fifth Generation HEXFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET Power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.



Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ -10V$	-74	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ -10V$	-52	
I_{DM}	Pulsed Drain Current ①	-260	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	200	W
	Linear Derating Factor	1.3	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy②	930	mJ
I_{AR}	Avalanche Current③	-38	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy④	20	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ⑤	-5.0	V/ns
T_J	Operating Junction and	-55 to + 175	°C
T_{STG}	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf•in (1.1N•m)	

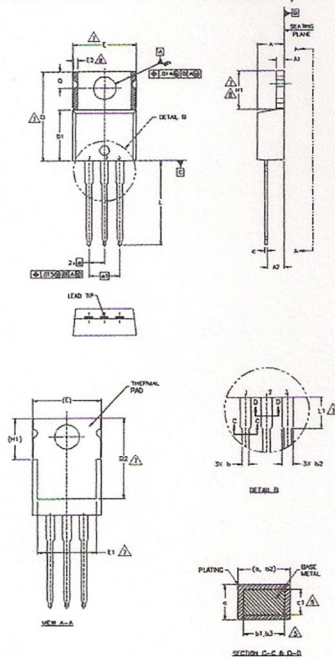
Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	0.75	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	62	

IRF4905 TO-220AB Package Outline

Dimensions are shown in millimeters (inches)

International
IR Rectifier



- NOTES:
- 1.- DIMENSIONING AND TOLERANCING AS PER ASME Y14.5 M- 1994.
 - 2.- DIMENSIONS ARE SHOWN IN INCHES [MILLIMETERS].
 - 3.- LEAD DIMENSION AND FINISH UNCONTROLLED IN L1.
 - 4.- DIMENSION D, D1 & E DO NOT INCLUDE MOLD FLASH. MOLD FLASH SHALL NOT EXCEED .005" (0.127) PER SIDE. THESE DIMENSIONS ARE MEASURED AT THE OUTERMOST EXTREMES OF THE PLASTIC BODY.
 - 5.- DIMENSION b1, b2 & c1 APPLY TO BASE METAL ONLY.
 - 6.- CONTROLLING DIMENSION - INCHES.
 - 7.- THERMAL PAD CONFIG. OPTIONAL WITHIN DIMENSIONS E, H1, D2 & E1.
 - 8.- DIMENSION E2 ± H1 DEFINE A ZONE WHERE STAMPING AND SINGULATION IRREGULARITIES ARE ALLOWED.
 - 9.- OUTLINE CONFORMS TO JEDEC TO-220, EXCEPT A2 (max.) AND D2 (min.) WHERE DIMENSIONS ARE DERIVED FROM THE ACTUAL PACKAGE OUTLINE.

SYMBOL	DIMENSIONS				NOTES
	MILLIMETERS		INCHES		
	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.	
A	3.56	4.83	.140	.190	
A1	0.51	1.40	.020	.055	
A2	2.03	2.92	.080	.115	
b	0.38	1.01	.015	.040	
b1	0.38	0.97	.015	.038	5
b2	1.14	1.78	.045	.070	
b3	1.14	1.73	.045	.068	5
c	0.36	0.61	.014	.024	
c1	0.36	0.56	.014	.022	5
D	14.22	16.51	.560	.650	4
D1	8.38	9.02	.330	.355	
D2	11.68	12.88	.460	.507	7
E	9.65	10.67	.380	.420	4,7
E1	6.86	8.89	.270	.350	7
E2	-	0.76	-	.030	8
e	2.54 BSC		.100 BSC		
e1	0.08 BSC		.003 BSC		
H1	5.84	6.86	.230	.270	7,8
L	12.70	14.73	.500	.580	
L1	-	6.35	-	.250	3
PP	3.54	4.08	.139	.161	
O	2.54	3.42	.100	.135	

LEAD ASSIGNMENTS

- KEYSET
1 - GATE
2 - DRAIN
3 - SOURCE

DRILL GUIDE

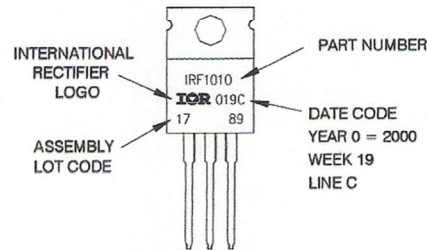
- 1 - GATE
2 - COLLECTOR
3 - EMITTER

- DIODES
1 - ANODE
2 - CATHODE
3 - ANODE

TO-220AB Part Marking Information

EXAMPLE: THIS IS AN IRF1010
LOT CODE 1789
ASSEMBLED ON WW 19, 2000
IN THE ASSEMBLY LINE 'C'

Note: 'P' in assembly line position
indicates 'Lead - Free'



TO-220AB packages are not recommended for Surface Mount Application.

Note: For the most current drawing please refer to IR website at <http://www.irf.com/package/pkhexfet.html>

Data and specifications subject to change without notice.
Qualification Standards can be found on IR's Web site.

International
IR Rectifier

IR WORLD HEADQUARTERS: 233 Kansas St., El Segundo, California 90245, USA Tel: (310) 252-7105
TAC Fax: (310) 252-7903

Visit us at www.irf.com for sales contact information. 05/07

DATASHEET IRFZ48N

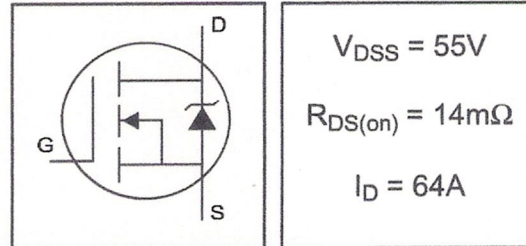
International
IR Rectifier

PD - 91406

IRFZ48N

HEXFET® Power MOSFET

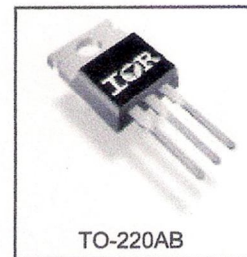
- Advanced Process Technology
- Ultra Low On-Resistance
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated



Description

Advanced HEXFET® Power MOSFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.



Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10\text{V}$	64	A
$I_D @ T_C = 100^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10\text{V}$	45	
I_{DM}	Pulsed Drain Current ①	210	
$P_D @ T_C = 25^\circ\text{C}$	Power Dissipation	130	W
	Linear Derating Factor	0.83	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
I_{AR}	Avalanche Current ①	32	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy ①	13	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	5.0	V/ns
T_J	Operating Junction and	-55 to +175	°C
T_{STG}	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf•in (1.1N•m).	

Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	1.15	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	62	

www.irf.com

1

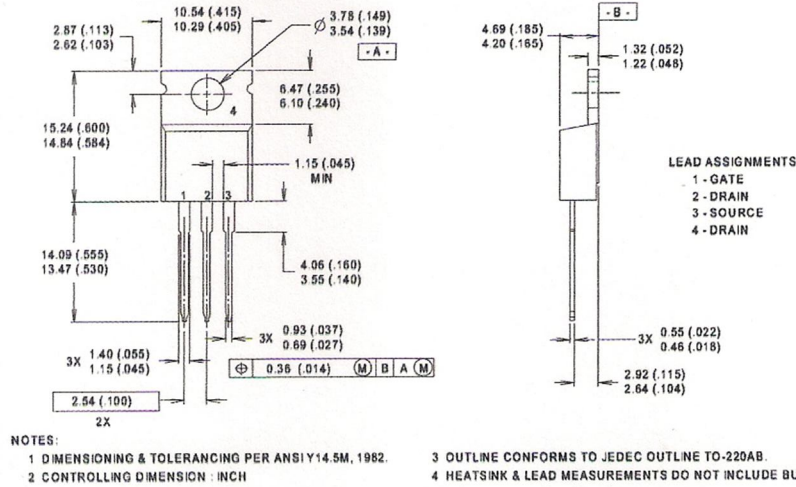
1/3/01

IRFZ48N

International
IR Rectifier

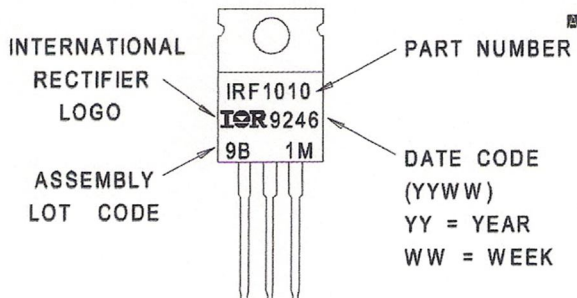
Package Outline TO-220AB

Dimensions are shown in millimeters (inches)



Part Marking Information TO-220AB

EXAMPLE : THIS IS AN IRF1010
WITH ASSEMBLY
LOT CODE 9B1M



Data and specifications subject to change without notice.
 This product has been designed and qualified for the Automotive [Q101] market.
 Qualification Standards can be found on IR's Web site.

International
IR Rectifier

IR WORLD HEADQUARTERS: 233 Kansas St., El Segundo, California 90245, USA Tel: (310) 252-7105
 TAC Fax: (310) 252-7903

Visit us at www.irf.com for sales contact information.1/01

DATASHEET TRANSMISOR DE FRECUENCI PI-F

PI-F Programmable Isolating Frequency Transmitter.

Programmable, Isolating
Frequency Input to DC Current or
DC Voltage Output Transmitter.

Features.

- Field Programmable Input and Output Ranges.
- Bi-Polar Output Ranges.
- Fast Response Time, Allowing Accurate Control.
- Impedance Matching on Input.
- Contact Closure Selection.
- Crystal Locked Period Measurement.
- Input to Output Isolation 1.0kV.
- High Accuracy 0.1%.
- Universal AC/DC Power Supply.
- Compact DIN Rail Mount Enclosure.
- Available Standard or Special Calibration.



Other PI- models include:
PI-B Bridge / Strain gauge;
PI-D DC; mA, mV, V.
PI-F Frequency;
PI-K Resistance;
PI-M Maths Computing;
PI-N RTD Differential Pt100;
PI-P Potentiometer;
PI-R RTD Pt100;
PI-S Relay Dual Setpoint;
PI-T Thermocouple.

Ordering Information.

PI-F-X Standard Calibration: Input 0~100Hz; Output 4~20mA;
High Voltage Power Supply.

PI-F - - - - Special Range Special Range Calibration.
IR OR PS

INPUT RANGES		OUTPUT RANGES			
Frequency	IR	Voltage	OR	Current	OR
0~0.4Hz	1	0~500mV	A	0~1mA	1
0~0.5Hz	2	0~1V	B	0~2mA	2
0~1Hz	3	0~2V	C	0~5mA	3
0~2Hz	4	0~3V	D	0~10mA	4
0~4Hz	5	0~4V	E	0~16mA	5
0~5Hz	6	0~5V	F	0~20mA	6
0~10Hz	7	0~6V	G	1~5mA	7
0~20Hz	8	0~8V	H	2~10mA	8
0~40Hz	9	0~10V	I	4~20mA	9
0~50Hz	10	0~12V	J	-1~1mA	10
0~100Hz	11	1~5V	K	-2~2mA	11
0~200Hz	12	2~10V	L	-5~5mA	12
0~400Hz	13	-1~1V	M	-10~10mA	13
0~500Hz	14	-2~2V	N	-20~20mA	14
0~1kHz	15	-5~5V	O		
0~2kHz	16	-10~10V	P		
0~4kHz	17	-12~12V	Q		
0~5kHz	18				
0~10kHz	19				
0~20kHz	20				
0~40kHz	21				
Special Input Range	Z	Special Output Range			Z

POWER SUPPLY	PS
High Voltage Power Supply: 85~264Vac/dc	H
Mid Voltage Power Supply: 22~85Vac/dc	M
Low Voltage Power Supply: 10~28Vac/dc	L

Note: Power supply H is field selectable for M, and M for H. Power supply L must be ordered separately.

Ordering Examples.

- 1/ PI-F-15-1-L 0~1kHz Input; 0~1mA Output; Low Voltage Power Supply.
2/ PI-F-Z-P-H-0/28Hz 0~28Hz Input; -10~10V Output; High Voltage Power Supply.

Quality Assurance Programme.

The modern technology and strict procedures of the ISO9001 Quality Assurance Programme applied during design, development, production and final inspection grant long term reliability of the instrument.

3.05-1

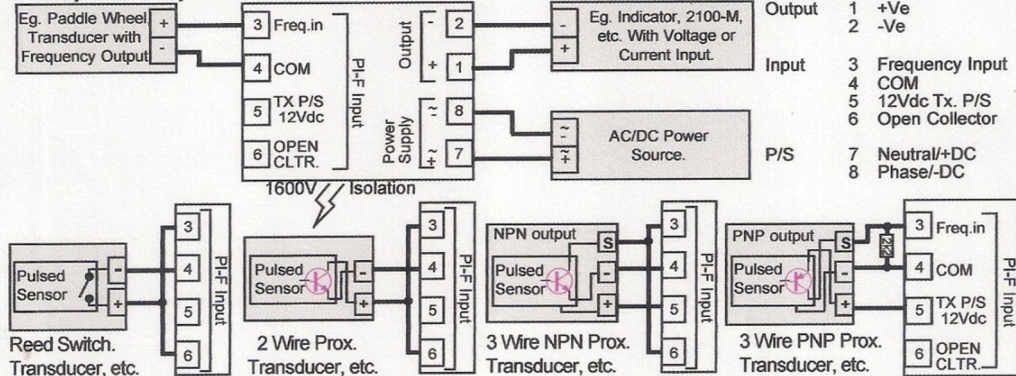
PI-F Rev2 Specifications.

Frequency Input	2 Wire Sine / Square / Pulse, Uni-polar / Bi-polar. (Signals < 2Vpp Bipolar Only.) Minimum Input Signal = 15mVpp. Maximum Input Signal = 100Vpp. Field Programmable Span From 0.4Hz to 40kHz. (60Hz Max. for Contact Input.) Adjustable Input Impedance From 1200Ω to 100kΩ. Open Collector Output, Limited to 12Vdc @ 10mA. Time-out to 0% after: 200*(Frequency X Prescale) sec. Cut-off Frequency at 0.5% FSO.
-Transmitter P/S	12Vdc±8% Common to COM. (Terminal 4.) Max Load = 50mA.
Output - Voltage	Field Programmable From 500mVdc to ±12Vdc. Maximum Output Drive = 10mA.
- Current	Field Programmable From 1mAdc to ±20mAdc. Maximum Output Drive = 10Vdc. (500Ω @ 20mA.)
Power -H	85~264Vac/dc; 50/60Hz; 5VA.
-M	22~85Vac/dc; 50/60Hz; 5VA. 32Vac Min. When Using 12V TX. P/S.
-L	10~28Vac/dc; 50/60Hz; 5VA.
-Circuit Sensitivity	<±0.001%/V FSO Typical.
Accurate to	<±0.1% FSO Typical.
Linearity & Repeatability	<±0.1% FSO Typical.
Ambient Drift	<±0.01%/C FSO Typical.
Noise Immunity	125dB CMRR Average. (1000Vdc Limit.)
EMC Compliances	Emissions EN 55022-A. Immunity EN 50082-1, <1% Effect FSO Typical.
Safety Compliance	EN 60950
Mains Isolation	250Vac.
Isolation Test Voltages	Mains to Input/Output 3kVac 50Hz for 1min; Input to Output 1kVdc for 1min.
Response Time	(1/(FREQUENCY x PRESCALE)) + 0.2sec. Typical. (Except Time-out to 0%.)
Operating Temperature & Humidity	0~60C. (Storage Temp. -20~80C.) 5~85% RH Max. Non-Condensing.
Dimensions and Mounting	L=80, W=50, H=120mm. Mounts on 35mm Symmetrical Mounting Rail.

Product Liability. This information describes our products. It does not constitute guaranteed properties and is not intended to affirm the suitability of a product for a particular application. Due to ongoing research and development, designs, specifications, and documentation are subject to change without notification. Regrettably, omissions and exceptions cannot be completely ruled out. No liability will be accepted for errors, omissions or amendments to this specification. Technical data are always specified by their average values and are based on Standard Calibration Units at 25C, unless otherwise specified. Each product is subject to the 'Conditions of Sale'.

Warning: These products are not designed for use in, and should not be used for patient connected applications. In any critical installation an independant fail-safe back-up system must always be implemented.

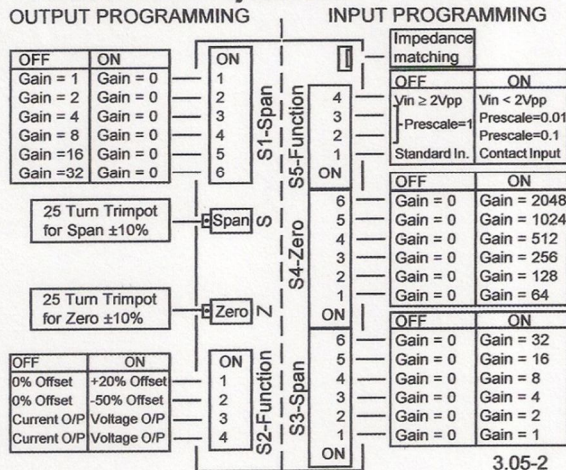
Examples of Input Connection.



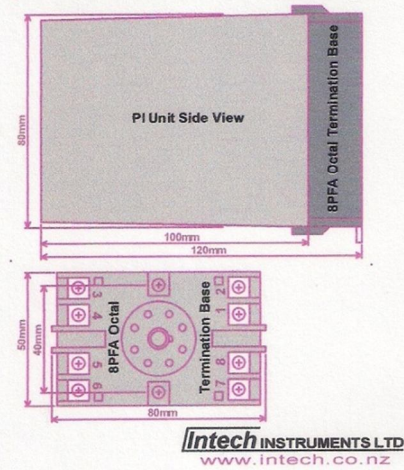
Terminations.

Output	1 +Ve
	2 -Ve
Input	3 Frequency Input
	4 COM
	5 12Vdc Tx. P/S
	6 Open Collector
P/S	7 Neutral/+DC
	8 Phase/-DC

Plan View of PI-F Adjustments.



PI-F Dimensions and Mounting.



Intech INSTRUMENTS LTD
www.intech.co.nz

PI-F Input Programming.

Always set OUTPUT range first, then INPUT range. If the input range is not listed in the programming table, use the following formulae to work out the Span DIP switch settings for gain.

$$\text{Span Gain} = \frac{1600}{\text{FREQUENCY} \times \text{PRESCALE}}$$

Enter the Span gain value into the appropriate Span DIP switch. DIP switches and Pots are accessed by removing the small rectangular lid on the top of the PI-F enclosure

INPUT RANGE	S5-2	S5-3	PRESCALE
0.4Hz~400Hz	0	0	1
400Hz~4kHz	1	0	0.1
4kHz~40kHz	0	1	0.01

Note: Only one of S5-2 or S5-3 may be 'ON' at any one time.

Gain Value	1	2	4	8	16	32	Gain Value	64	128	256	512	1024	2048
S3 Switch No.	1	2	3	4	5	6	S4 Switch No.	1	2	3	4	5	6

e.g. If a gain value of 280 is required, put DIP Switch S3 - No. 4 & No.5, and DIP switch S4 - No.3 ON, and all the other DIP switches OFF. (i.e. Gains of 8 + 16 + 256 = 280)

S5-1 Contact Closure Selection.

For contact closure inputs such as reed switches and relay contacts, put S5-1 ON. This will limit the maximum input frequency to 60Hz. For particularly noisy contacts it might be necessary to place a 1µF non-polarised metal film capacitor directly across the contacts to suppress noise. Ensure the voltage rating of the capacitor is more than the voltage across the contacts. (Minimum of 16V.)

S5-4 Voltage Input Range Selection.

Note: The low voltage option is only available for bipolar signals. For low voltage input signals < 2Vpp (eg. from a paddle wheel) S5-4 should be put in the ON position. For voltage input signals ≥ 2Vpp S5-4 should be put in the OFF position.

Impedance Matching.

For noisy inputs use the trimpot marked 'I.M.' to tune the input impedance to equal the source impedance. To do this:

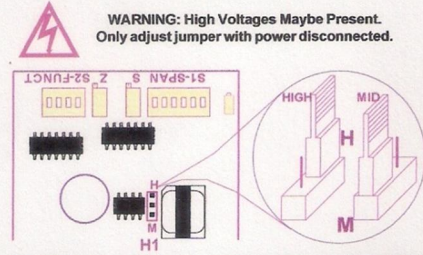
- (i) install and commission transmitter as described on the following page;
- (ii) slowly turn the trimpot anticlockwise, until the output becomes steady.

PI-F Input Range Programming Table.

Notes: Switch Status 1 = ON, 0 = OFF.

INPUT FREQUENCY	S3-SPAN						S4-ZERO						S5-FUNCT	
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	2	3
0~0.4Hz	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0
0~0.5Hz	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0
0~1Hz	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0
0~2Hz	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0
0~4Hz	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0
0~5Hz	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
0~10Hz	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
0~20Hz	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0~40Hz	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0~50Hz	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0~100Hz	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0~200Hz	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0~400Hz	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0~500Hz	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
0~1kHz	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0~2kHz	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0~4kHz	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0~5kHz	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
0~10kHz	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0~20kHz	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0~40kHz	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

PI-F H1 Power Supply Jumper Settings.



Power Supply Jumper Settings	
H1	Power Supply Voltage Range
H	Link for High: 85~264Vac/dc
M	Link for Mid: 22~85Vac/dc

- Notes:
- 1/ H1 is approx 4cm (1½") behind the 'S' trimpot.
 - 2/ Exceeding voltage ranges may damage the unit.
 - 3/ Ensure the enclosure label is correctly labelled for the jumper position.
 - 4/ Adjust H1 jumper with a pair of needle nose pliers.
 - 5/ Low Voltage Power Supply version is fixed, and has no jumper. This must be ordered separately.

PI-F Output Range Programming Table.

- Notes:
- 1/ Switch status 1 = ON 0 = OFF.
 - 2/ Output ranges with "*" beside them reverse the polarity of the output connections.

Output Range (V)	S1-SPAN						S2-Function				Output Range (I)	S1-SPAN						S2-Function				
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4		1	2	3	4	1	2	3	4			
0~500mV	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0~1mA	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
0~1V	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0~2mA	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
0~2V	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0~5mA	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0
0~3V	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0~10mA	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0
0~4V	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0~16mA	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0
0~5V	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0~20mA	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
0~6V	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1~5mA	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0
0~8V	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	2~10mA	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0
0~10V	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	4~20mA	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0
0~12V	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	-1~1mA	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0
1~5V	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	-2~2mA	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0
2~10V	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	-5~5mA	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0
-1~1V	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	-10~10mA	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0
-2~2V	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	-20~20mA	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0
-5~5V	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0~-10mA *	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0
-10~10V	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0~-20mA *	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
-12~12V	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1												
0~-5V *	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1												
0~-10V *	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1												

The Proper Installation & Maintenance of PI-F.

Note. All power and signals must be de-energised before connecting any wiring, altering any jumpers or DIP switches, or inserting or removing the PI unit from it's base.

MOUNTING.

- (1) Mount in a clean environment in an electrical cabinet on 35mm, symmetrical, mousing rail.
- (2) Draft holes must have minimum free air space of 20mm. Foreign matter must not enter or block draft holes.
- (3) Do not subject to vibration or excess temperature or humidity variations.
- (4) Avoid mounting in cabinets with power control equipment.
- (5) To maintain compliance with the EMC Directive the PI-F must be mounted in a fully enclosed metal, electrical cabinet, with appropriate input / output entry points, cabling, and filtering.

WIRING.

- (1) A readily accessible disconnect device and a 1A, 250Vac overcurrent device, must be in the power supply wiring.
- (2) All cables should be good quality overall screened INSTRUMENTATION CABLE with the screen earthed at one end only.
- (3) Signal cables should be laid a minimum distance of 300mm from any power cables.
- (4) For 2 wire current loops, 2 wire voltage signals or 2 wire current signals, Austral Standard Cables B5102ES is recommended. For 3 wire transmitters Austral Standard Cables B5103ES is recommended.
- (5) It is recommended that you do not ground current loops and use power supplies with ungrounded outputs.
- (6) Lightning arrestors should be used when there is a danger from this source.
- (7) Refer to diagrams for connection information.

COMMISSIONING.

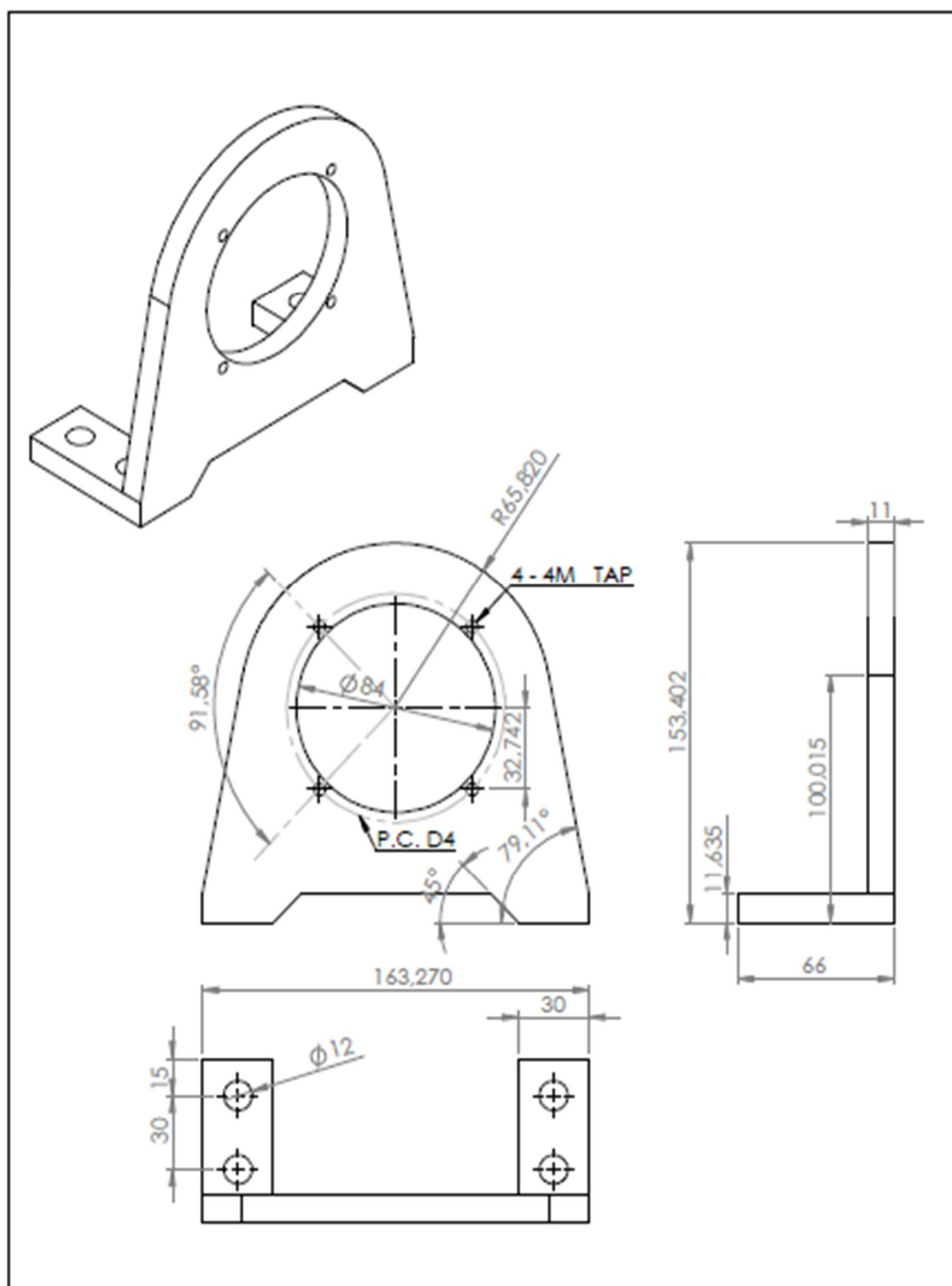
- (1) Once all the above conditions have been carried out and the wiring checked apply power to the PI-F loop and allow five minutes for it to stabilize.
- (2) If the output of the transmitter is fluctuating, follow the procedures outlined in 'Input Programming; Contact Closure Selection', 'Voltage Input Range Selection', and 'Impedance Matching'.
- (3) Take a low (approx. 10%) and a high (approx. 90%) reading of the variable being measured by the transducer supplying the signal to the PI-F, and ensure that this agrees with the level being indicated by the PLC or indicator, etc. the PI-F is connected into. Adjust for any difference using the Zero and Span Pots in the top of the PI-F enclosure with a small screw driver until the two levels agree. (Clockwise to increase the output reading and anti-clockwise to decrease the output reading.)

MAINTENANCE.

- (1) Repeat (3) of COMMISSIONING.
- (2) Do it regularly - at least once every 12 months.

Intech INSTRUMENTS LTD
www.intech.co.nz
 Christchurch Ph: +64 3 343 0646
 Auckland Ph: 09 827 1930
 Email: sales@intech.co.nz

ANEXO C
PLANOS DE SERVOMECAISMO



SERVOMECANISMO DE VELOCIDAD Y POSICIÓN

MATERIAL: ALUMINIO

NOMBRE:

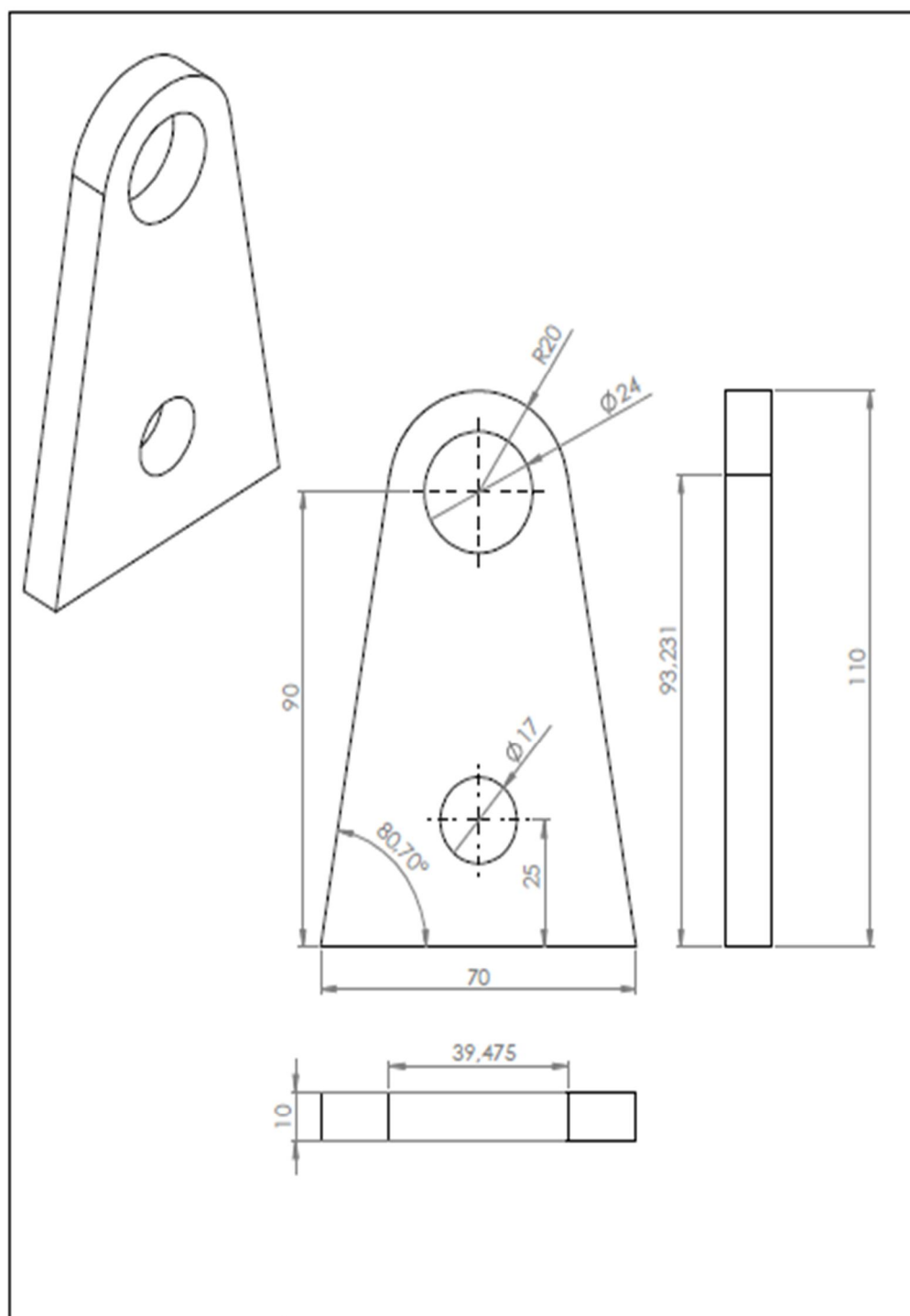
SOPORTE MOTOR

A4

LAS COTAS SE
EXPRESAN EN MM

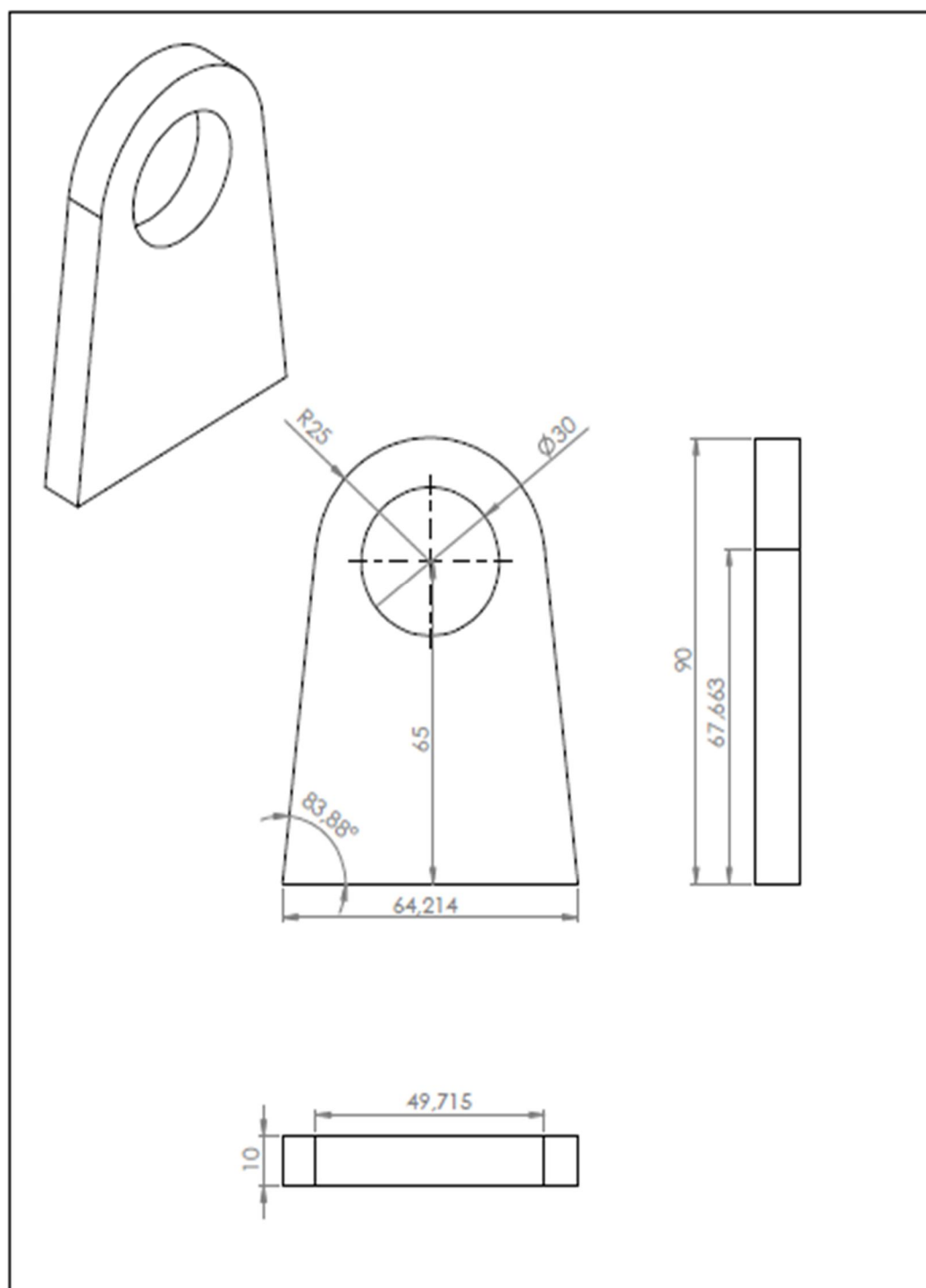
ESCALA: 1:2

HOJA 1 DE 15



SERVOMECANISMO DE VELOCIDAD Y POSICIÓN

MATERIAL: ALUMINIO	NOMBRE:	SOPORTE DEL VOLANTE	A4
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM	ESCALA: 1:1	HOJA 2 DE 15	



SERVOMECANISMO DE VELOCIDAD Y POSICIÓN

MATERIAL: ALUMINIO

NOMBRE:

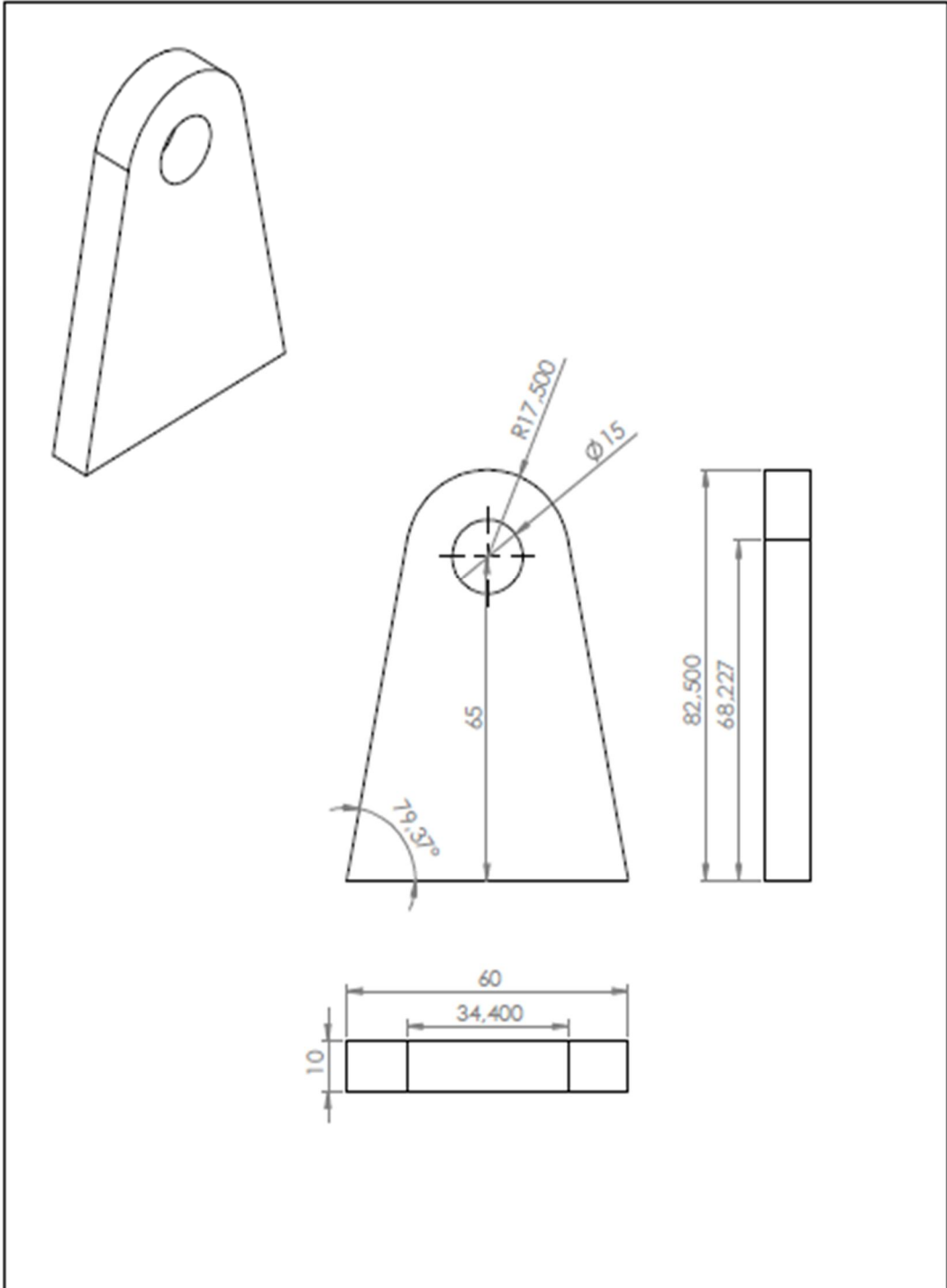
SOPORTE ENCODER INCREMENTAL

A4

LAS COTAS SE
EXPRESAN EN MM

ESCALA: 1:1

HOJA 3 DE 15



SERVOMECANISMO DE VELOCIDAD Y POSICIÓN

MATERIAL: ALUMINIO

NOMBRE:

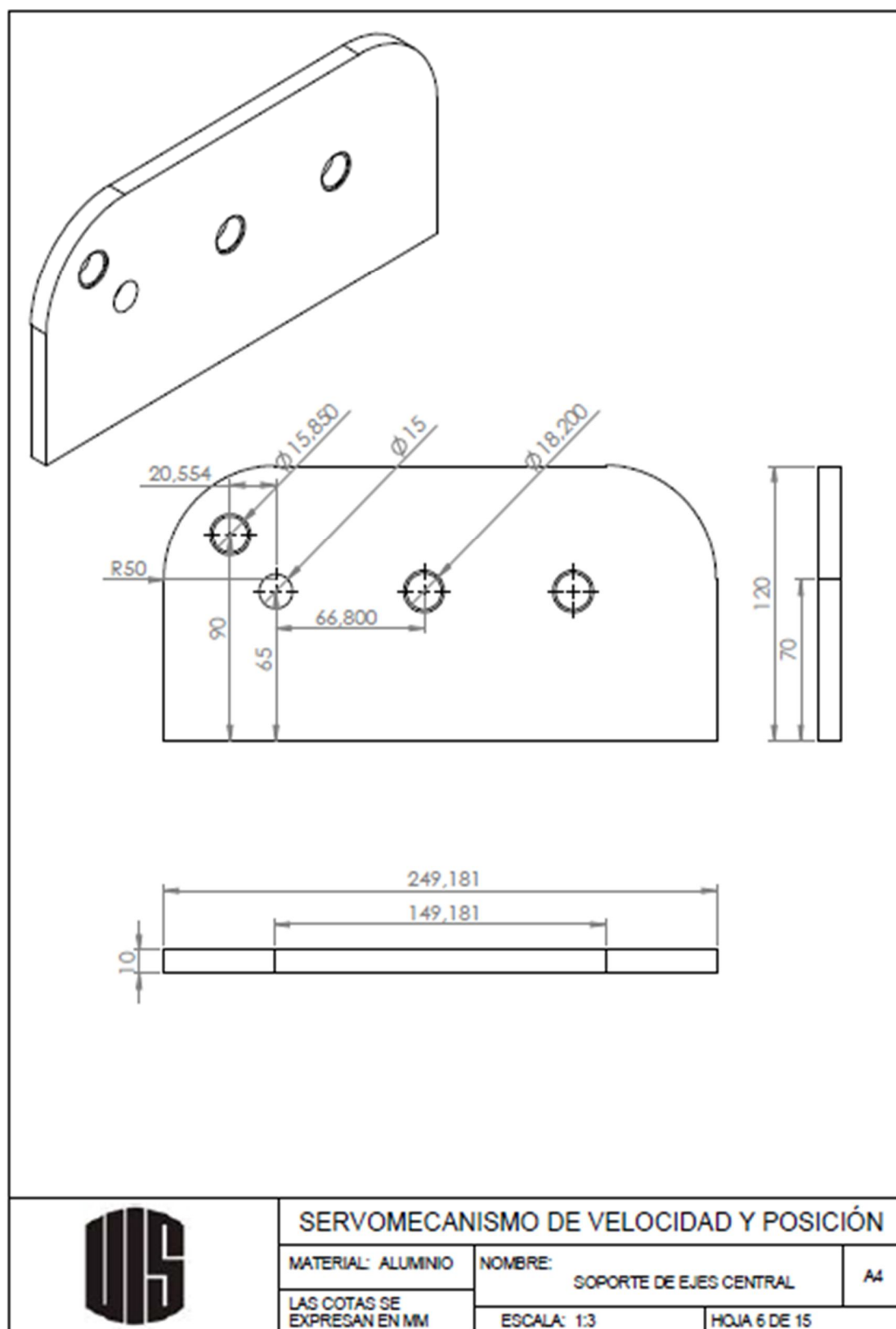
SOPORTE ENCODER ABSOLUTO

A4

LAS COTAS SE
EXPRESAN EN MM

ESCALA: 1:1

HOJA 4 DE 15



SERVOMECANISMO DE VELOCIDAD Y POSICIÓN

MATERIAL: ALUMINIO

NOMBRE:

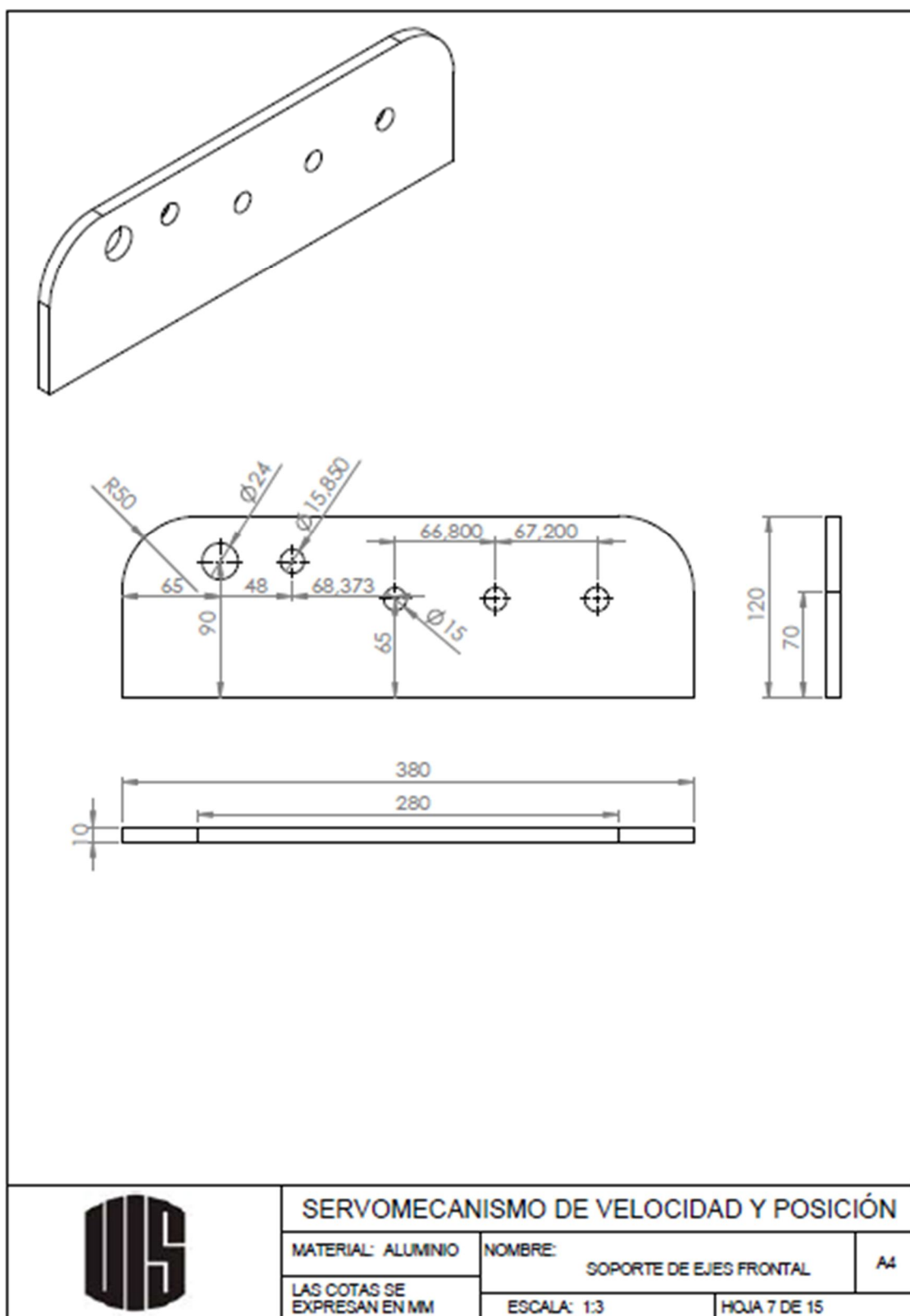
SOPORTE DE EJES CENTRAL

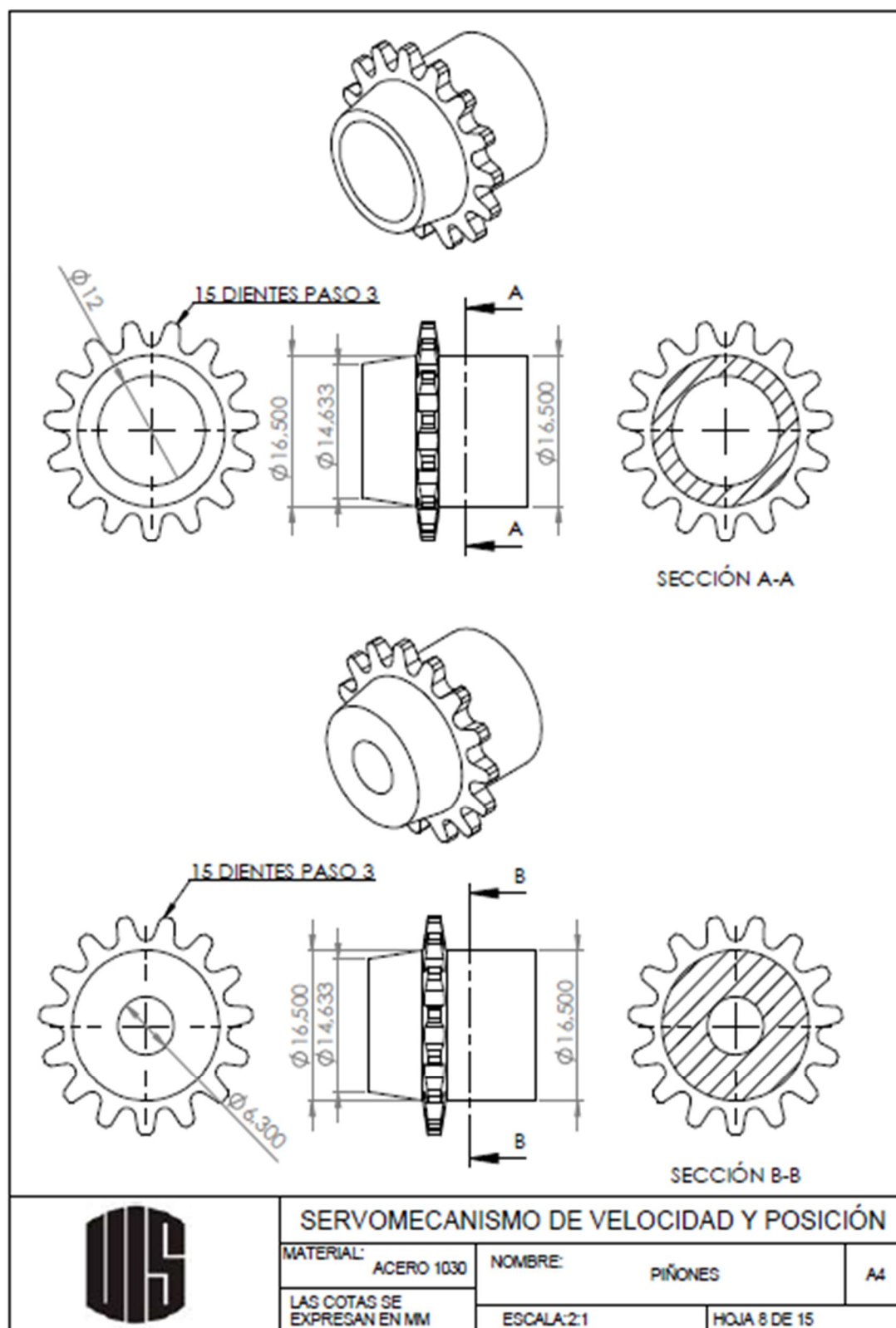
A4

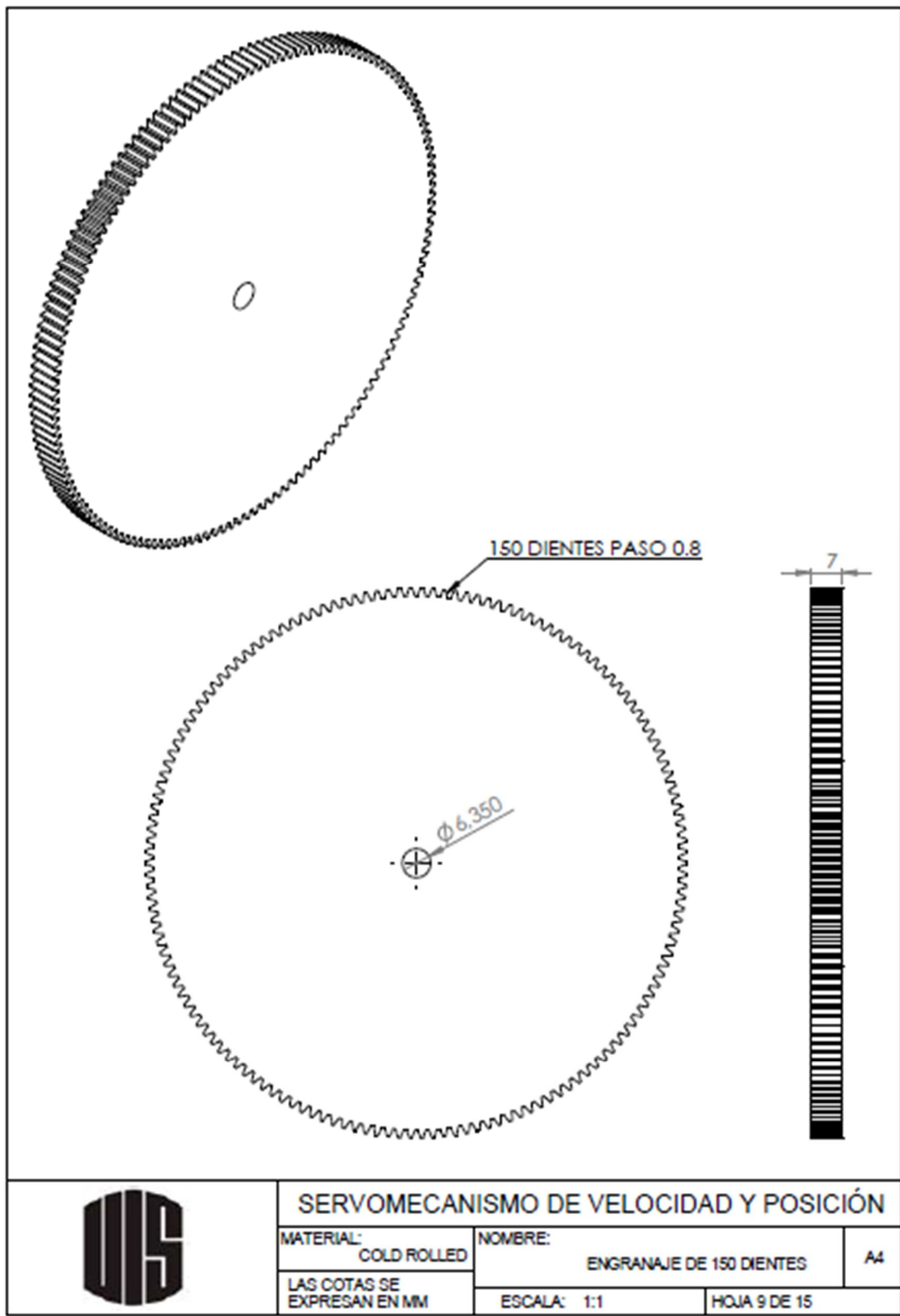
LAS COTAS SE
EXPRESAN EN MM

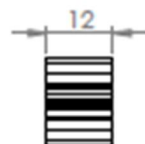
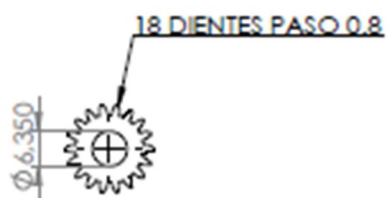
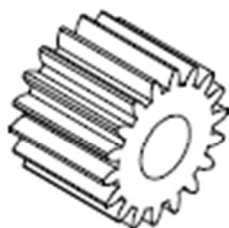
ESCALA: 1:3

HOJA 6 DE 15









SERVOMECANISMO DE VELOCIDAD Y POSICIÓN

MATERIAL:
COLD ROLLED

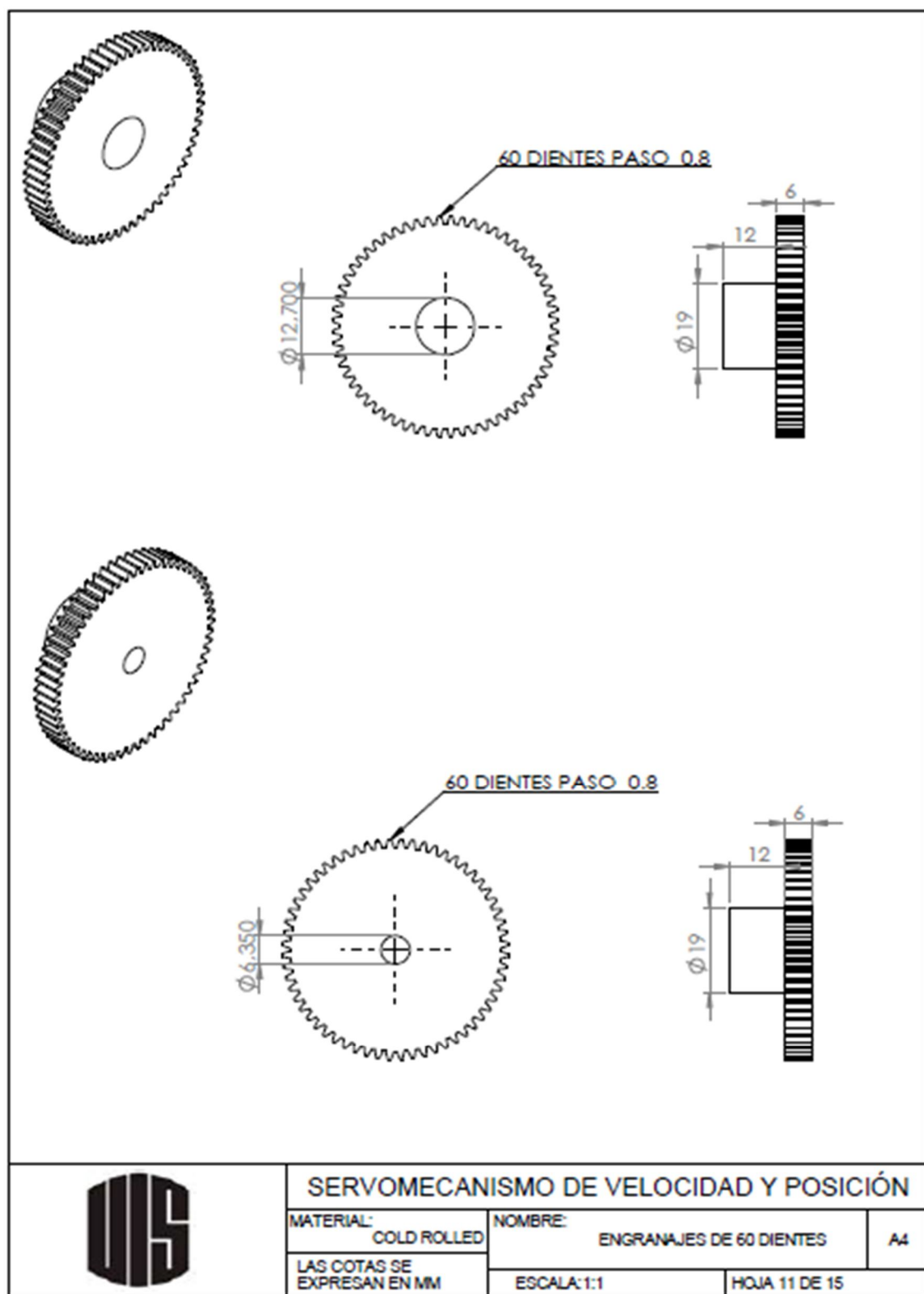
NOMBRE:
ENGRANAJES DE 17 Y 18 DIENTES

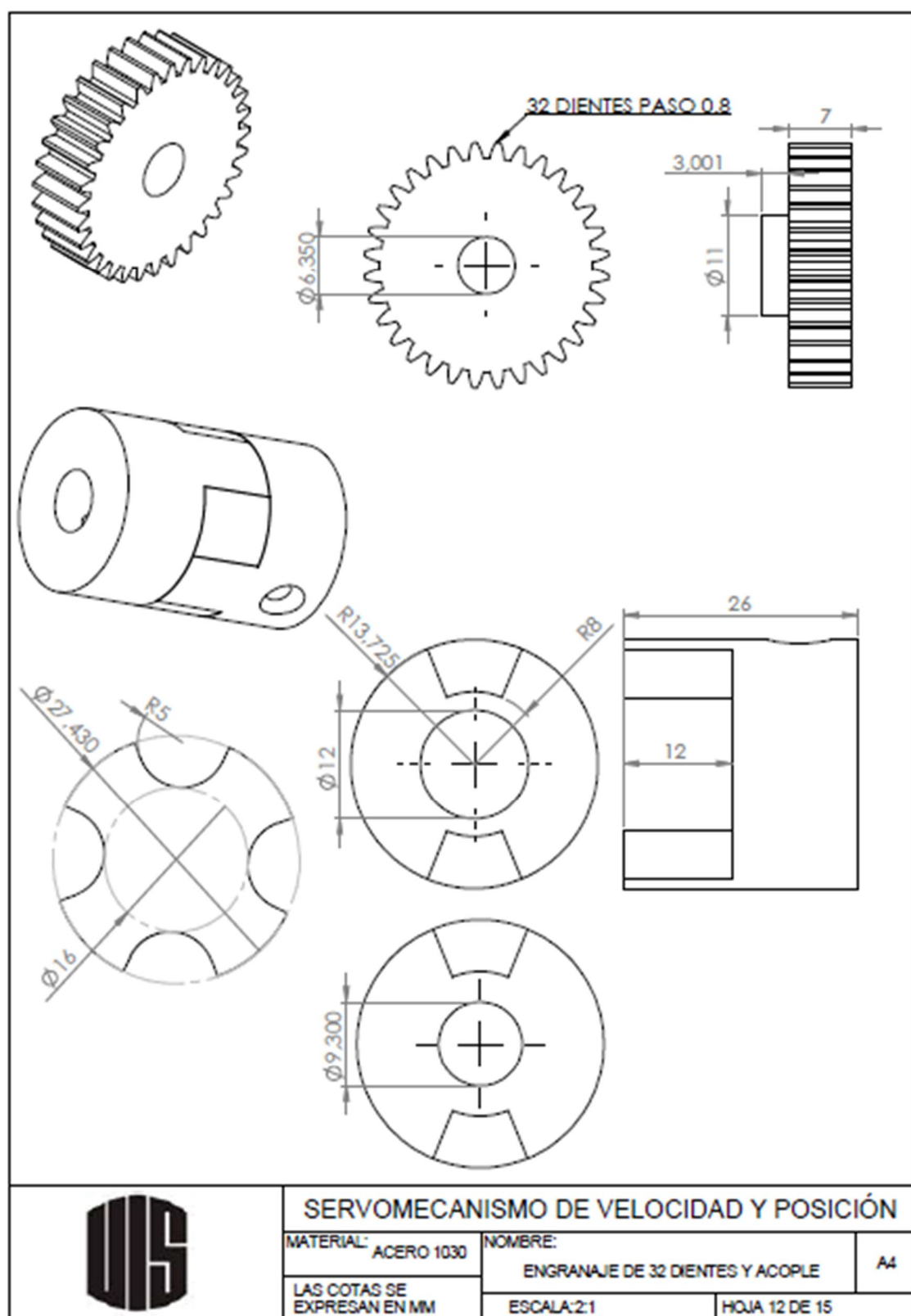
A4

LAS COTAS SE
EXPRESAN EN MM

ESCALA: 1:1

HOJA 10 DE 15





SERVOMECANISMO DE VELOCIDAD Y POSICIÓN

MATERIAL: ACERO 1030

NOMBRE:

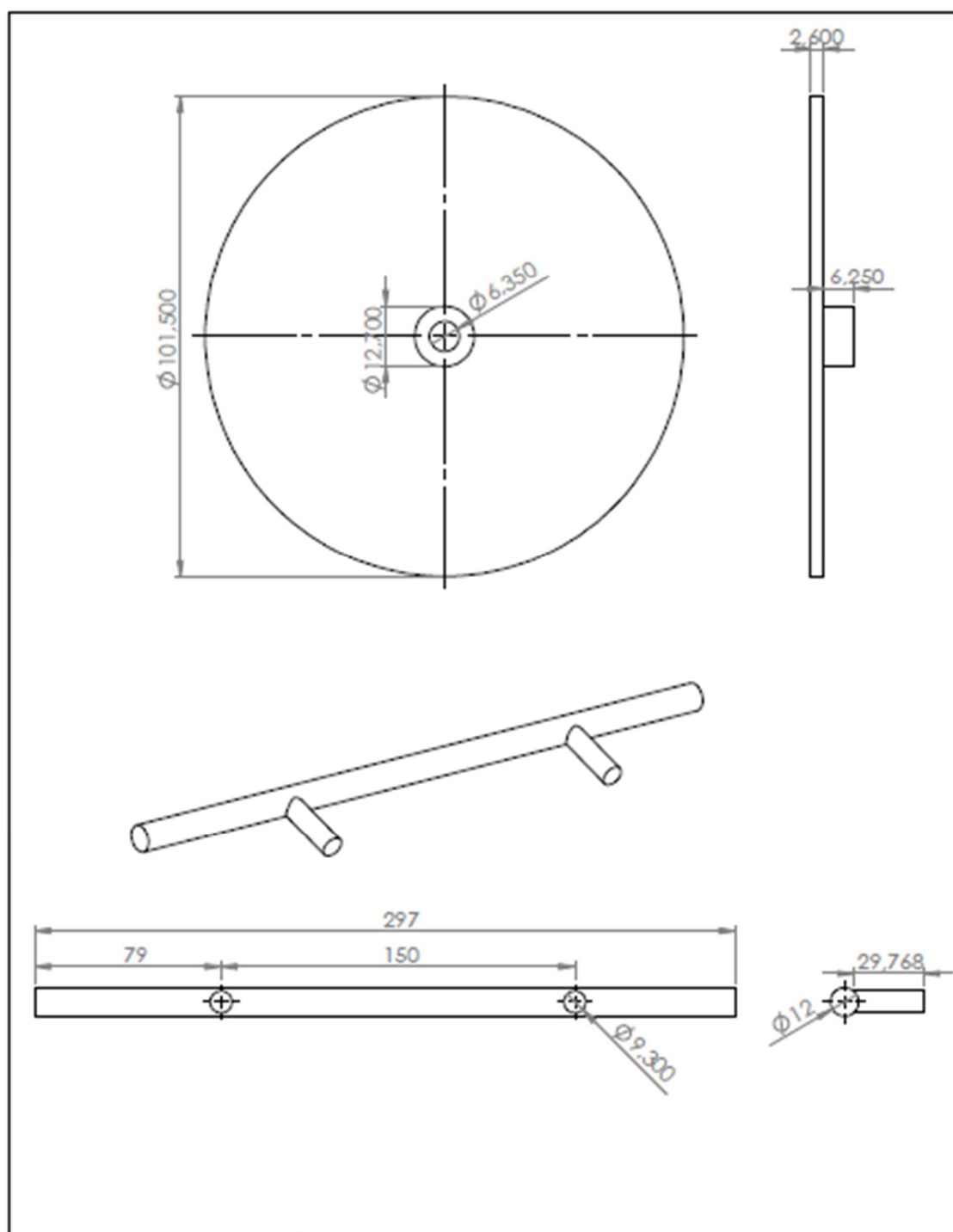
ENGRANAJE DE 32 DIENTES Y ACOPLE

A4

LAS COTAS SE
EXPRESAN EN MM

ESCALA: 2:1

HOJA 12 DE 15



SERVOMECANISMO DE VELOCIDAD Y POSICIÓN

MATERIAL: ALUMINIO

NOMBRE:

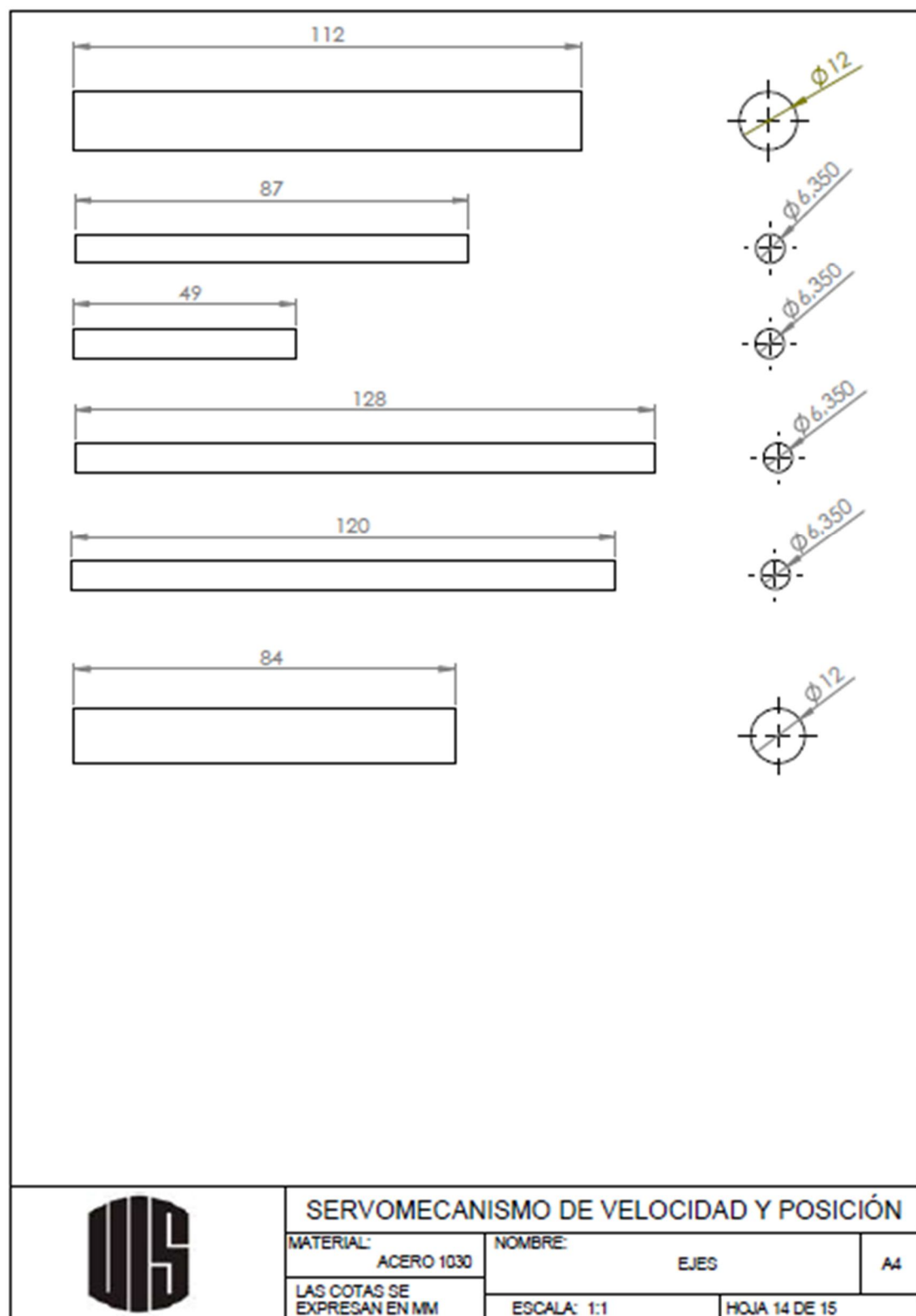
REGLETA Y MANIJA

A4

LAS COTAS SE
EXPRESAN EN MM

ESCALA: 1:1

HOJA 13 DE 15



SERVOMECANISMO DE VELOCIDAD Y POSICIÓN

MATERIAL: ACERO 1030	NOMBRE: EJES	A4
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM	ESCALA: 1:1	HOJA 14 DE 15

