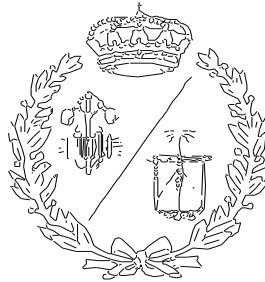


**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Proyecto / Trabajo Fin de Carrera

**Diseño de control para una planta Bola y
Viga
(Control design for a plant Ball and Beam)**

Para acceder al Título de

**INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL
ESPECIALIDAD ELECTRÓNICA INDUSTRIAL**

Autor: Manuel Oporto Peredo

Mayo-2015

A Ruth

INDICE GENERAL:

MEMORIA	-6-
CAPITULO 1: Antecedentes y objetivos	-7-
1.1. Introducción	-8-
1.2. Objetivos	-9-
1.3. Antecedentes	-10-
1.3.1 Descripción de la maqueta	-11-
1.3.1.1. Sensores	-13-
1.3.1.2. Actuador	-14-
CAPITULO 2: Especificaciones del Sistema	-16-
2.1. Introducción	-17-
2.2. Especificaciones	-17-
2.2.1. Especificaciones Ambientales	-17-
2.2.2. Especificaciones Físicas	-17-
CAPITULO 3: Diseño del Sistema	-19-
3.1. Introducción	-20-
3.2. Modelado del sistema	-20-
3.2.1. Modelado Teórico	-20-
3.2.1.1. Modelado matemático de la Bola y Viga	-20-
3.2.1.2. Modelado matemático del motor DC	-25-
3.2.1.3. Modelado matemático de la Correa	-28-
3.2.1.4. Modelado matemático de la tarjeta MD22 ...	-29-
3.2.1.5. Modelado matemático del Encoder	-30-
3.2.1.6. Modelado matemático de la Cámara	-31-
3.2.1.7. Estudio en Matlab de la planta teórica.....	-31-
3.2.2. Modelado experimental	-38-
3.2.2.1. Máquina de estados	-40-
3.2.2.2. Modelado lazo interno	-41-
3.2.2.3. Modelado lazo externo	-49-
3.3. Diseño del controlador	-53-
3.3.1. Diseño del controlador en Labview	-55-
3.4. Tiempo de muestreo	-79-
3.4.1. Instrumento virtual para buscar tiempo de muestreo.	-81-

CAPITULO 4: Implementación física	-103-
4.1. Introducción	-104-
4.2. Selección de componentes	-107-
4.2.1. Tarjeta MD22	-107-
4.2.2. Tarjeta de adquisición de datos	-108-
4.2.3. Cámara USB	-109-
4.2.4. Fuente de alimentación	-109-
4.3. Montaje	-110-
4.3.1. Circuito acondicionador de señal del Encoder	-110-
4.4. Ajuste de la planta	-112-
4.4.1. Ajuste Fuente DC	-112-
4.4.2. Ajuste del Encoder	-113-
4.4.3. Ajuste Cámara	-113-
4.4.4. Ajuste de la Tarjeta MD22	-113-
CAPITULO 5: Conclusiones	-114-
CAPITULO 6: Bibliografía	-117-
 PLANOS	 -119-
 PLIEGO DE CONDICIONES.....	 -123-
1.- DESCRIPCION GENERAL	-124-
2.- CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO	-124-
3.- INSTRUCCIONES DE MONTAJE	-125-
4.- DISPOSICIONES APLICABLES	-125-
5.- GARANTIA	-126-
6.- VERIFICACION Y FUNCIONAMIENTO	-126-
 PRESUPUESTO	 -127-
1.1. Introducción	-128-
1.2. Condiciones de partida	-128-
1.3. Componentes	-128-
1.3.1. Componentes de potencia	-128-
1.3.2. Componentes de visualización	-126-
1.3.3. Componentes de conteo y adaptación del circuito	-130-

1.4. Mano de obra	-131-
1.5. Puesto de trabajo	-133-
Presupuesto de ejecución	-135-
 ANEXOS.....	-136-
1.- CALCULOS	-137-
2.- DATOS EXPERIMENTALES	-149-
3.- HOJAS DE CARACTERISTICAS	-181-

MEMORIA

CAPÍTULO 1

Antecedentes y Objetivos

1.1. INTRODUCCION

Muchos de los problemas de control que aparecen en la vida real son sencillos de controlar, ya que para una señal de entrada determinada, la salida permanece más o menos constante.

Sin embargo, hay un importante grupo de sistemas que son, por diseño o por naturaleza, inestables, siendo el método de control realimentado esencial para hacerlos operar de forma segura.

Así, el estudio de la inestabilidad es sumamente importante en algunos de los más destacados problemas de control que podemos hallar, por lo que deben ser analizados en laboratorio. El problema que surge es que estos sistemas suelen ser peligrosos y difíciles de implantar por sus características, por lo que no pueden ser estudiados en el mencionado recinto. Para resolver esta paradoja se desarrolló el sistema Bola y Viga, que es un mecanismo simple, diseñado específicamente para el estudio teórico y práctico de la investigación de los principios básicos y avanzados de la ingeniería de control. Incluye el análisis de los sistemas estáticos y dinámicos mediante técnicas analógicas y digitales.

Este aparato se centra específicamente en los problemas de control de sistemas inestables, siendo estos comunes en la industria. También puede, sin embargo, ser utilizado como una introducción práctica al diseño, operación y aplicación de sistemas de control en general.

El sistema consiste en una bola que puede rodar sobre una barra. La barra, o más comúnmente llamada “viga”, está sujeta mediante un eje con un motor acoplado. Dicho motor permite girar el eje y así inclinar la barra en un rango de ángulos.

El objetivo del control consiste en, girando convenientemente la viga, llevar la bola a una posición deseada sobre ella y mantenerla en dicha posición. La variable de entrada al sistema (señal de control) será la tensión que aplicamos al motor para girar el eje, y la de salida, variable que trataremos de controlar, la posición que tiene la bola sobre la viga.

De esta forma, este sistema de posicionamiento se ha convertido en uno de los más importantes y perdurables en la enseñanza de los sistemas de control en ingeniería, porque aunque es de fácil entendimiento, las técnicas de control que se pueden estudiar en él contemplan importantes métodos clásicos y modernos de control.

1.2. OBJETIVOS

El presente proyecto industrial tiene como objetivo principal el control de una planta Bola y Viga fabricada por el grupo AMIRA, donde se deberá modelar correctamente dicho sistema mecánico, y diseñar el controlador.

Como objetivos generales se deberá profundizar en el conocimiento del sistema mecánico llamado “bola y viga” (“BALL&BEAM”), y aprender a diseñar controladores para su correcto control. Para ello, se deberá conocer todo el material referente al control automático, y ponerlo en práctica encontrando así el mejor control posible para este sistema en particular.

Como se observa en los siguientes capítulos, la parte más complicada e interesante del proyecto es identificar y caracterizar la maqueta, para ello se deberá seleccionar un tiempo de muestreo adecuado como veremos en los siguientes capítulos, este concepto es clave en el diseño de controladores digitales pues de él depende en gran medida el realizar un correcto control.

1.3. ANTECEDENTES

Como punto de partida dispongo de una planta de laboratorio del tipo balancín fabricada por el grupo Amira que fue adquirida por el departamento de Teisa de la Universidad de Cantabria, la planta está formada por:

- Un actuador, motor de corriente continua de campo magnético permanente con escobillas .
- Cuatro sensores :
 - Un encoder incremental colocado en el eje de rotación de la viga el cual nos proporcionará la posición angular de la viga.
 - Una cámara CCD colocada en lo alto de la maqueta con la que leeremos la posición de la bola .
 - Dos finales de carrera que limitaran el giro de la viga.
- La viga fabricada en aluminio , que será la carga del motor.
- Una correa de goma que trasladará el movimiento del motor a la viga, que funcionará como una reductora.
- La estructura donde se integran los anteriores elementos, está fabricada en aluminio y *plexiglass* .

Como ya se ha comentado en la introducción, este sistema se ha posicionado desde hace tiempo como un referente en el estudio de sistemas dinámicos no lineales a nivel docente e investigador. Por este motivo existen bastantes modelos desarrollados de distintas dimensiones y características.

Básicamente, las diferencias principales entre un modelo y otro, si únicamente atendemos a los elementos integrantes, radican en la forma de medir la posición de la bola, lo que conlleva también un cambio de las características geométricas del mecanismo.

Desde el punto de vista del control, hallamos una amplia diversidad de reguladores tanto en control analógico como en control digital.

1.3.1. DESCRIPCIÓN DE LA MAQUETA

El sistema de viga y bola es un importante y clásico modelo de laboratorio para enseñar ingeniería de control y sistemas. Es muy popular porque es un sistema simple y fácil de entender que puede ser utilizado para estudiar muchos de los métodos clásicos y modernos de diseño en ingeniería de control. Posee una propiedad muy interesante para el ingeniero de control: es inestable en lazo abierto.

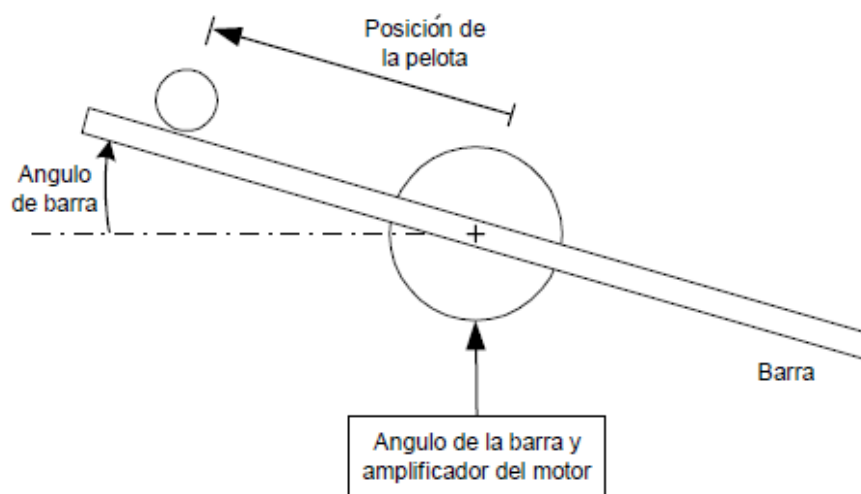


Figura 1.1: Sistema Bola y Viga

El sistema mostrado en la figura 1, es muy simple con una bola de acero rodando sobre un balancín largo que está montado sobre el eje de un motor eléctrico. En esta configuración, la barra puede ser inclinada con respecto de su eje central aplicando una señal de control eléctrica al amplificador que maneja el motor. La posición de la bola en la barra es registrada con un sensor especial.

El objetivo del control es regular automáticamente la posición de la bola en el balancín cambiando el ángulo de la barra. Este es un problema de control difícil porque la bola no se queda en solamente un lugar. Por el contrario se mueve con una aceleración proporcional al ángulo de la barra. En términos de la ingeniería de control, el sistema es inestable en lazo abierto por que la salida

del sistema (la posición de la pelota) puede incrementarse sin límite como respuesta a una entrada constante (el ángulo de inclinación de la barra). Por lo tanto, un esquema de control retroalimentado tiene que ser empleado para mantener la bola en una posición deseada en la barra.

La maqueta contiene un motor de corriente continua, colocado de manera que hace girar a la viga a través de una correa de goma.

Disponemos de un encoder de tipo incremental colocado en el eje de rotación de la viga, con lo que podremos conocer la posición de la viga en cualquier momento.

Disponemos de dos finales de carrera(FCC1 y FCC2) que limitarán el ángulo de giro de la viga.

Por último disponemos de una cámara tipo CCD colocada en la parte superior de la estructura con la cual podremos conocer la posición de la bola.

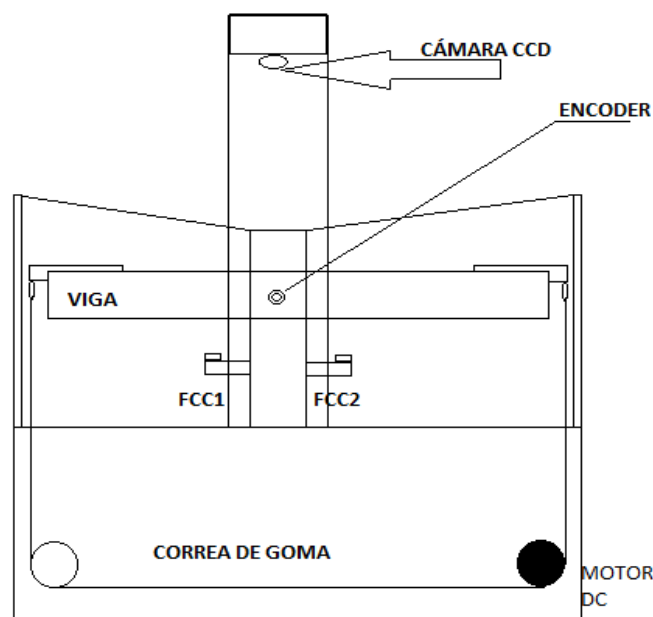


Figura 1.2: Maqueta bola y viga

Al girar el motor de corriente continua la correa sufre un desplazamiento proporcional al ángulo girado por el motor, que trasladará el movimiento a la viga.

A continuación se muestran los sensores usados para medir la posición de la bola y viga de este proyecto.

1.3.1.1. Sensores

a) Uso de cámara CCD

Para medir la posición de la esfera se usa una cámara CCD (Charge-Coupled-Device), la cual se caracteriza por tener muy buena resolución, operar en condiciones de poca luz y presentar pocas aberraciones geométricas.

Tiene el inconveniente de los reflejos y del posterior tratamiento de imágenes.

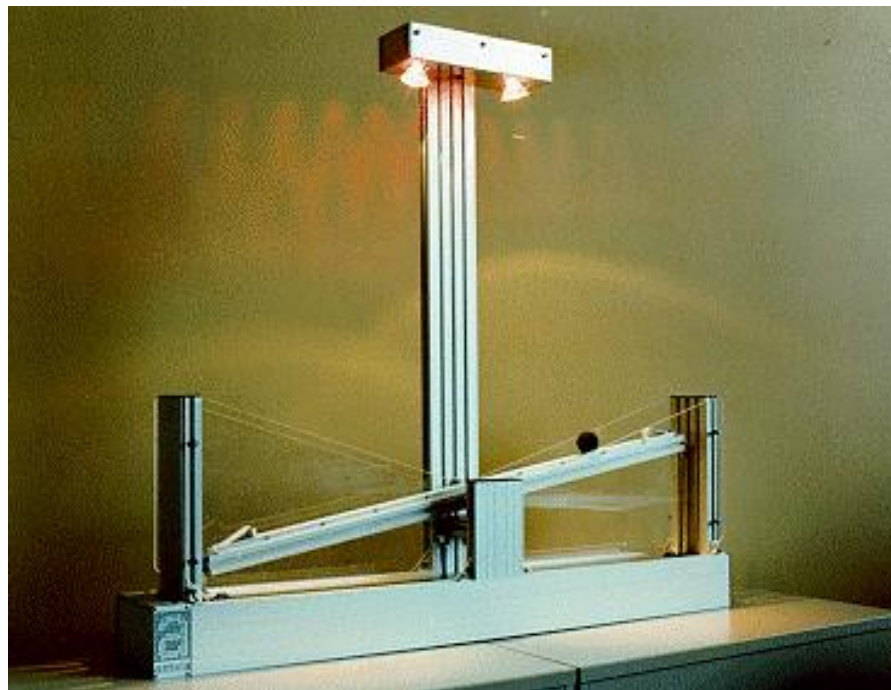


Figura 1.3: Sistema Bola y Viga usando Cámara CCD

b) Uso de Encoder incremental

Para conocer la posición de la viga utilizamos un encoder incremental Hengstler de 5000 pasos por vuelta y salida diferenciada lo que minimiza la aparición de interferencias, la planta se utilizara en un laboratorio con lo que no existirán grandes interferencias, lo que hace innecesario utilizar las salidas diferenciadas, pero si deberemos adaptar la señal, como se verá en las siguientes secciones.

c) Uso de finales de carrera

Los cuales limitarán el ángulo de giro. El ángulo que puede girar la viga está comprendido entre $+25.344^\circ$ y -25.344° .



Figura 1.4: Final de carrera

1.3.1.2. Actuador

Como actuador la planta dispone de motor de corriente GNM3125 fabricado por la empresa alemana ENGEL Elektromotoren, el motor es de corriente continua de imán permanente de dos polos (ver anexo).

El motor de corriente continua (denominado también motor de corriente directa, motor CC o motor DC) es una máquina que convierte la [energía eléctrica](#) en [mecánica](#), provocando un movimiento rotatorio, gracias a la acción del campo magnético.

Una máquina de corriente continua ([generador](#) o motor) se compone principalmente de dos partes:

1. El [estator](#) que da soporte mecánico al aparato y contiene los devanados principales de la máquina, conocidos también con el nombre de polos, que pueden ser de imanes permanentes o devanados con hilo de [cobre](#) sobre núcleo de hierro.
2. El [rotor](#) es generalmente de forma cilíndrica, también devanado y con núcleo, alimentado con corriente directa mediante escobillas fijas (conocidas también como carbones).

El principal inconveniente de estas máquinas es el mantenimiento, muy caro y laborioso, debido principalmente al desgaste que sufren las escobillas al entrar en contacto con las delgas.

CAPÍTULO 2

Especificaciones del Sistema

2.1.INTRODUCCION

Todo diseño empieza, o debería empezar, con una necesidad, detectada o incluso generada en un momento dado. Del planteamiento de esta necesidad se formulan las especificaciones, que son las directrices a seguir durante el proceso de diseño. Una vez establecidas, servirán de apoyo al resto de actividades. Por tanto, las especificaciones actúan como el control para la actividad del diseño total, ya que establecen los límites en los posteriores estados.

Hay que hacer notar que las propias especificaciones de diseño son en cierto sentido más dinámicas que estáticas, ya que pueden ser variadas durante el desarrollo si acontece cualquier inconveniente o cambio de parecer.

2.2. ESPECIFICACIONES

2.2.1. Especificaciones Ambientales

El lugar donde se instale la planta deberá estar lo suficientemente bien iluminado, debido a que se realiza el control del lazo externo mediante visión artificial.

El lugar donde se instale la planta deberá estar libre de ruidos electromagnéticos, en la medida de lo posible.

2.2.2. Especificaciones Físicas

Una de las especificaciones del diseño más importantes es la selección de una bola con una masa lo más pequeña posible, para que podamos realizar el modelado de un sistema SISO (simple input, simple output), de lo contrario estaríamos ante un sistema tipo MISO (multiple input simple output) debido a que cuando la masa de la bola no pueda despreciarse deberá tenerse en cuenta para estudiar la carga del motor, y como esta permanece en movimiento el momento de la carga que provocaría en el motor variaría dependiendo de la posición en la que se encuentre la bola lo que hace difícil su control.

Se deberá seleccionar una fuente de alimentación capaz de proporcionar las tensiones de alimentación de los circuitos de control y de potencia así como la corriente necesaria para su manejo.

Se deberá utilizar un software determinado para realizar el procesamiento de la imagen.

Se deberá diseñar o adquirir un circuito de conteo lo suficientemente rápido para leer las señales del Encoder, este conteo deberá ser de tipo bidireccional; es decir debe ser capaz de sumar pulsos y restar pulsos, para así tener los datos de la posición de la viga.

Se deberá seleccionar una tarjeta de adquisición de datos para poder leer los datos de la planta y así realizar el control de forma segura.

Se necesitara controlar el motor de forma eficiente. Una forma de controlar de forma eficiente los motores de CC es la modulación por ancho de pulsos.. Deberá ser capaz de girar rápidamente, en ambos sentidos, avance y retroceso, sin ruidos .

CAPÍTULO 3

Diseño del Sistema

3.1. INTRODUCCION

Una vez que se dispone de las especificaciones se procede a buscar las soluciones que mejor cumplan ese perfil.

En este capítulo procederemos a estudiar la planta de forma teórica para después identificar la planta de forma experimental. Esto lo realizaremos mediante los programas Labview para controlar y recoger información de la planta y el software Matlab para estudiar dicha planta.

Después de realizar el estudio se propone una forma de control mediante Labview con un instrumento virtual.

Debido a que el controlador estará implementado en un PC , trabajamos con señales analógicas en un entorno digital se deberá tener especial cuidado a la hora de seleccionar el tiempo de muestreo para su control y su estudio.

3.2. MODELADO DEL SISTEMA

3.2.1. MODELADO TEORICO

3.2.1.1. Modelado matemático de la planta Bola y Viga:

Para modelar el mecanismo bola y viga deberemos aplicar la segunda ley de Newton a nuestra bola:

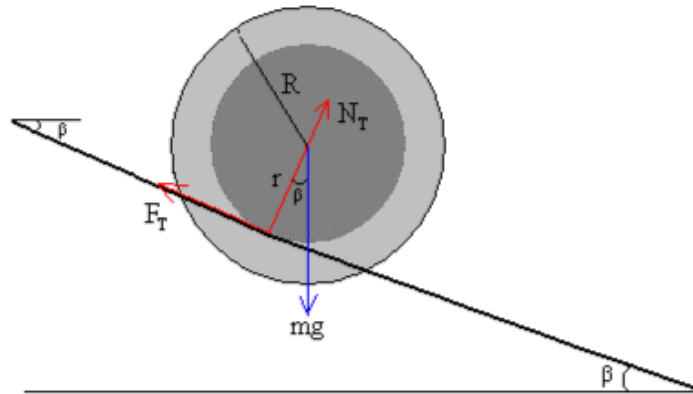


Figura 3.1: Viga inclinada y bola rodando

En la Figura 3.1 tenemos todas las fuerzas que actúan en nuestra bola: el peso debido a la fuerza gravitatoria terrestre, la normal y la fuerza de rozamiento entre la bola y la viga, tomando el eje de referencia en el centro de la viga y el eje x paralelo a esta tendremos :

$$\text{eje x:} \quad m * g * \sin \beta - F_r = m * a \quad (1)$$

$$\text{eje y:} \quad m * g * \cos \beta = N \quad (2)$$

Suponiendo que la bola rueda sin deslizar por la viga , obtenemos la condición de rodadura que nos relaciona el ángulo de la viga con la posición de la bola:

$$\text{Condición de rodadura:} \quad x = R_g * \beta \quad (3)$$

La fuerza de rozamiento es la causante de que la bola ruede sobre la viga , es decir , el momento de la bola es causado por la fuerza de rozamiento, aplicando la segunda ley de Newton de la rotación:

$$\text{Rotación:} \quad F_r * R_g = J_{bola} * \frac{d^2 \beta(t)}{dt^2} \quad (4)$$

La bola es una esfera perfecta por lo tanto el momento de inercia de la misma será:

$$\text{Momento inercia de la bola: } I_b = \frac{2}{5} * m * R^2 \quad (5)$$

Y la aceleración angular de bola y la velocidad lineal de la misma se relacionan a través de la condición de rodadura de la siguiente forma:

$$\frac{d^2 \beta(t)}{dt^2} = \frac{1}{R_g} * \frac{d^2 x(t)}{dt^2} \quad (6)$$

Con esta ecuación y la anterior sustituyéndolas en la ecuación de rotación obtenemos la relación de la fuerza de rozamiento que será proporcional a la aceleración :

$$F_r = \frac{2}{5} * m * \left(\frac{R}{R_g} \right)^2 * \frac{d^2 x(t)}{dt^2} \quad (7)$$

Y sustituyéndola en la primera ecuación :

$$m * g * \sin \beta - \frac{2}{5} * m * \left(\frac{R}{R_g} \right)^2 * \frac{d^2 x(t)}{dt^2} = m * a \quad (8)$$

Y operando obtenemos:

$$\frac{d^2 x(t)}{dt^2} = \left[\frac{g}{1 + \frac{2}{5} * \left(\frac{R}{R_g} \right)^2} \right] * \sin \beta \quad (9)$$

La cual es una ecuación no lineal, como el ángulo máximo de la horizontal es 25.416°, que equivale a 0.443 radianes cuyo seno es 0.429 podré aproximar el $\sin \beta$ a β con un error máximo entorno al 3%, que se producirá cuando la viga se encuentre posicionada en su ángulo máximo.

$$\frac{d^2 x(t)}{dt^2} = \frac{g}{\left[1 + \frac{2}{5} * \left(\frac{R}{R_g}\right)^2\right]} * \beta(t) \quad (10)$$

Con esta linealización puedo aplicar la transformada de Laplace:

$$\mathcal{L}\left[\frac{d^2 x(t)}{dt^2}\right] = \mathcal{L}\left[\frac{g}{\left[1 + \frac{2}{5} * \left(\frac{R}{R_g}\right)^2\right]} * \beta(t)\right] \quad (11)$$

$$[s^2 * X(s) - s * x(0) - x'(0)] = \frac{g}{\left[1 + \frac{2}{5} * \left(\frac{R}{R_g}\right)^2\right]} * \beta(s) \quad (12)$$

Tomando las condiciones iniciales nulas, obtengo la siguiente ecuación que rige la dinámica de la planta Bola y Viga, la cual relaciona mi salida $[X(s)]$, la posición de la bola, con mi entrada $[\beta(s)]$, la posición angular de la viga:

$$\frac{X(s)}{\beta(s)} = \frac{g}{\left[1 + \frac{2}{5} * \left(\frac{R}{R_g}\right)^2\right] * s^2} \quad (13)$$

Como se puede observar la función de transferencia solo dependerá del radio de la bola y del radio de giro de la misma.

Para calcular el radio de giro deberemos conocer la distancia entre los dos raíles por donde rueda la bola que es 1.5 cm y el radio de la bola 1.965 cm:

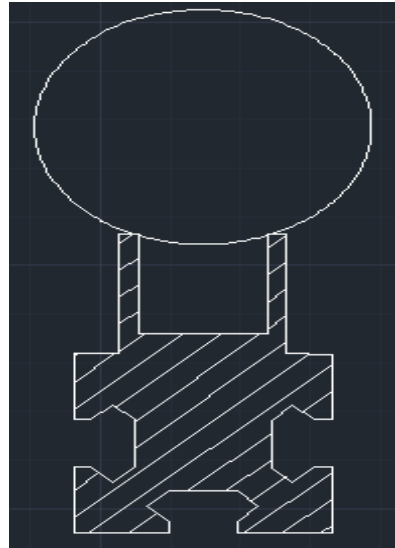


Figura 3.2: Detalle bola y viga

En la siguiente figura se puede observar con mayor percepción los detalles de los radios de la bola respecto al perfil de la viga

- Perfil de la viga

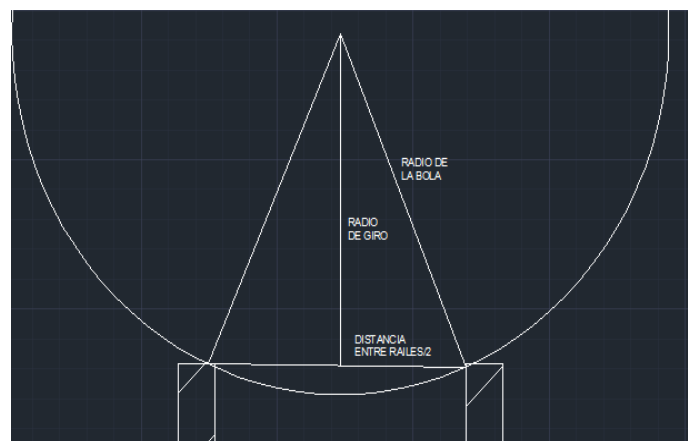


Figura 3.3: Detalle de los radios

Por trigonometría obtenemos que el radio de giro de la bola es **0.018162 m**, y sustituyendo el radio de la bola y la gravedad $g=9.8\text{m/s}^2$ obtengo la función de transferencia::

$$\frac{X(s)}{\beta(s)} = \frac{6.675}{s^2} \quad (14)$$

3.2.1.2. Modelo matemático del motor DC:

Nuestro motor es un motor de corriente continua y campo magnético permanente, luego el flujo magnético generado por el estator es constante. A continuación se puede observar en la Figura 2.4 el circuito de dicho motor.

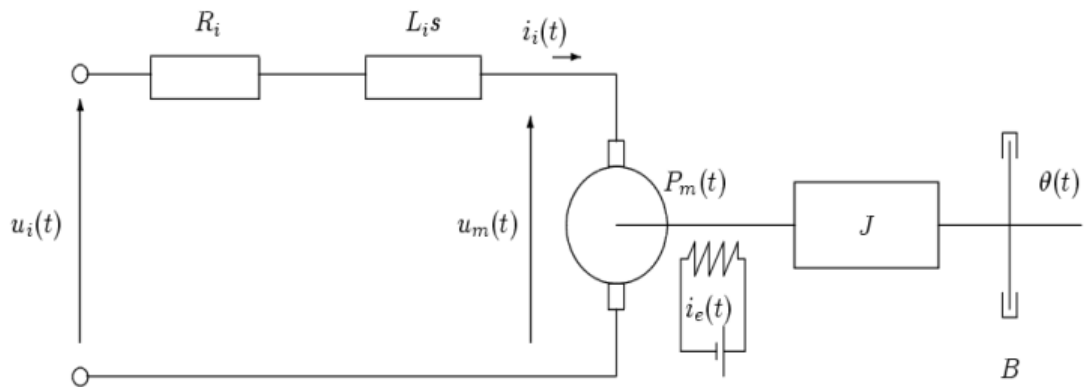


Figura 3.4: Modelo de un motor eléctrico de corriente continua

Hay que tener en cuenta que el comportamiento de un motor eléctrico está regido por las leyes de Kirchoof:

$$L * \frac{di(t)}{dt} + R * i + E = V \quad (15)$$

Donde:

- **R** es la resistencia del inducido mas la resistencia de los terminales.
- **L** es la inductancia del rotor (inducido).
- **E** la fuerza electromotriz generada por el motor y;
- **V** la tensión aplicada.

El comportamiento mecánico viene gobernado por la siguiente expresión:

$$T - Tr = J * \frac{d^2 \beta(t)}{dt^2} \quad (16)$$

Donde:

- **T** es el momento ejercido por el motor.
- **Tr** el momento de rozamiento del motor, el cual sabemos que es proporcional a la velocidad angular del mismo.

- J es el momento de inercia de la carga, que está calculado en los anexos y se puede aproximar al momento de inercia de la viga cuyo valor es $0.1516 \text{ Kg}\cdot\text{m}^2$,
- $\beta(t)$ es el ángulo girado por el motor.

Por otro lado conocemos las constantes de momento, K_t , y de tensión del motor, K_e :

$$T = K_t * i \quad (17)$$

$$E = K_e * \frac{d\beta(t)}{dt} \quad (18)$$

Con las ecuaciones (12) ,(13),(14) , y (15) obtengo la relación entre la tensión aplicada al motor y el ángulo girado por el mismo, que aplicándole la transformada de Laplace con condiciones iniciales nulas obtengo la siguiente expresión:

$$\frac{\beta(s)}{V(s)} = \frac{1}{\frac{L*J}{K_t}*s^3 + \left[\frac{L*b+R*J}{K_t}\right]*s^2 + \left[\frac{R*b}{K_t} + K_e\right]*s} \quad (19)$$

Sustituyendo por los valores adecuados obtengo la función de transferencia:

$$\frac{\beta(s)}{V(s)} = \frac{131.926}{s^3 + 1929.94s^2 + 7906.86s} \quad (20)$$

Esta función de transferencia tiene localizados los polos de lazo abierto en:

- $s = -5.59 * 10^{-3}$
- $s = -1913.32$
- $s = 0$

Nuestro polo dominante será el más cercano al eje imaginario sin contar el polo en el origen , luego nuestro polo dominante se encuentra en $s = -0.0056$, como el polo $s = -1913.32$ se encuentra muy alejado de nuestro

polo dominante podemos aproximar con cierta exactitud la función de transferencia anteriormente escrita por la siguiente función de transferencia:

$$G(s) = \frac{0.0685}{s * (s + 0.0056)} \quad (21)$$

Donde tenemos nuestro polo en el origen, nuestro polo dominante y la ganancia ajustada.

3.2.1.3. Modelo matemático de la correa:

La correa es accionada por medio del motor de corriente continua y recogerá tantos centímetros de correa como vueltas del motor haya realizado, según la siguiente expresión, que viene de la relación trigonométrica entre el $R_{giro\ viga}$ que es 51 cm , el cual representaría la hipotenusa y la distancia que recoge la correa que sería el cateto opuesto el cual está relacionado con la circunferencia del eje del motor y el ángulo girado por el mismo:

$$\theta = \sin^{-1}[2 * \pi * R_{engrane\ motor} * \beta / R_{giro\ viga}] \quad (22)$$

Como el ángulo de giro de la viga va a ser pequeño , puedo aproximar el seno del ángulo de la viga con el ángulo de la misma, con lo que la expresión que relaciona el ángulo girado por el motor con el ángulo girado por la viga , viene dado por la siguiente expresión:

$$\frac{\theta}{\beta} = \frac{2 * \pi * R_{engrane\ motor}}{R_{giro\ viga}} \quad (23)$$

Que representa un controlador proporcional:

$$\frac{\theta}{\beta} = 0.1146 \quad (24)$$

La correa de mi planta trabaja como reductora con el fin de adecuar la velocidad y momento generados por el motor con la velocidad y momento necesarios para el control de la viga.

3.2.1.4. Modelo matemático de la TARJETA MD22:

La tarjeta controladora MD22 del motor funcionará en modo analógico 0 V- 2.5 V-5 V. De forma que cuando se le aplique una tensión de 0 V a la tarjeta, el motor girará a su máxima velocidad y aplicándole 5 V girará en sentido contrario también a su máxima velocidad, estando parado para una tensión alrededor de 2.5 V.

Al igual que en el caso anterior la tarjeta se comportará como un proporcional pero con una zona muerta alrededor de 2.5 V.

La función de transferencia será:

$$\frac{V(s)_{motor}}{V(s)_{MD22}} = 10.148 \quad (25)$$

Al utilizar la tarjeta controladora MD22 con la tensión nominal del motor, la tensión que aplico a la tarjeta MD22 solo puedo variarla entre 2.8V y 2.2V por razones de seguridad, pues a mayor tensión, la viga coge demasiada inercia y la planta sufriría desperfectos.

Con tan poco margen para el control se hace complicado el control de forma eficiente de la planta, por lo que le aplicare una tensión de 5 voltios a la entrada de mi puente H de la tarjeta controladora.

Alimentando al motor con 5 V mi margen para el control es mayor , aunque también es mayor la zona muerta que presenta la planta.

Para poder controlarlo de forma correcta deberé utilizar un proporcional para poder sobrepasar la zona muerta, y como también por seguridad limito la velocidad máxima , utilizaré una saturación.

La nueva constante de proporcionalidad de la tarjeta MD22 utilizando 5 V para alimentar al motor es:

$$\frac{V(s)_{motor}}{V(s)_{MD22}} = 2 \quad (26)$$

3.2.1.5. Modelo matemático del Encoder:

El modelo matemático del Encoder es muy sencillo pues este me proporciona pulsos y yo le suministro radianes, como el encoder tiene 5000 pulsos por giro, la función de transferencia será una ganancia de valor:

$$\frac{\text{Pulsos}}{\text{Radianes}} = \frac{5000}{2\pi} \quad (27)$$

El circuito de adaptación de señal lo realizo por software mediante Labview utilizando la siguiente relación:

$$\frac{\text{Radianes}}{\text{Pulsos}} = \frac{2\pi}{5000} \quad (28)$$

Como el encoder y el circuito de adaptación son funciones inversas respectivamente, puedo modelarlos como una ganancia unitaria.

3.2.1.6. Modelo matemático de la Cámara:

La cámara utilizada es una cámara USB con la que mediante Labview captura y procesa la imagen. La captura la realizo con una resolución de 1280x960píxeles.

La cámara igual que en el caso anterior será una ganancia, y el circuito de adaptación de la señal el cual también lo realizo con Labview será la inversa de esa misma ganancia, luego de forma análoga al modelado anterior puedo considerar una ganancia unitaria .

Con estos modelos matemáticos diseñaré el controlador el cual será implementado por software con la potente herramienta *Labview* y estudiado y simulado con *Matlab*.

3.2.1.7. Estudio en MATLAB de la planta teórica:

Primeramente para el control del lazo interno como veremos más adelante en el diseño del control, buscaremos una ganancia proporcional para nuestro controlador de tal forma que la respuesta de este sea lo más rápida

posible , pues es una de las condiciones para realizar el controlador maestro-esclavo. Con el siguiente código en Matlab :

```
s=tf('s')
G=0.0685/(s*(s+0.0056))
Gb=6.675/(s^2)
Kmd=2
Kc=0.1146
Gd=G*Kmd*Kc
rlocus(Gd)
```

Obtengo el lugar de la raíz siguiente:

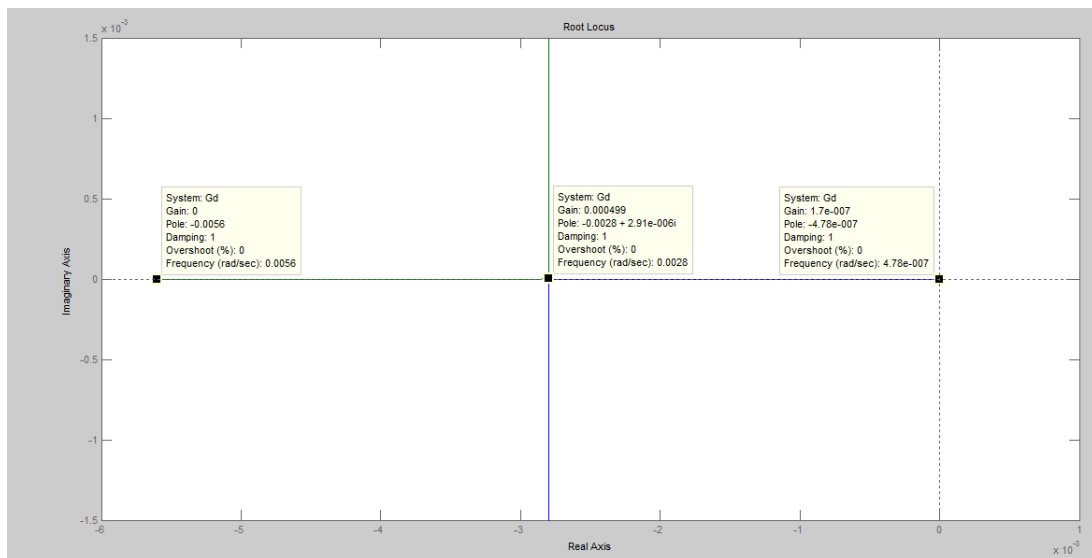


Figura 3.5: Lugar de la raíz del lazo interno teórico

El cual tiene un polo en lazo abierto en el origen y otro polo en $s=-0.0056$, el punto de dispersión del sistema teórico esta en $s=-0.0028$ para una ganancia de valor 0.000499.

Utilizando la herramienta sisotool de matlab puedo seleccionar la ganancia que me interesa y ver la salida ante una entrada escalón de valor unidad:

Para ganancia unidad, el lugar de la raíz quedaría de la siguiente forma:

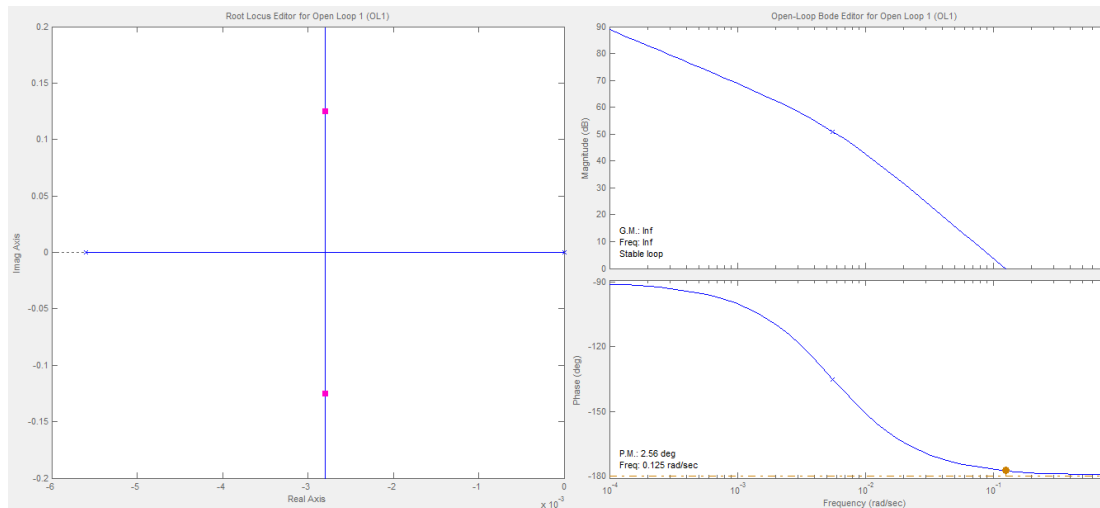


Figura 3.6: Lugar de la raíz y diagrama de Bode. Ganancia unidad para K=1.

El cual tiene un margen de ganancia infinita pero un pobre margen de fase lo que podría inestabilizar el sistema. La respuesta ante una entrada escalón unitario es :

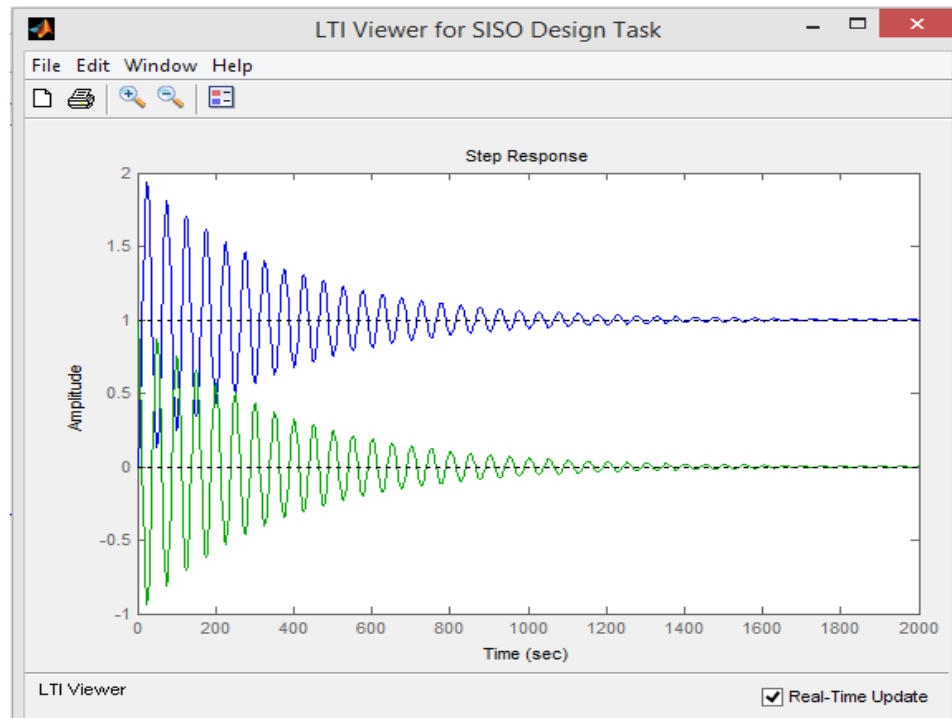
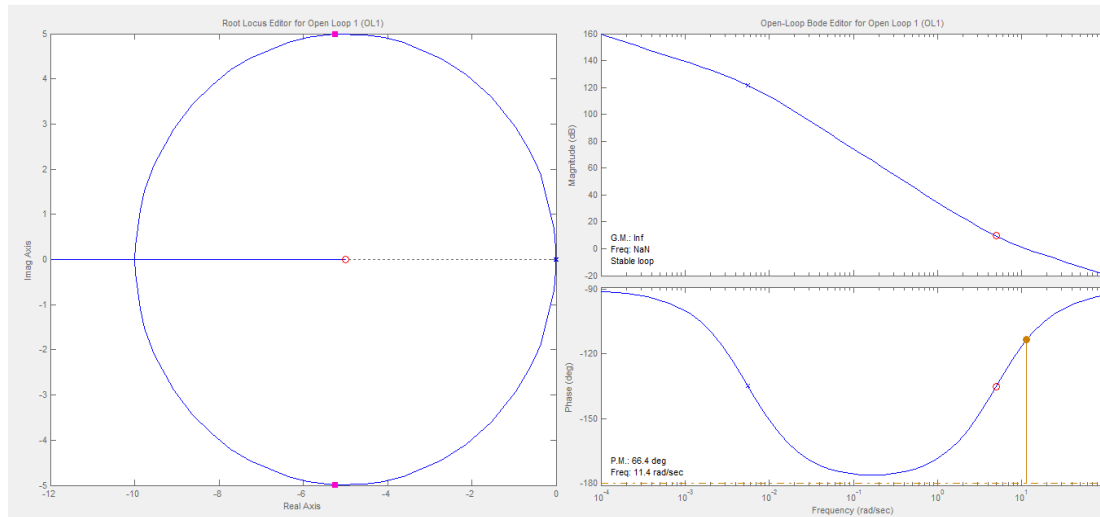


Figura 3.7: Respuesta del lazo interno teórico con ganancia unidad.

Como puede apreciarse el sistema aún sin ser inestable; pues llega al valor final, presenta grandes oscilaciones debido al pobre margen de fase que tiene, para controlar la planta bajaré la ganancia hasta llegar a tener una señal ante una entrada escalón lo más rápida posible y con el menor sobreimpulso. También presenta unos tiempos demasiado lentos lo que hace difícil su control; razón por la cual deberé utilizar un regulador PD para mejorar la respuesta del sistema, y no un controlador proporcional como había propuesto en un primer momento ,el controlador utilizado es el siguiente:

$$PD = 3340 * (0.2 * s + 1) \quad (29)$$

Quedando el lugar de la raíz, y el diagrama de Bode de la siguiente forma:



: Figura 3.8: Lugar de la raíz y Bode del lazo interno con controlador

Que presenta una respuesta ante una entrada escalón de valor unidad es:

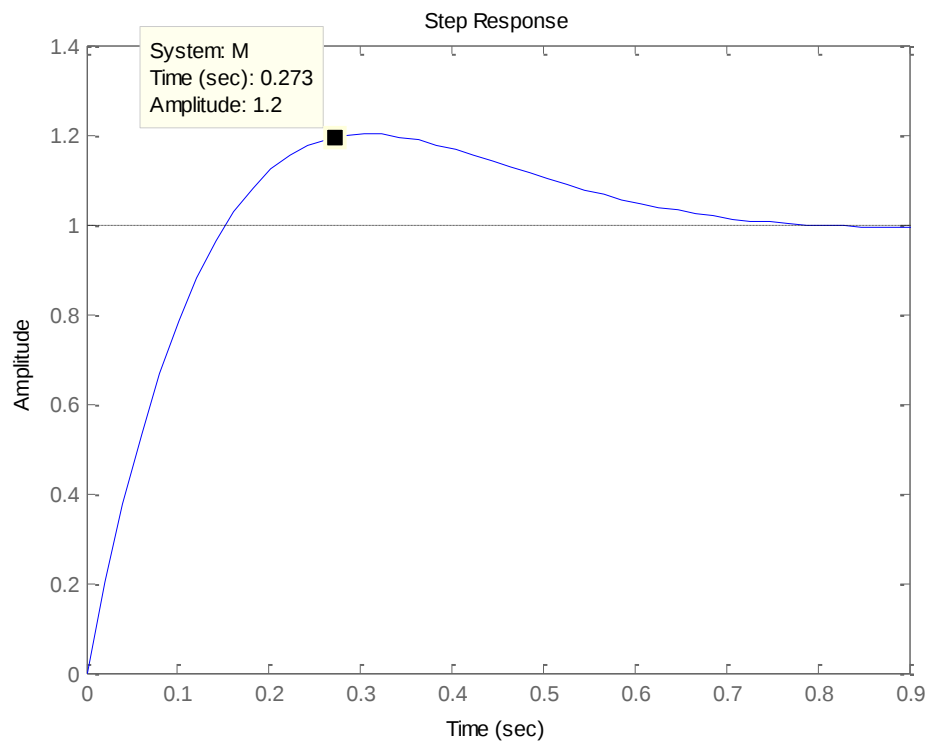


Figura 3.9: Respuesta escalón de lazo interno teórico con el controlador.

Que presenta un sobreimpulso alrededor del 20% y un tiempo de pico de 0.273 segundos con lo que el control es lo suficientemente rápido que era lo que se buscaba.

El siguiente paso será realizar el control teórico del lazo externo:

La función de transferencia de la cadena directa del lazo externo es:

$$\frac{70.01s + 350}{s^4 + 10.49s^3 + 52.44s^2} \quad (30)$$

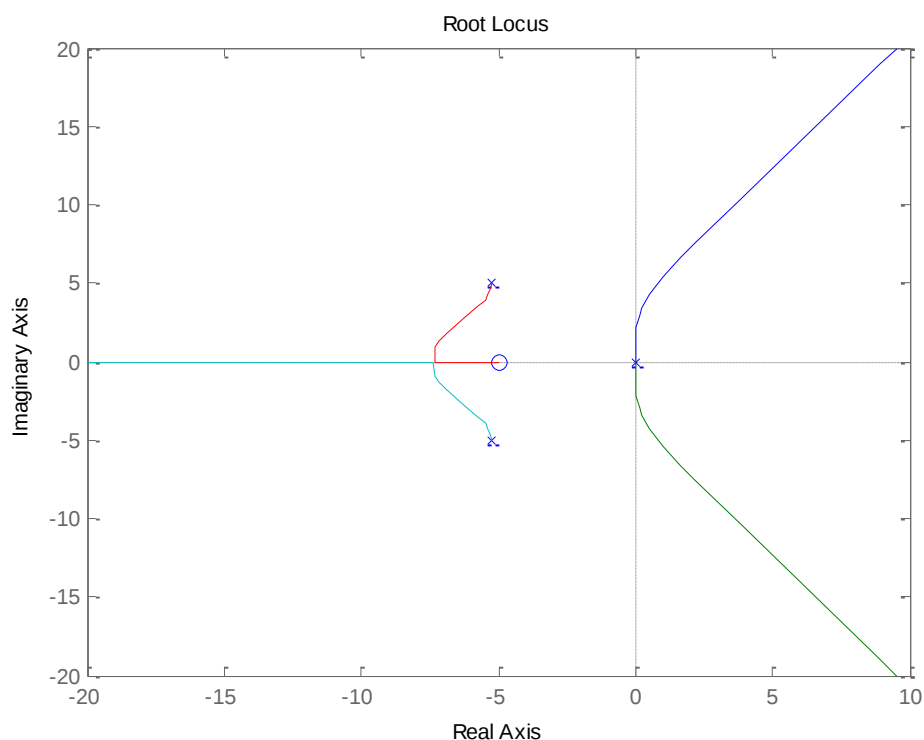


Figura 3.10: Lugar de la raíz de la planta sin el controlador maestro

Como se puede observar las ramas que salen de los polos en el origen se dirigen al plano positivo lo que indica que el sistema es inestable para cualquier valor de la ganancia como cabía esperar, deberemos colocar un cero cerca del eje imaginario para traer dichas ramas a la parte negativa del sistema y ajustar la ganancia, este lazo externo deberá ser más lento que el anterior, con la herramienta sisotool de Matlab diseño el controlador siguiente:

$$(31) \quad G_{\text{ext}} = 0.117(s + 1)$$

Obtengo un lugar de la raíz:

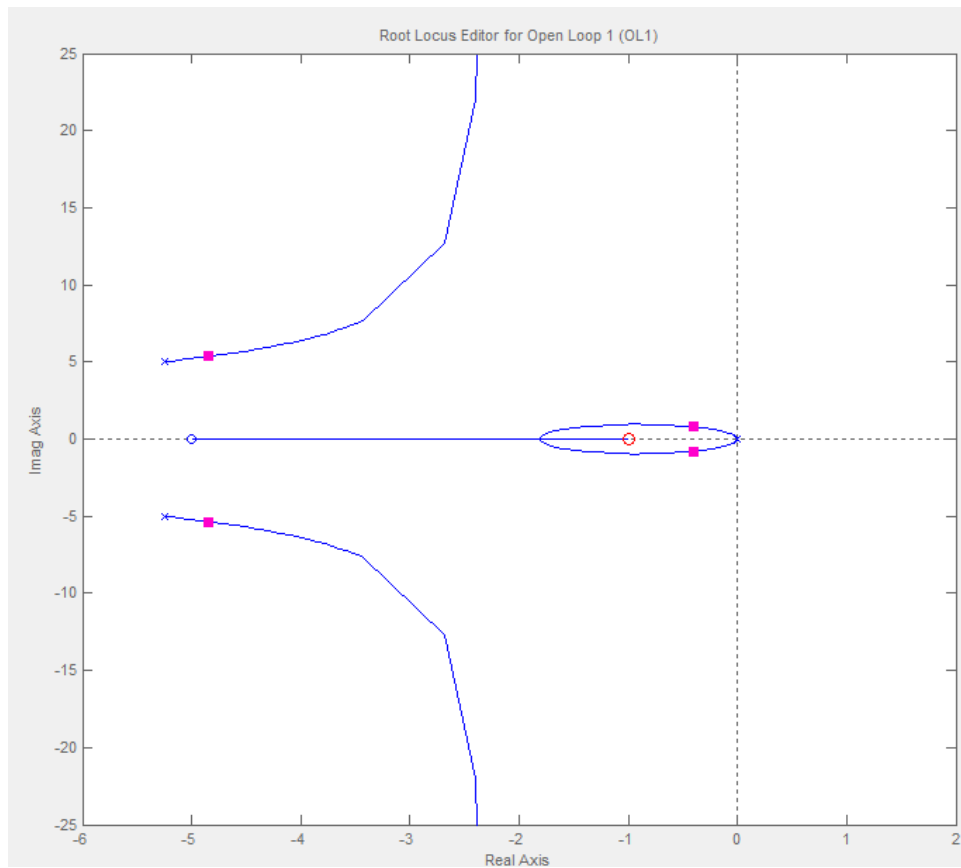


Figura 3.11: Lugar de la raíz de la planta con el controlador maestro

Y un diagrama de bode de la siguiente forma:

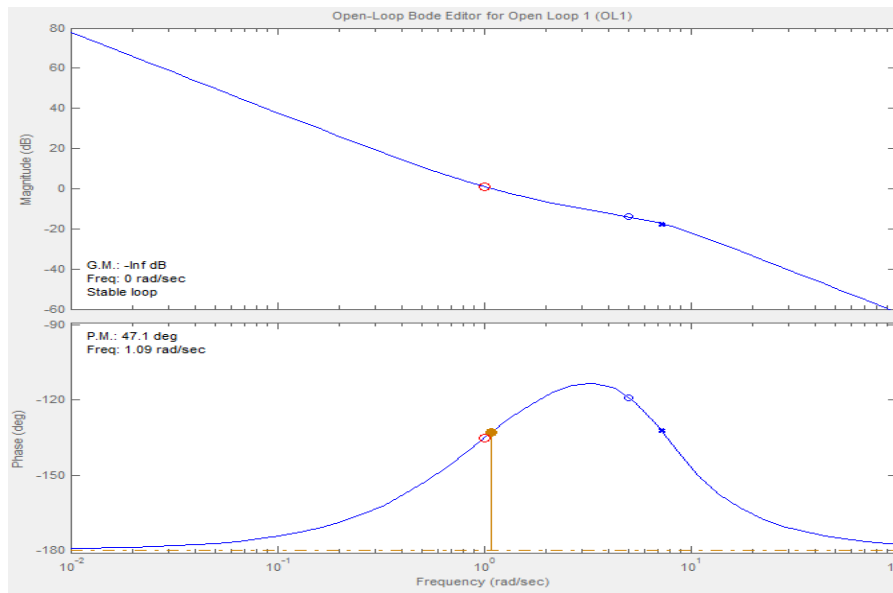


Figura 3.12: Diagrama de Bode de la planta con el controlador maestro

Cuya respuesta escalón es la siguiente :

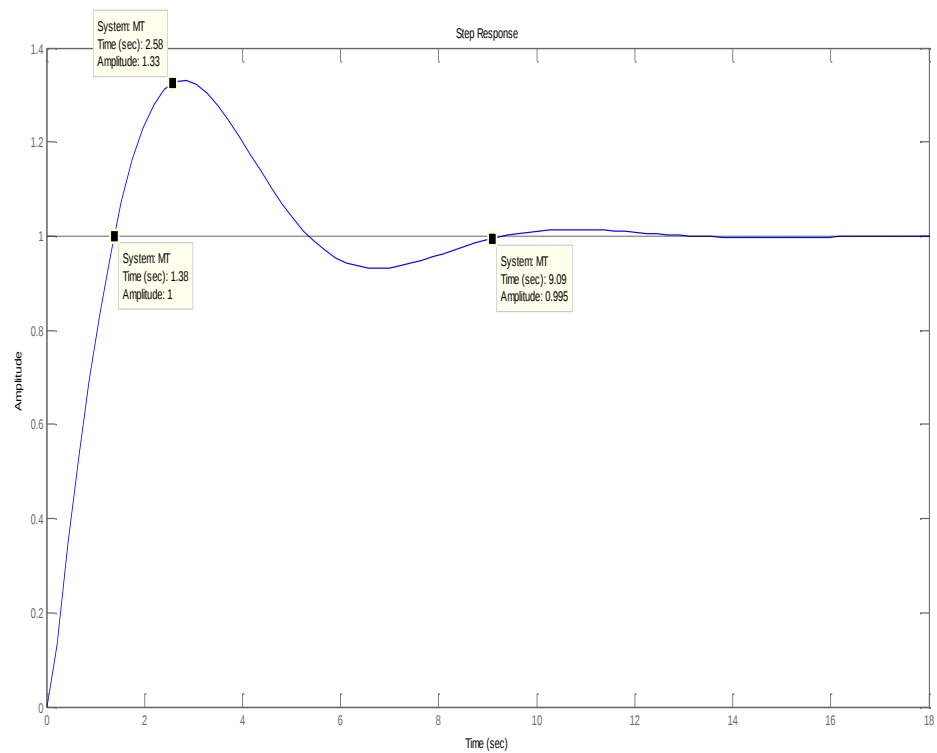


Figura 3.13: Respuesta escalón de la planta con los controladores teóricos

Que tiene un tiempo de subida de 1.38 s, un tiempo de pico de 2.38 s, un sobreimpulso del 33% y un tiempo de asentamiento de 9.09 s aplicando el criterio del 5%.

3.2.2. Modelado experimental

Ahora que tenemos una idea aproximada del diseño de nuestro controlador , deberé identificar el modelo matemático real de mi maqueta, para modelarla identificare lazo interno para después utilizando el modelo teórico donde la aceleración es proporcional a la posición angular de la viga estudiaremos el sistema y propondremos unas ganancias para el controlador.

Para poder utilizar la planta es necesario realizar ciertas operaciones para poder estudiarla correctamente y de forma segura:

- La primera tarea que debo realizar será conocer la posición angular de la viga para lo cual dispongo de un encoder incremental conectado al circuito de conteo y este a la tarjeta de adquisición de datos, debido a que el encoder utilizado es de tipo incremental , solo podré conocer diferencias entre dos posiciones; es por este motivo que en un primer momento deberé resetear los contadores que utilizo para adquirir los pulsos del encoder y así tener una referencia y conocer la posición absoluta de la viga en cualquier momento, esto lo consigo llevando la viga hacia el final de carrera izquierdo el cual esta puenteado con el "reset" de los contadores y ambos se activan por nivel bajo. Con esto conoceré la posición angular de la viga en todo momento.
- Después llevaré la viga hasta la horizontal que conociendo que entre ambos finales de carrera llego a contar 704 pulsos , tomo 352 pulsos como la horizontal.

Para realizar estas tareas iniciales necesito programar en *Labview* una "Máquina de Estados", esta Máquina de Estados será utilizada para cualquier instrumento virtual que programe, pues siempre será necesario realizar las mismas operaciones para utilizar la planta.

3.2.2.1. Máquina de estados

El flujograma de mi máquina de estados es el siguiente :

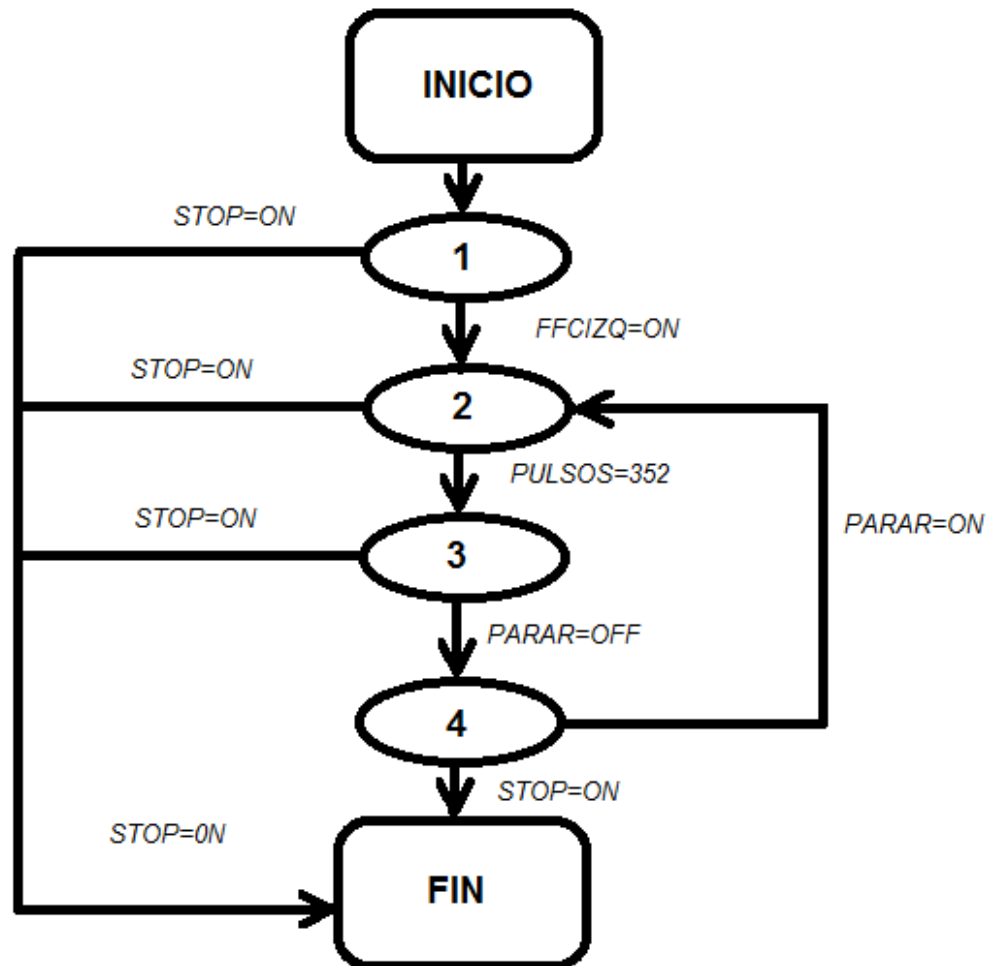


Figura 3.14: Máquina de estados

❖ Estado uno

Es el estado con el que comienza a ejecutarse mi máquina de estados, la entrada reset de mis contadores bidireccionales se activan con valor bajo, al igual que mis finales de carrera, por este motivo busco en este estado llevar la viga a uno de los extremos para poder accionar el final de carrera y con ello resetear mis contadores, en mi caso lo llevaré hasta el final de carrera izquierdo, con esto consigo tener una referencia para poder manejar mi encoder incremental y así poder realizar el control del lazo interno.

❖ Estado dos

En este estado busco posicionar la viga en la horizontal , como conocemos que el valor que registra los contadores entre ambos finales de carrera es de 704 pulsos, sabremos que la posición horizontal estará en 352 pulsos, por lo que aplicaré distintas tensiones para poder posicionar la viga en la horizontal.

❖ Estado tres

Este estado es un estado de espera, aplicando la tensión de 2.5v detengo el motor hasta que se produzca cierta condición, en mi caso que se pulse un botón .

❖ Estado cuatro

En este estado será donde programaremos el programa necesario para cada caso.

Se deberá seleccionar un tiempo de muestreo lo suficientemente rápido para poder leer las señales.

3.2.2.2. Modelado del lazo interno

El lazo interno de mi sistema de control compuesto por el motor de corriente continua, la correa de transmisión y la propia viga que está representada como la carga del motor DC.

En el modelado teórico dijimos que buscaríamos una ganancia para el controlador proporcional tal que el comportamiento del sistema fuese un sistema de segundo orden para que el sistema sea lo suficientemente rápido y poder seguir a la señal de referencia que es la salida de mi controlador maestro el cual será un PD como veremos en los siguientes apartados.

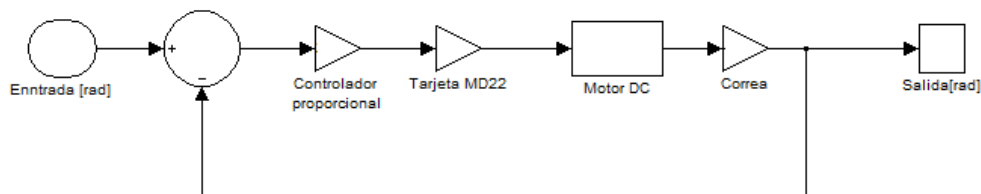
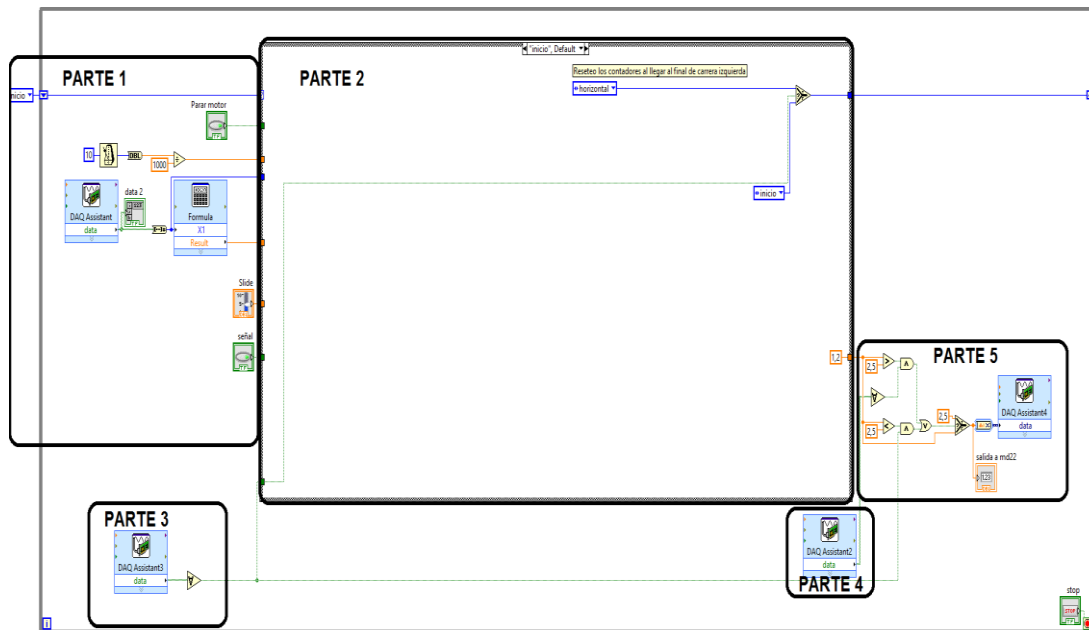


Figura 3.15. Esquema del lazo interno

Para identificar el lazo interno de control se crea un instrumento virtual en Labview donde aplicare un tren de pulsos al lazo interno y registrare las entradas y las salidas del sistema para después identificar el sistema mediante Matlab.

La planta la estudio en lazo cerrado utilizando un controlador proporcional de valor 18y el tiempo de muestreo de 10 ms. El valor del proporcional lo ajuste de forma manual , comenzando con valores pequeños, hasta obtener una respuesta lo suficientemente rápida y precisa, pues aumentando el valor del proporcional conseguiremos minimizar los efectos de las zonas muertas de mi planta.

En este caso y siempre que se utilice la planta deberá realizarse los pasos de inicialización que fueron creados mediante una maquina de estados.

**Figura 3.16. Circuito para identificar lazo interno**

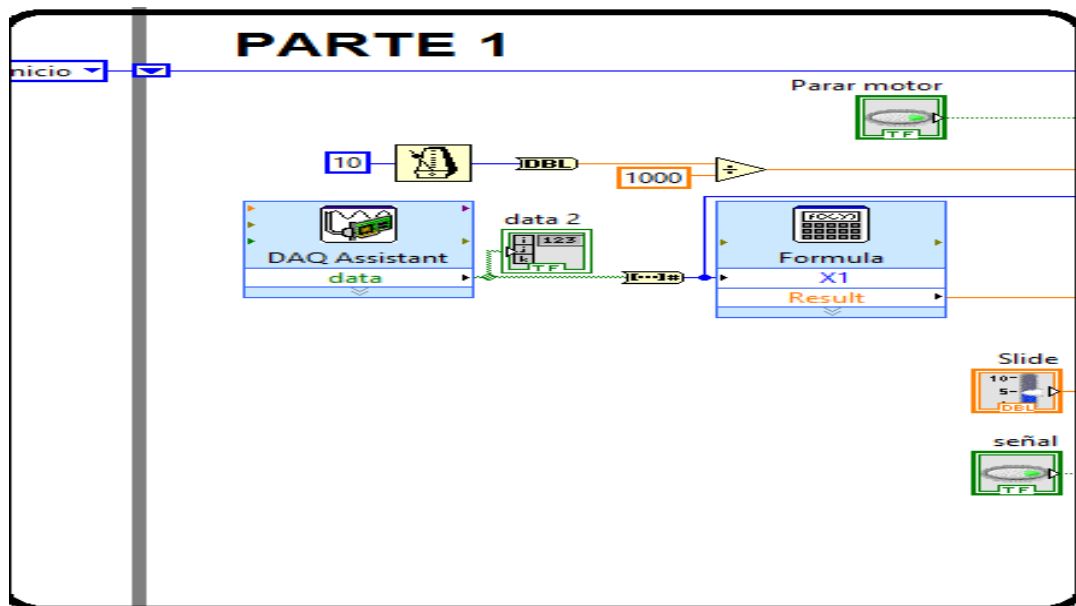


Figura 3.17. Parte 1 del circuito

En esta parte del circuito disponemos de el asistente de adquisición de datos que recoge la posición angular de la bola mediante el circuito de conteo, para después pasar dichos pulsos a radianes.

También disponemos un botón de señal, que selecciona la señal de entrada a mi lazo. Estas señales de entrada pueden ser según el selector : un tren de pulsos que se generara cuando esta sea 0, y un valor decidido por el usuario mediante el *knob Slide*.

Aparece también los *shift register* utilizados para la máquina de estados, así como su estado inicial (inicio) .

Aparece además del botón parar para detener el motor pero no el instrumento virtual.

También aparece el bloque para la selección del tiempo de muestreo, este valor será utilizado también para indicarles a los PIDs el tiempo de muestreo, estos últimos utilizan como unidades los segundos y el anterior bloque los milisegundos por lo que los arreglo dividiendo entre mil.

La parte 2 del programa igual que en el instrumento anterior representa los distintos estados o casos de mi maquina de estados:



Figura 3.18. Parte 2 del circuito

El estado que cambiará será el estado programa , pues todos los demás serán comunes a todas los instrumentos virtuales utilizados con esta planta.

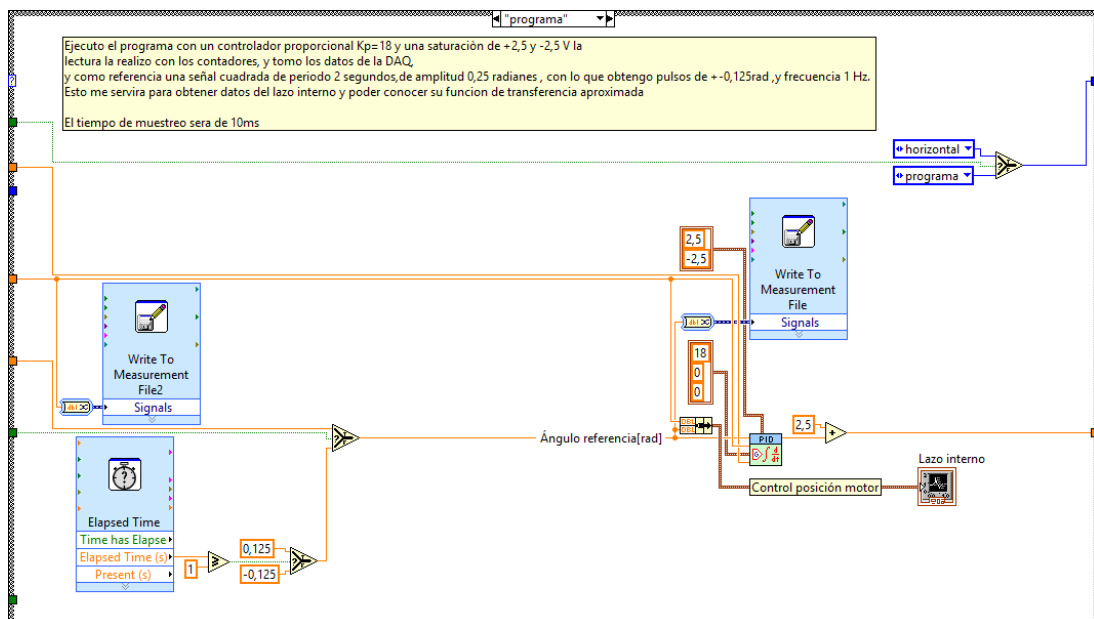


Figura 3.19. Estado programa del circuito para identificar lazo interno

En la anterior figura muestra el controlador PID utilizado, que como vimos solo utilizo el proporcional de valor 18, saturando la salida entre 2.5v y -2.5v para después sumarle 2.5v, debido a las características de la tarjeta MD22. Utilizo un *elapsed time* que se encargara de contar cierto tiempo (2segundos en mi caso) este bloque se tiene que autoresetear cada vez

que alcance dicho valor. Dependiendo cuanto tiempo halla pasado la señal será 0.125 rad ò -0.125rad.

También dispongo de los bloques para guardar los datos recogidos, *write to measurement*, y un indicador gráfico para leerlos en pantalla.

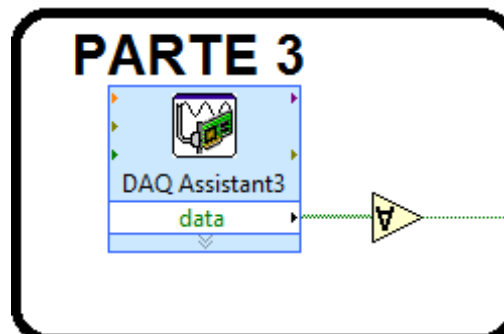


Figura 3.20. Parte 3 del programa de identificación del lazo interno

En la anterior figura se muestra el asistente para recoger los datos del final de carrera izquierdo.



Figura 3.21. Parte 4 del programa de identificación del lazo interno

Y el final de carrera derecho.

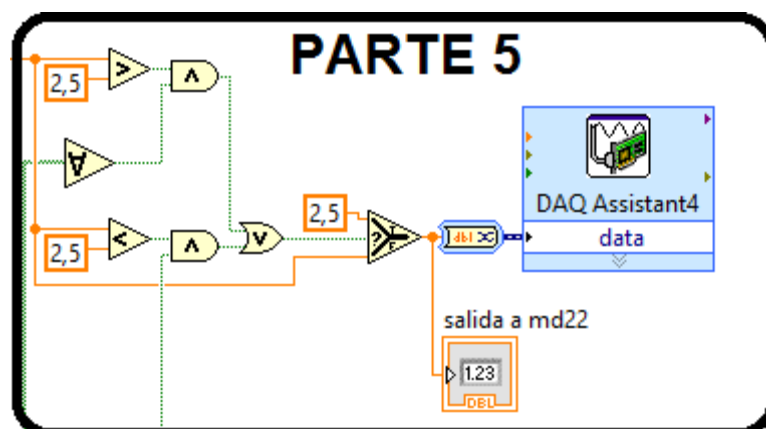


Figura 3.22. Parte 5 del programa de identificación del lazo interno

En la parte 5 disponemos del asistente apara generar la señal al actuador, nuestra salida, que estará comprendida entre 0 y 5v, también utilizo por seguridad un pequeño circuito combinacional para evitar que la viga intente sobrepasar los límites físicos.

Con el anterior instrumento virtual obtengo los datos que podemos ver en el anexo.

Utilizare Matlab para identificar la planta mediante la función ident.

La respuesta de lazo cerrado de mi sistema con un controlador proporcional de valor 18 es:

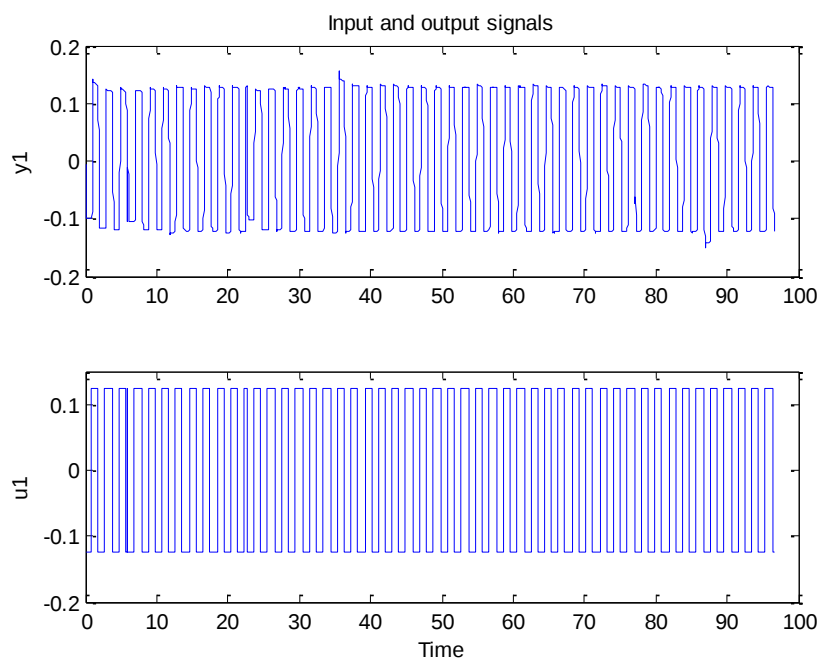


Figura 3.23. Entradas y salidas del lazo interno

Selecciono los mejores periodos:

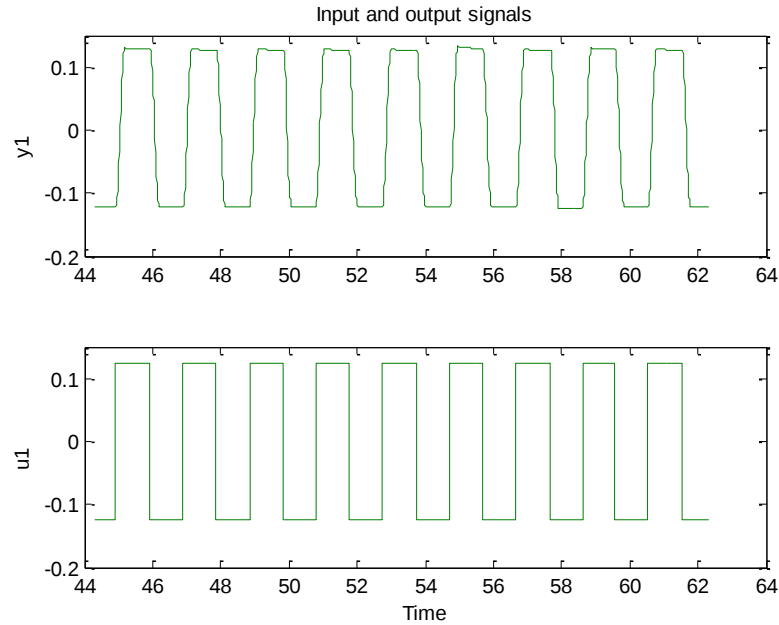


Figura 3.24. Mejores periodos de las entradas y salidas del lazo interno

Como podemos observar la respuesta presenta un ligero sobreimpulso debido a que el sistema es un sistema de segundo orden y tiene sus polos en lazo cerrado complejos conjugados.

Con los datos anteriores obtengo la siguiente función de transferencia:

$$M(s) = \frac{150.8}{s^2 + 17.63s + 152.1} \quad (32)$$

Y la salida de este sistema es la misma que la del lazo interno con una aproximación del 93.07%.

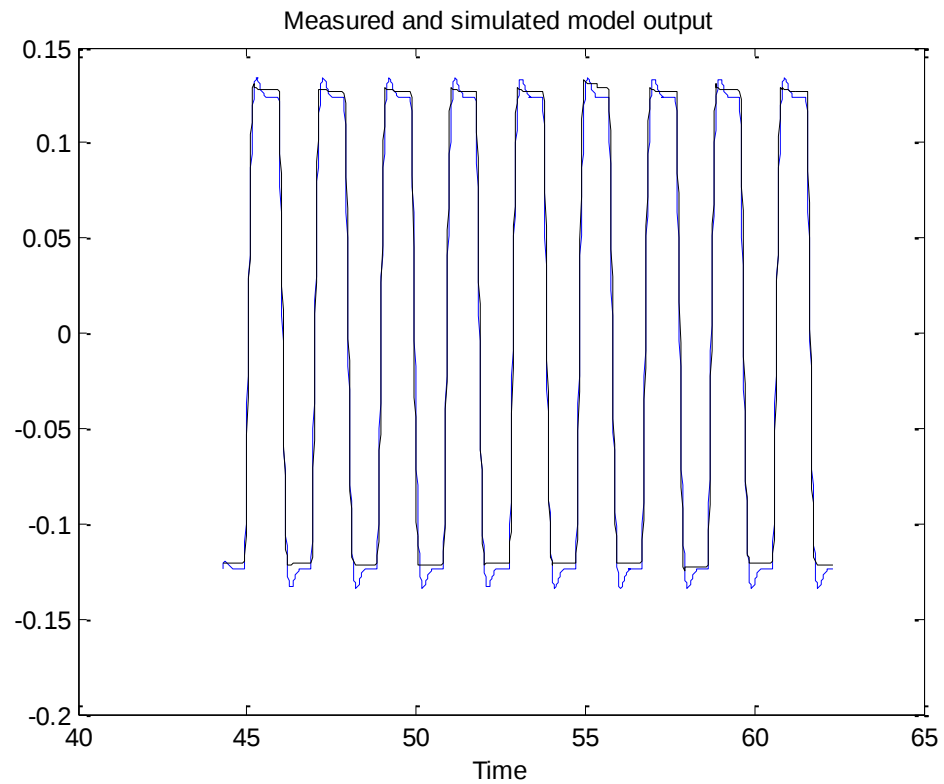


Figura 3.25. Comparación entre la salida del lazo interno y la salida de la función modelada

Respuesta escalón:

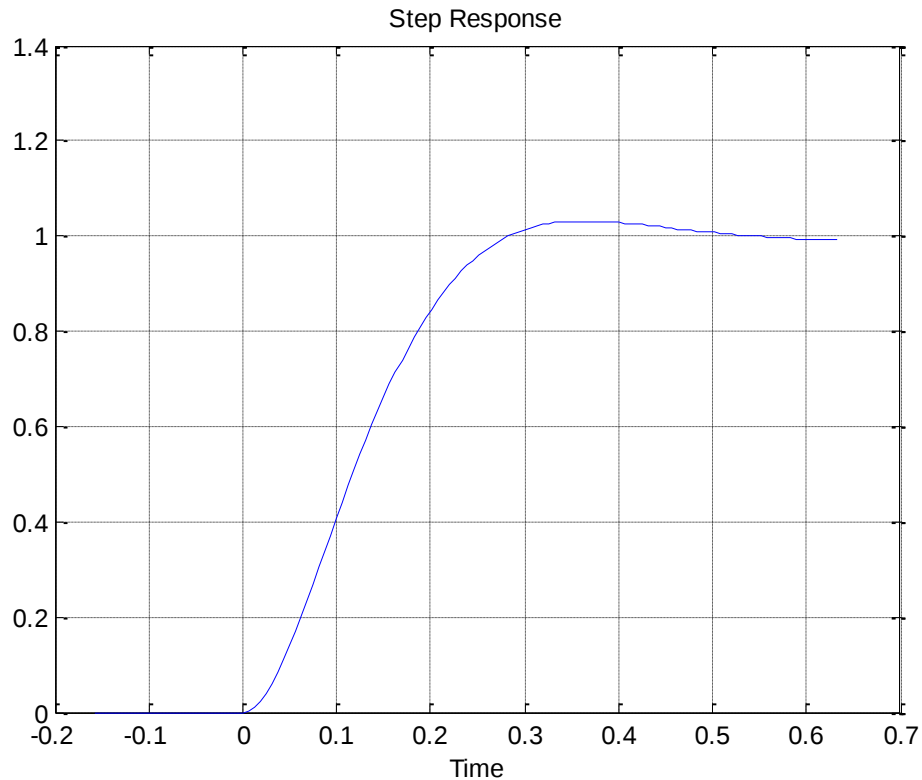


Figura 3.26. Respuesta escalón del lazo interno

La respuesta del sistema es mucho más rápida que la respuesta teórica pues para controlar de forma teórica el motor utilizamos un PD para modificar el transitorio y en este caso con un controlador proporcional el motor es lo suficientemente rápido pues tiene un tiempo de subida de entorno a 0.3 segundos.

3.2.2.3. Modelado del lazo externo

Utilizaremos para ajustar las ganancias en un primer momento el modelo teórico que me dice que la aceleración de la bola es proporcional al ángulo de la viga, para buscar el controlador PD.

El lazo interno de mi sistema sin el controlador maestro presenta el siguiente lugar de la raíz:

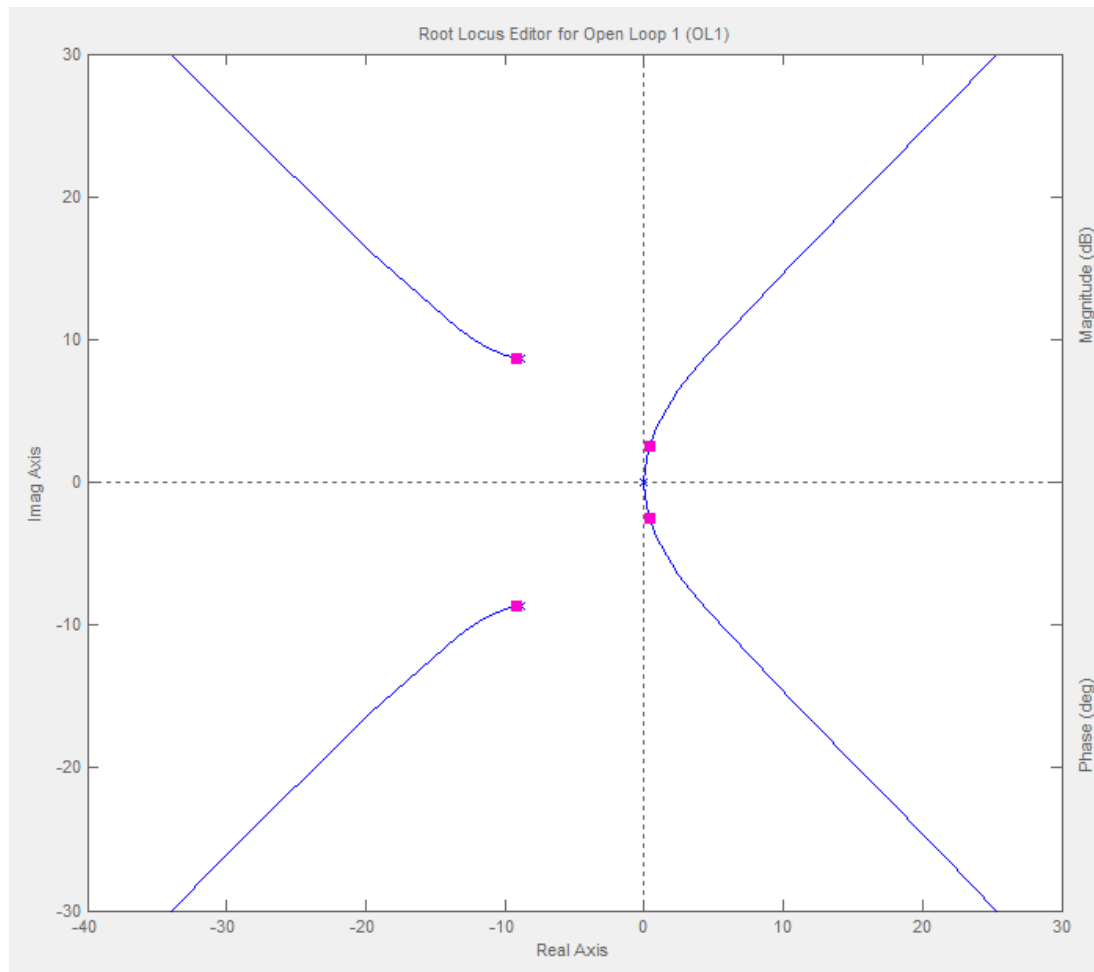


Figura 3.27. Lugar de la raíz de la planta sin controlador maestro

En este tenemos cuatro ramas y dos de ellas se encuentran en el semiplano positivo lo que inestabiliza el sistema. Deberé utilizar un control PD donde el cero del controlador lo debo acercar al semiplano positivo en la medida de lo posible para después ajustar la ganancia.

Utilizando el siguiente controlador :

$$PD = 0.025(1.5s + 1) \quad (33)$$

Obtengo el lugar de la raíz siguiente:

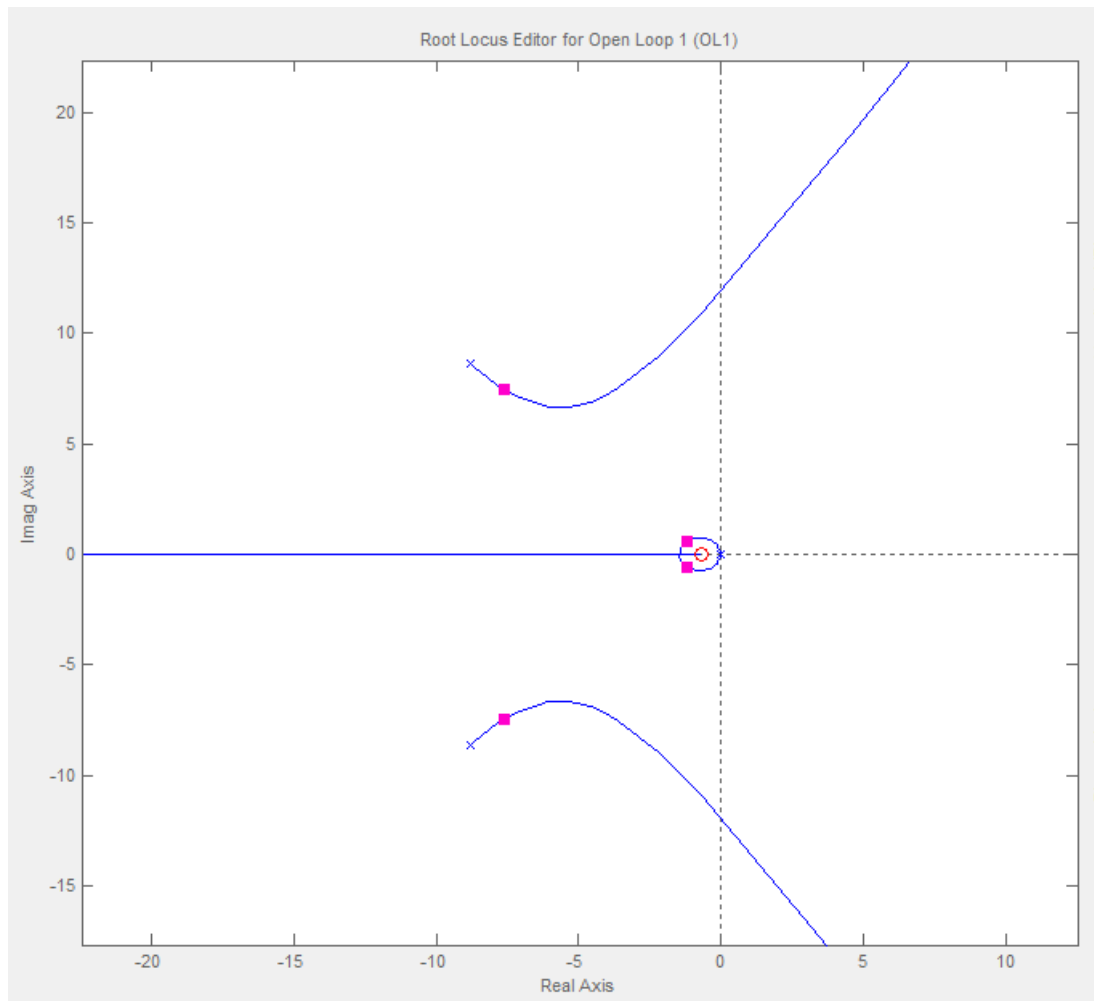


Figura 3.28. Lugar de la raíz con el controlador

Que tiene un margen de fase de 58.3° y un margen de ganancia de 18.3 dB.

El diagrama de Bode es el siguiente:

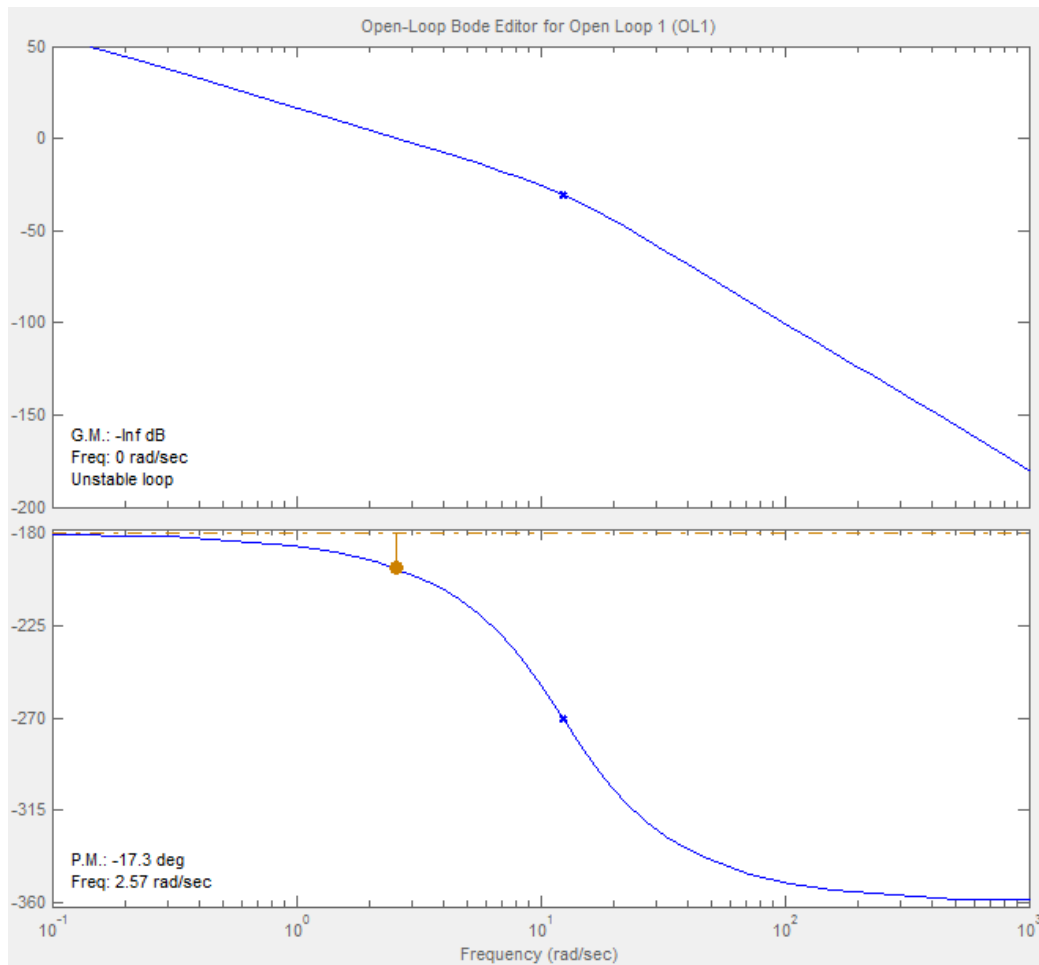


Figura 3.29. Diagrama de Bode de la planta con controlador maestro

Y la respuesta escalón:

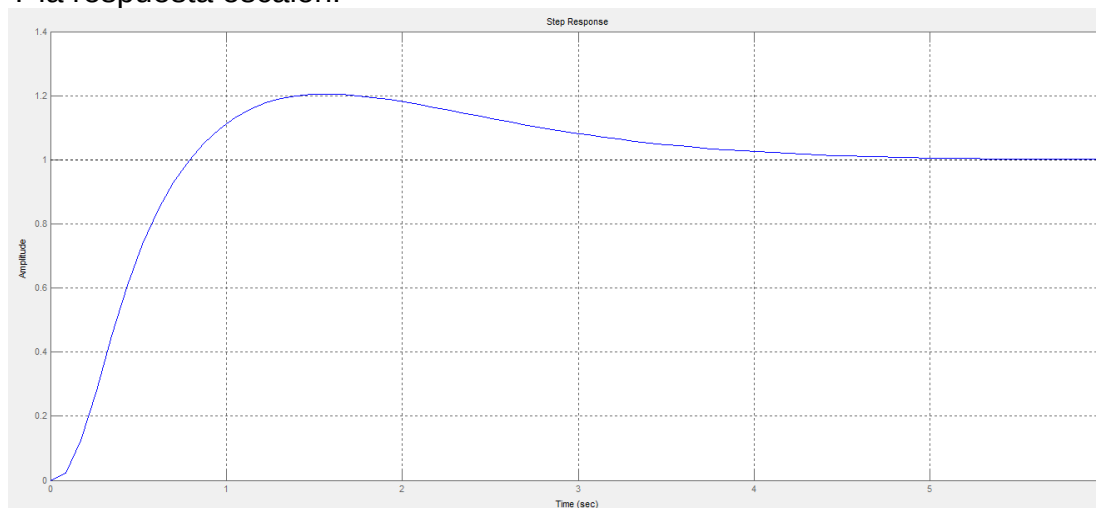


Figura 3.30. Respuesta de la planta ante entrada escalón

Experimentalmente con el controlador anteriormente seleccionado se inestabilizaba el sistema. Bajé la ganancia del proporcional del controlador maestro a 0.02 y el tiempo derivativo a la mitad consiguiendo un control bastante aceptable.

Intenté identificar el sistema con los controladores ya sintonizados, enviando señales como en el caso del lazo interno, pero esto no fue posible por los tiempos de muestreo, estos no permanecían constantes. Esto es debido a que el bucle externo es un control por visión artificial; este necesita bastante tiempo para generar las imágenes y procesarlas. Es por este motivo que el tiempo registrado para identificar el lazo externo no es constante e igual a 10ms como había seleccionado.

Una forma de solucionar el problema es utilizar un sistema operativo en tiempo real con lo que podríamos tener una frecuencia de reloj de hasta 1 MHz.

3.3. DISEÑO DEL CONTROLADOR

Existen una gran documentación referente a la planta Bola y Viga y diversos modos de controlarla:

1. Control proporcional-derivativo (PD).
2. Compensación de adelanto de fase.
3. Observadores de estado con control retroalimentado.
4. Regulador cuadrático lineal (LQR)
5. Regulador cuadrático Gaussiano (LQG)
6. Control robusto.
7. Control de estructura variable y de modo corredizo (sliding mode).
8. Control difuso.

Cada uno de los anteriores puede ser implementado como un método continuo o como método digital basado en transformada Z. Todos los métodos ofrecen un rendimiento aceptable cuando son implementados con cuidado por un experto. El sensor de posición de la pelota es un factor especial. El sistema de control debe tener un avance de fase para estabilizar la posición de la pelota pero dicho desplazamiento de fase puede amplificar el ruido en altas frecuencias, por lo que un compromiso es necesario. Precisamente el sistema de balancín y pelota es un buen ejemplo para investigar este tipo de compromiso diseño/rendimiento. El control de

estructura variable genera resultados impresionantes porque es posible “ver” la salida del sistema, en este caso la posición de la pelota moviéndose sobre la barra, como si se moviera sobre las trayectorias de cambio del controlador. La lista de controladores incluye el controlador PD, en donde la acción derivativa es esencial para estabilizar el comportamiento de la pelota. La acción de un filtro derivativo de “lavado” en este caso es esencial para suprimir problemas de ruido en el sensor. Este filtrado lo realizo mediante software como detallo en la parte del procesado de imagen.

Finalmente se optó por el uso de controladores PID por su sencillez y por ser controladores ampliamente estudiados en las asignaturas de control.

El control implementado en este sistema es un lazo de doble realimentación, conocido como control en cascada. Este tipo de control utiliza dos controladores, uno interno llamado esclavo o secundario, y el otro externo, llamado maestro o primario.

En este tipo de esquema la acción del controlador primario fija el punto de ajuste para el controlador secundario, es decir, el resultado que produce el controlador primario es el punto de referencia que debe seguir el controlador secundario.

Para nuestro sistema la función del lazo secundario (lazo interno) es controlar la posición del ángulo de la viga, y el primario (lazo externo) se encarga de controlar la posición de la bola a lo largo de la viga. Vemos en el siguiente esquema de control, que al motor le llega el error amplificado por una constante a la que llamaremos señal de acción ($U(s)$).

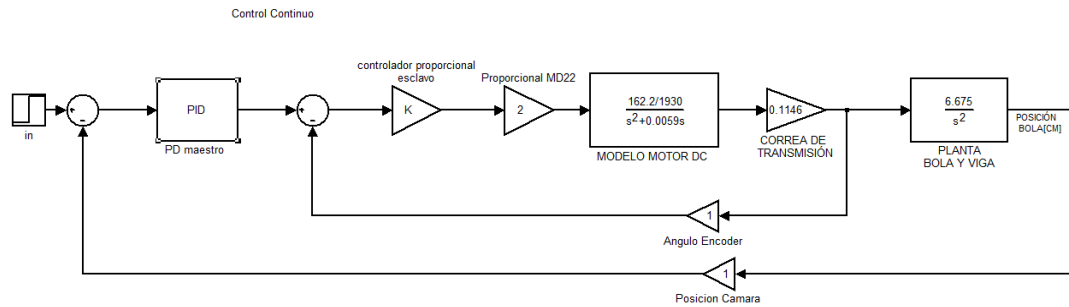


Figura 3.31: Esquema de control.

Para que el control en cascada presente ventajas sobre un controlador retroalimentado puro, la respuesta dinámica del lazo interno tiene que ser más rápida que la correspondiente respuesta dinámica del lazo externo.

Al cumplir este requisito, se mejora notablemente el desempeño del esquema de control en lazo cerrado del sistema total. Por esta razón se acostumbra a emplear un controlador puramente proporcional para el control de lazo interno. Este controlador normalmente se ajusta de tal manera que la respuesta sea lo más rápida posible dentro de las restricciones de la estabilidad.

El control de la planta lo implementaremos mediante software con la ayuda de la potente herramienta de control: Labview. Y el estudio tanto teórico como práctico será realizado mediante Matlab.

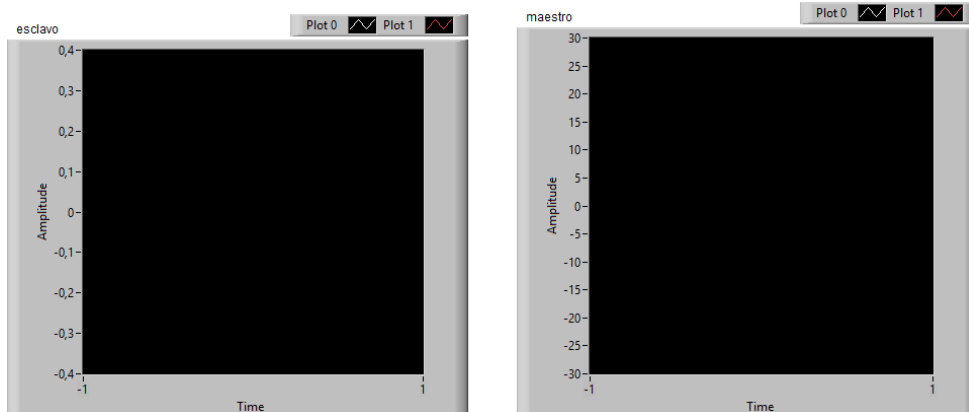
3.3.1. Diseño del controlador en Labview:

El controlador diseñado mediante Labview utilizará muchos bloques del anterior instrumento virtual y como en todos los casos que se utilice la planta será necesario realizar las mismas operaciones de inicialización por lo que utilizaré la máquina de estados creada para tal fin, con la diferencia que en este caso el estado programa lo diseñaré utilizando dos bloques PID's en cascada.

Para el control de la planta bola y viga he creado el siguiente instrumento virtual :

- **Panel frontal:**

Dos indicadores gráficos para visualizar las señales de entrada y salida de ambos lazos de control:



Dos controladores para seleccionar los valores de mis dos PID's utilizados :

PID maestro	PID esclavo
proportional gain (Kc)	proportional gain (Kc)
0,012	23
integral time (Ti, min)	integral time (Ti, min)
0	0
derivative time (Td, min)	derivative time (Td, min)
0,01	0

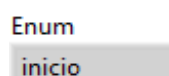
Un botón de parada con lo que detengo el movimiento de la viga pero no el programa:



Un botón para recoger los datos:



Un indicador para poder visualizar en qué estado se encuentra el instrumento virtual:



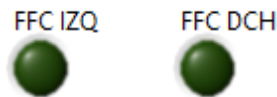
Un indicador para poder visualizar la tensión de salida:

out md
0

Un indicador numérico que muestra los pulsos generados por el Encoder para así poder conocer la posición angular de la viga :

pulsos
0

Dos indicadores tipo leds para visualizar cuando están activados los finales de carrera:



La señal de entrada de mi sistema para poder indicar al controlador la posición de la bola sobre la viga deseada por el usuario:

REFERENCIA
0

También como en el instrumento anterior disponemos del botón stop que detiene el ciclo while y con ello el instrumento virtual:



- **Diagrama de bloques**

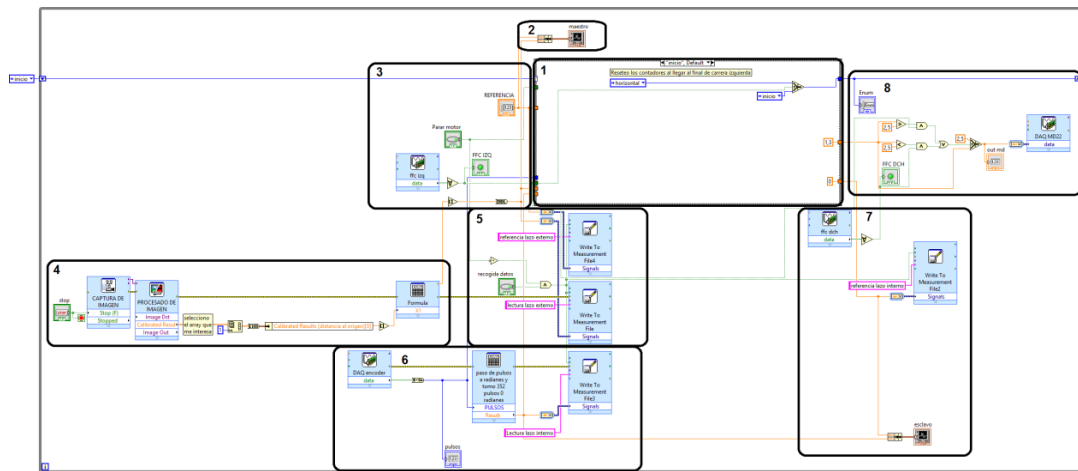


Figura 3.32: Diagrama de bloques del controlador

Igual que en el caso anterior ejecuto el programa con un ciclo while que se ejecutara hasta que sea pulsado el botón stop.

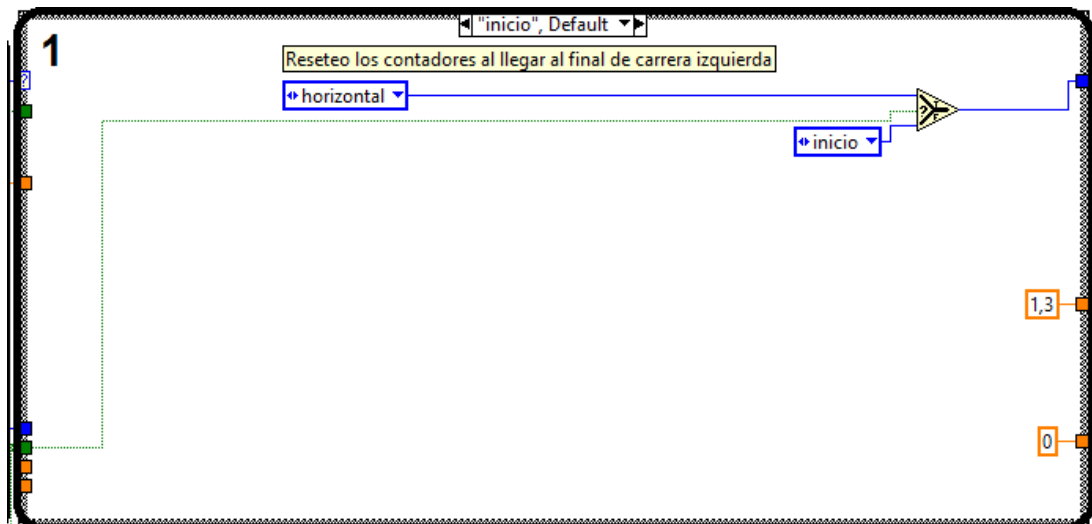


Figura 3.33: Parte 1 del diagrama de bloques

En la parte 1 de mi diagrama de bloques tengo programado los distintos estados de mi máquina mediante un ciclo case de igual forma que en el instrumento anterior. Ahora el estado programa será el control de mi planta, con mis dos controladores conectados en cascada, uno para el control del lazo interno que será de tipo proporcional, y otro controlador tipo PD en lazo externo, cabe destacar que el lazo interno deberá comportarse rápidamente para poder seguir a la señal generada por mi controlador PD, esto se puede conseguir elevando la ganancia proporcional lo máximo posible dentro de los límites de estabilidad.

El caso programa o estado programa diseñado para el control de la planta es el siguiente:

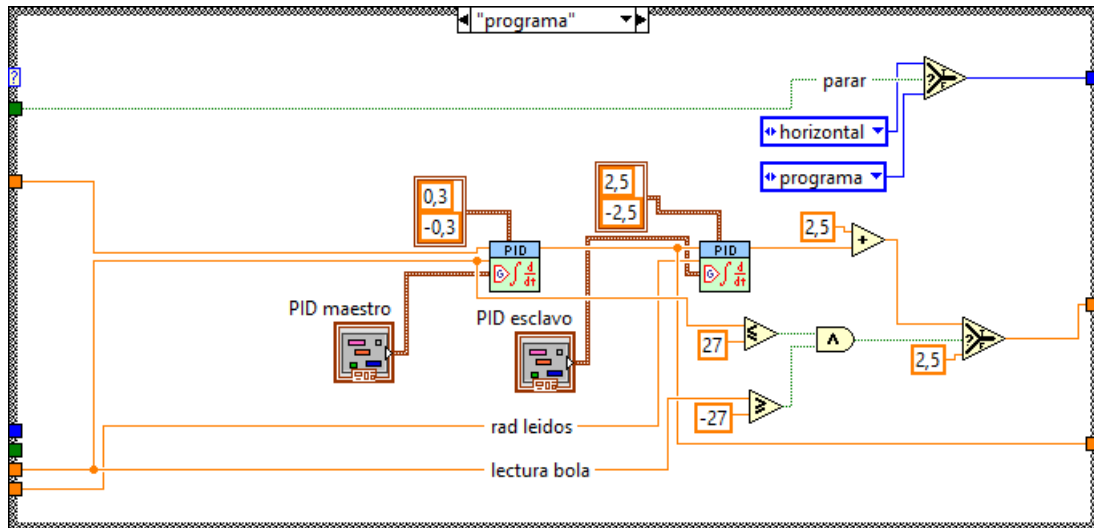


Figura 3.34: Estado programa

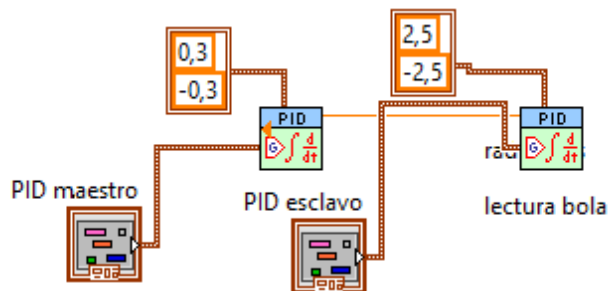


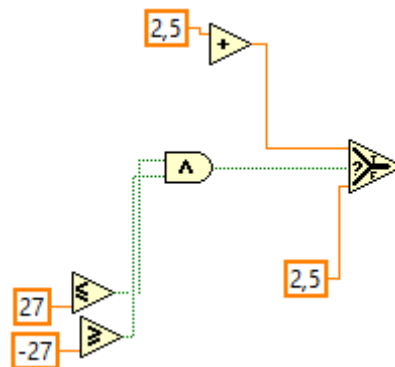
Figura 3.35: Conexión en cascada de los PID's en Labview

En la figura 3.33 se muestran los dos PID's conectados en cascada, el controlador maestro encargado del control de la posición de la bola tiene como entrada setpoint, es decir, es la señal de referencia que se vio en el panel frontal.

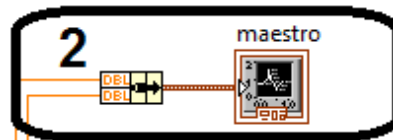
Y como entrada a procesar, es decir la realimentación, tengo la posición de la bola en cm referida al centro geométrico de la viga como veremos más

adelante. La salida de este controlador será la entrada de mi controlador esclavo encargado de realizar el control de la posición de la viga, es por esto que saturó al controlador principal entre 0.3 y -0.3 radianes, pues si no lo saturase ante entradas con un gran error la viga golpearía los finales de carrera con el consiguiente daño que sufriría la planta.

La señal a procesar del controlador interno será la posición angular de la viga en radianes, y referidos a la horizontal. Este controlador también deberá saturarle entre 2.5 y -2.5 voltios pues la salida de la tarjeta de adquisición de datos al igual que la entrada de mi tarjeta de potencia están limitadas entre 0 y 5 voltios. A la salida de mi controlador secundario o esclavo deberá elevarle la tensión a 2.5v pues según las características de la tarjeta de potencia es para este valor cuando el motor permanece parado cuando la tarjeta trabaja en modo analógico, esto lo consigo simplemente sumándole 2.5 al valor de salida de mi controlador secundario:



Después de elevarle la tensión he dispuesto de un selector para proteger al circuito cuando la bola no se encuentre dentro de los límites de visión de mi cámara, pues cuando sucede dicha condición el sistema se comporta de forma muy brusca. La distancia que puedo visualizar con mi cámara USB está comprendida entre +27cm y -27 cm, cuando se encuentre la bola fuera de estos valores la salida a mi tarjeta de potencia será 2.5v con lo que detengo la viga y así proteger la planta.



En la parte dos de mi diagrama de bloques dispongo del indicador gráfico de mi lazo externo o maestro , como quiero visualizar dos señales: la señal de referencia de la posición de la bola en centímetros y la leída de la misma, utilizo un bloque denominado bundle para este propósito:

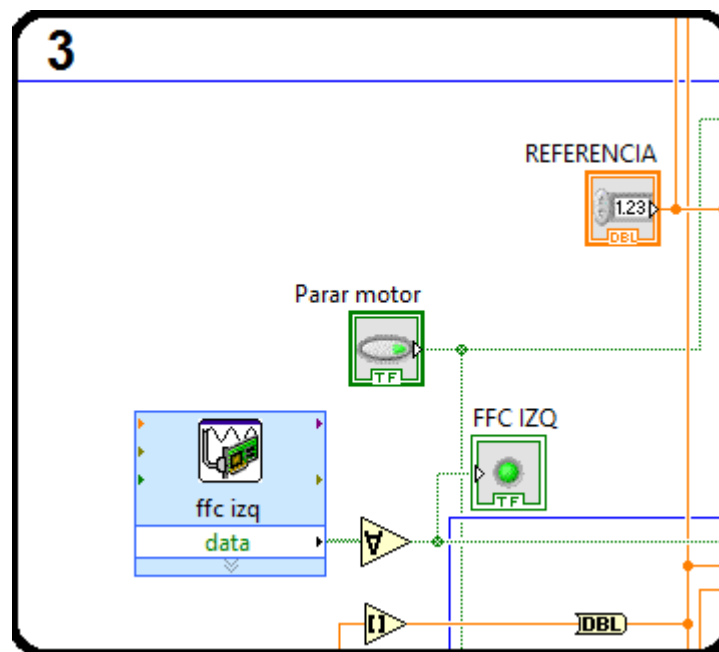
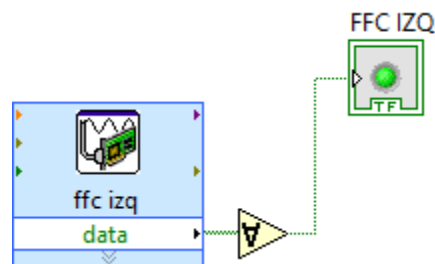


Figura 3.36: Parte 3 del diagrama de bloques

En la parte tres del programa tenemos el bloque para leer el final de carrera izquierdo junto a su indicador led , de igual forma que el instrumento anterior es necesario arreglar la salida del bloque pues esta es una array booleano y yo necesito un dato booleano.



También aparecen el botón parar motor que vimos en el panel frontal y la señal de entrada de mi instrumento llamada referencia.

REFERENCIA Parar motor



También aparecen los bloques siguientes:



El primero realiza un redondeo del valor que viene de la parte 4 del diagrama de bloques; el cual se encarga de medir la posición de la viga, y el siguiente bloque llamado DBL transforma el dato que es entero de 32 bits con signo (SGL) a un valor entero de 64 bits con signo (DBL). La salida de este último bloque será la entrada a procesar de mi controlador principal.

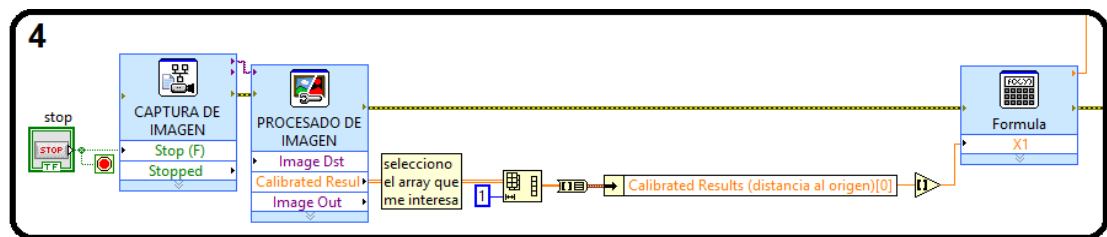


Figura 3.37: Parte 4 del diagrama de bloques

En esta parte del programa es donde realizo el procesamiento de la imagen. En un primer lugar dispongo del botón stop comentado en el panel frontal que no solamente detiene el ciclo while también detiene la adquisición de imágenes de la cámara.

Después dispongo del bloque encargado de la captura de la imagen:



En este bloque se deberá seleccionar la cámara a utilizar:

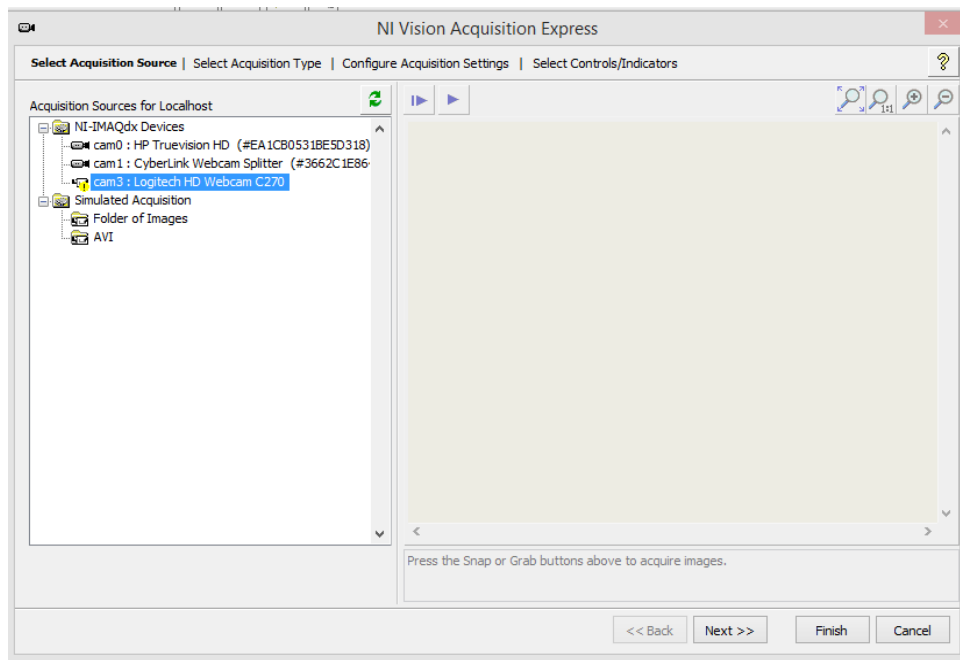


Figura 3.38: Selección de la cámara a utilizar

Como queremos que adquiera la imagen, de forma continua, una sola imagen, etc. En mi caso será de forma continua:

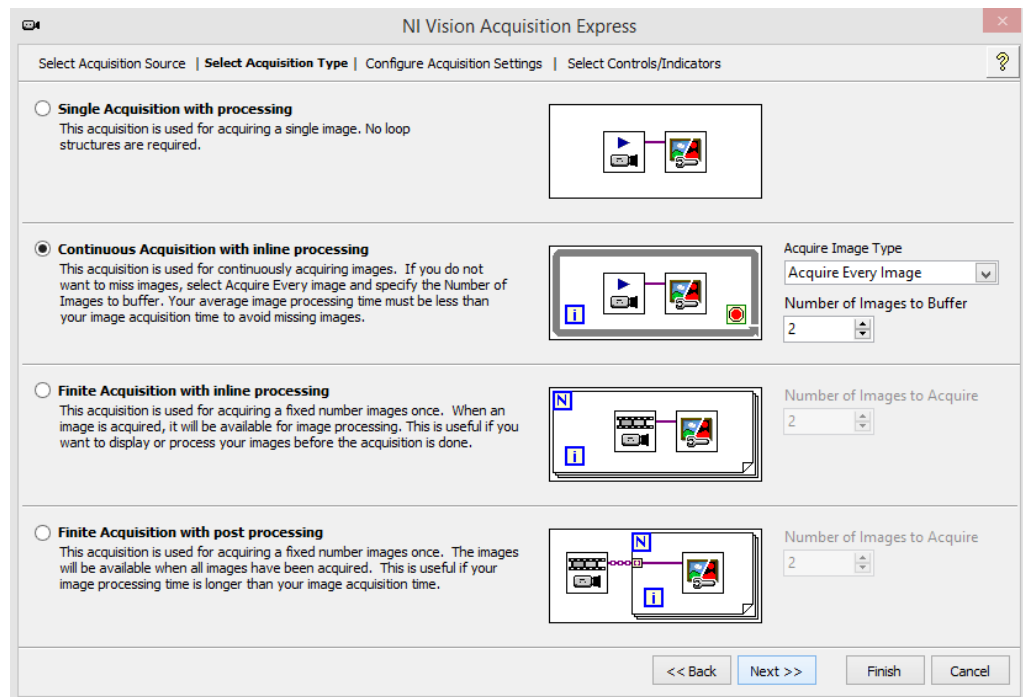


Figura 3.39: Selección del tipo de imagen

En esta otra parte selecciono el tipo de imagen que voy a adquirir con su resolución y la velocidad de captura:

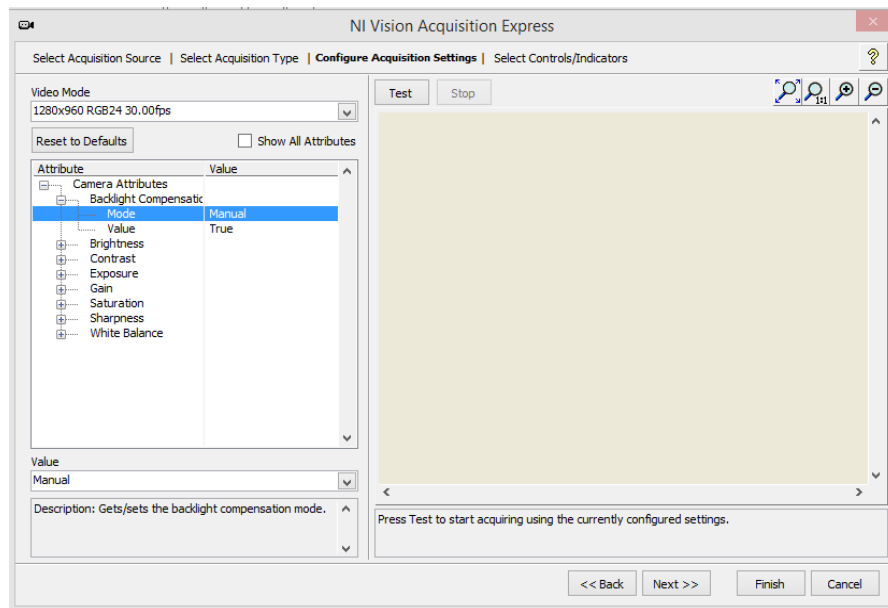


Figura 3.40: Selección de los parámetros de la cámara

En mi caso utilizo una imagen tipo RGB de 1280x960 pixeles y a 30 frames por segundo.

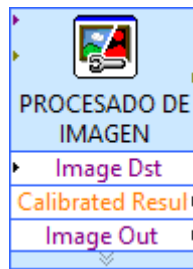
El tipo de imagen RGB es una imagen que descompone esta como combinación de los siguientes colores:

- R: Red, rojo
- G: Green, verde
- B: Blue, azul

La imagen seleccionada tendrá una distancia en el eje x de 1280 pixeles y en eje y 960 pixeles. En mi caso solo me interesara en el eje x que es la dirección en que se mueve la bola de mi balancín. En esta parte podremos testear la cámara .

Y tiene una velocidad de adquisición de imágenes de 30 frames, es decir que captura 30 imágenes por segundo.

Ahora que tenemos la imagen necesitamos obtener la información necesaria para el control de la planta, este procesado de imagen lo realizo con el *Vision Assistant* de *Labview*:



Como entrada a mi bloque tengo la salida del bloque de captura de imagen, y como salida de este un array de dimensión 2, donde un valor del array representa al eje x , y el otro al eje y.

Para el procesamiento utilizo el modulo de visión que incorpora *Labview* llamado *Vision Assistant*, está dividido en tres partes:

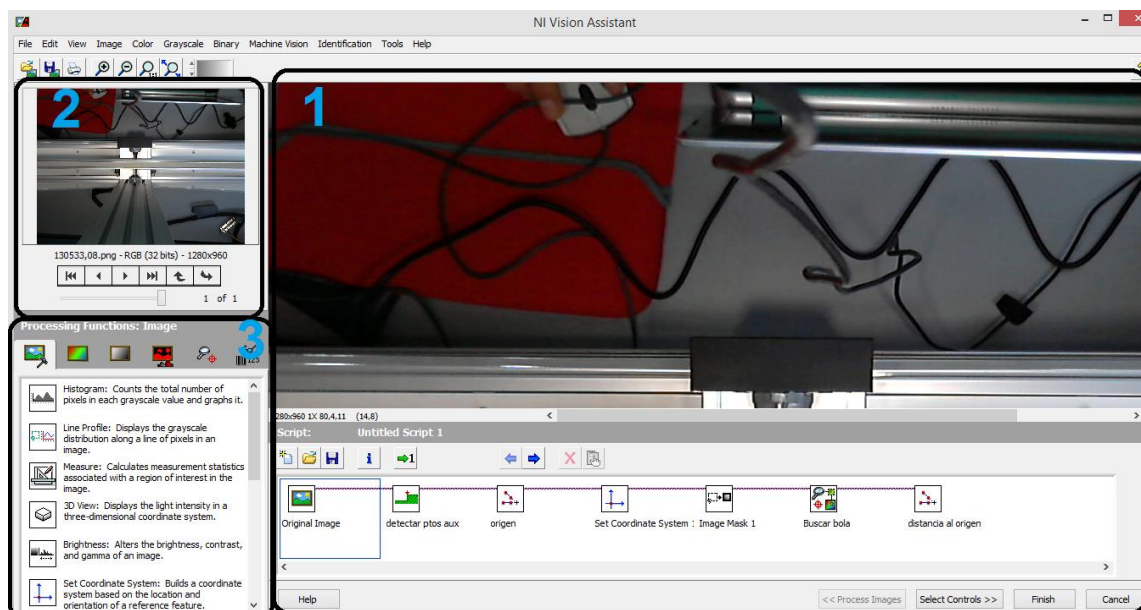


Figura 3.41: Panel de operaciones del asistente de visión

La parte 1 que representa propiamente el procesamiento de la imagen:

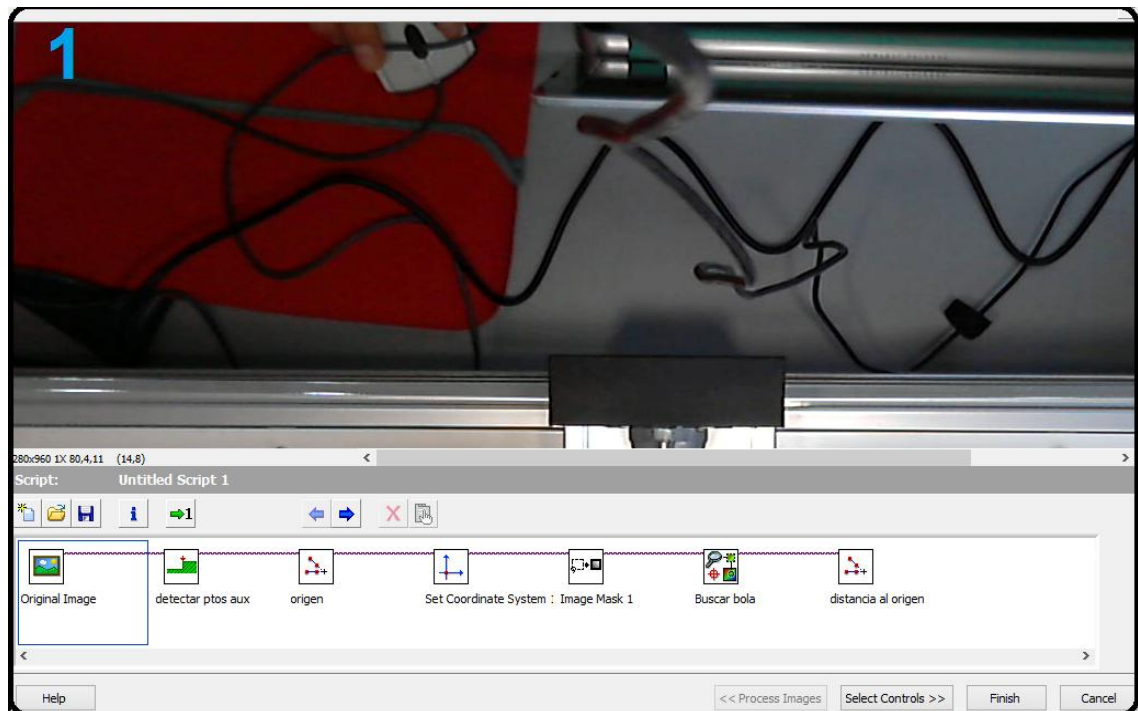


Figura 3.42: Parte 1 del asistente de visión

La parte 2 que representaría la entrada del bloque , es decir la imagen adquirida:



Figura 3.43: Parte 2 del asistente de visión

Y la parte 3 que representa las distintas operaciones que se puede realizar con Vision Assistant:

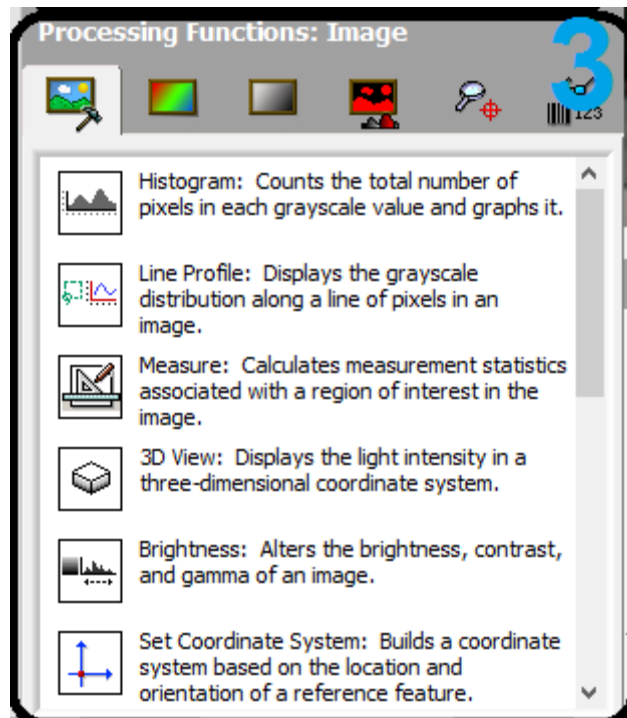


Figura 3.44: Parte 3 del asistente de visión

Para el procesamiento de mi imagen realice los siguientes pasos:

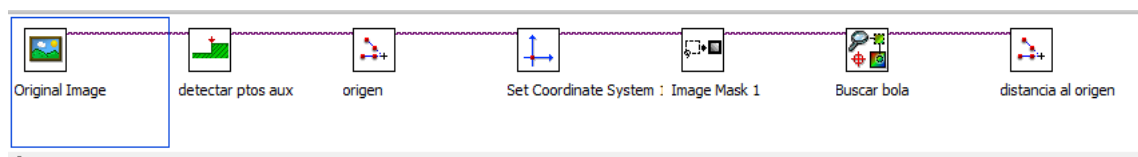
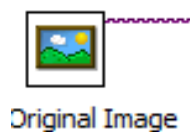


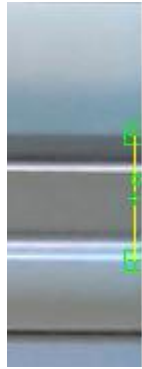
Figura 3.45: Bloques utilizados en el procesamiento de imagen

El primer bloque es la selección de la imagen original:



Después selecciono en la imagen capturada dos puntos auxiliares que son dos puntos de los raíles de la viga tomados en un extremo de la imagen.

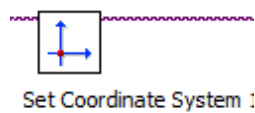




Tomo el punto medio de los puntos auxiliares anteriores como el origen.



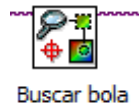
Posiciono el sistema de referencia en origen anterior:



Creo una máscara para la zona de interés , solamente la viga.



Y realizo la búsqueda de un cierto patrón de color que deberá haber sido cargado con anterioridad:



Patrón buscado:

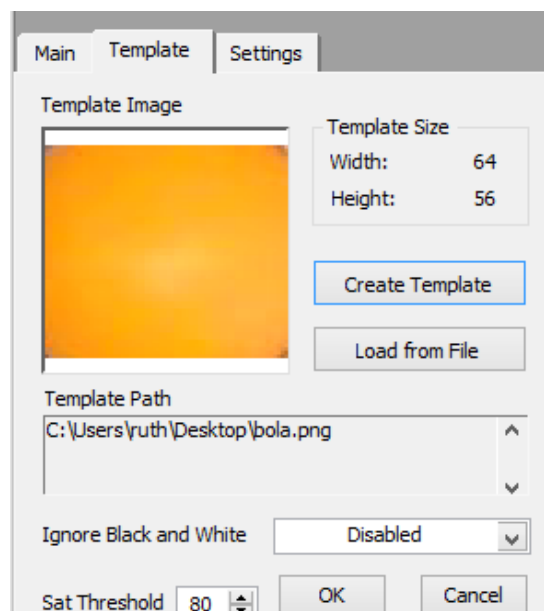
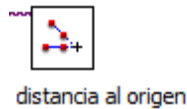


Figura 3.46: Patrón de búsqueda de la imagen

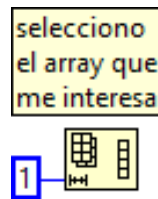
*** Nótese que la búsqueda la realiza con un patrón cuyo tamaño es de 64x56 pixeles.

Y el último bloque que será la salida de mi *Vision Assistant* :



es la posición de la bola en pixeles y que será un array de tamaño 2xn uno para el valor del eje x y otro para el y.

A la salida del bloque de llamada al *Vision Assistant* redimensiono el array anterior para quedarme con el array de datos a estudiar, pues la posición y no cambiará .

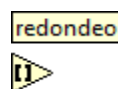


Tras este bloque arreglo los datos del array quedandome con el vector de datos del eje x. Haciendo los siguientes cambios:

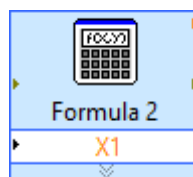
Primero lo llevo a un cluster y después de este, a un tipo de dato dbl, para poder utilizarlos:



Después debo redondear el valor en pixeles leídos, debido a que aparece bastante ruido en la lectura, mis valores leídos oscilan entre +3 y -3 pixeles.



A continuación transformo los pixeles a centímetros para colocar el sistema de referencia en el centro de la viga.



Como conozco la posición leída en pixeles del centro de la viga , bastará restar al valor leído, el valor en el centro de la viga para conocer la posición de la bola respecto el centro de la viga.

(X1-670)

Siendo:

- X1=valor leído actual; 670 pixeles es la posición que ocupa el centro de la viga.

Ahora bastará conocer dos puntos con su posición en cm y su posición en pixeles, conociendo:

- Que $\Delta\text{pix}=438$ y $\Delta\text{cm}=20$:

Entonces:

(X1-670)*20/438

Obtengo la posición leída por la cámara en cm.

Para tener un ajuste más fino y consecuentemente un error menor, los 20 cm los multiplicaremos por 4 con lo que obtengo una exactitud de cuarto de centímetro.

(X1-670)*80/438

Parte 5 del diagrama de bloques:

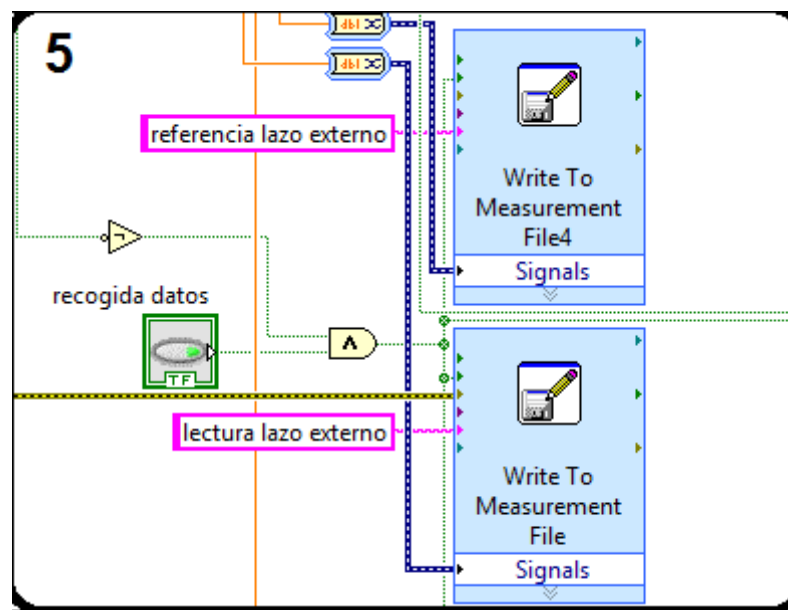


Figura 3.47: Parte 5 del diagrama de bloques

En esta parte dispongo de dos bloques *Write to Measurement* utilizados para recoger la información del lazo externo, tanto la señal de referencia como la señal de salida, al igual que en casos anteriores los datos deberán ser del tipo dinámico por lo que realizo el consiguiente transformación a *Dinamic Data*, los bloques anteriores igual que en el caso anterior recogerán información cuando el botón recogida datos este activo y el botón para motor desactivado.

Parte 6 del programa:

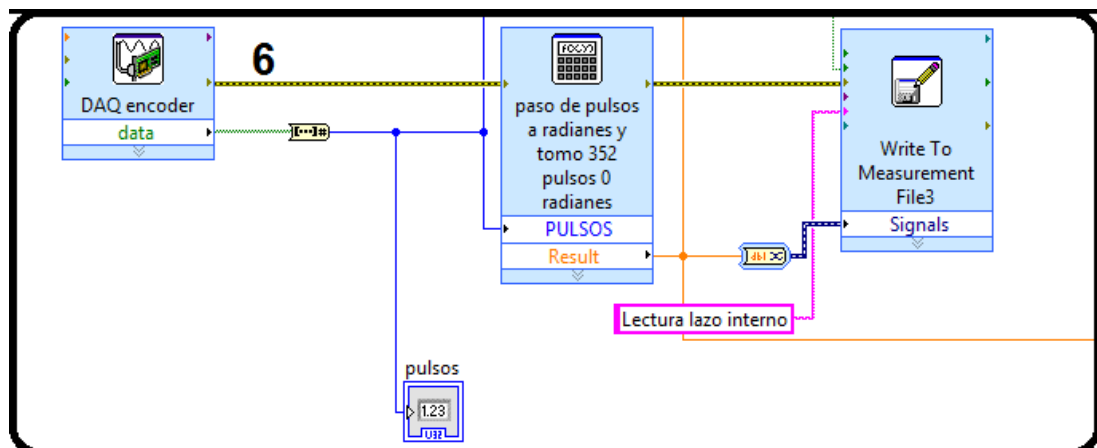


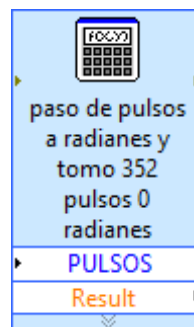
Figura 3.48: Parte 6 del diagrama de bloques

El bloque DAQ encoder es el mismo utilizado en el instrumento virtual anterior, la señal de salida que es un array booleano de dimensión $n \times 10$ la cual fue arreglada de la siguiente forma:

DigitalIn_7	0	Dev2/port1/line1	USB-6009
DigitalIn_6	1	Dev2/port1/line0	USB-6009
DigitalIn_8	2	Dev2/port1/line2	USB-6009
DigitalIn_9	3	Dev2/port1/line3	USB-6009
DigitalIn_3	4	Dev2/port0/line5	USB-6009
DigitalIn_2	5	Dev2/port0/line4	USB-6009
DigitalIn_4	6	Dev2/port0/line6	USB-6009
DigitalIn_5	7	Dev2/port0/line7	USB-6009
DigitalIn_1	8	Dev2/port0/line3	USB-6009
DigitalIn_0	9	Dev2/port0/line2	USB-6009

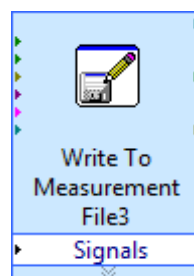
Tabla 3.1: Posición de lectura de las entradas digitales que vienen de los contadores

La transformo a un valor decimal tras lo cual utilizando un bloque fórmula, arreglo el valor adquirido para referirlo a la horizontal y pasarlo a radianes:



La salida de este bloque será la señal de procesamiento de mi controlador secundario.

También dispongo de un bloque para guardar los datos leídos:



:

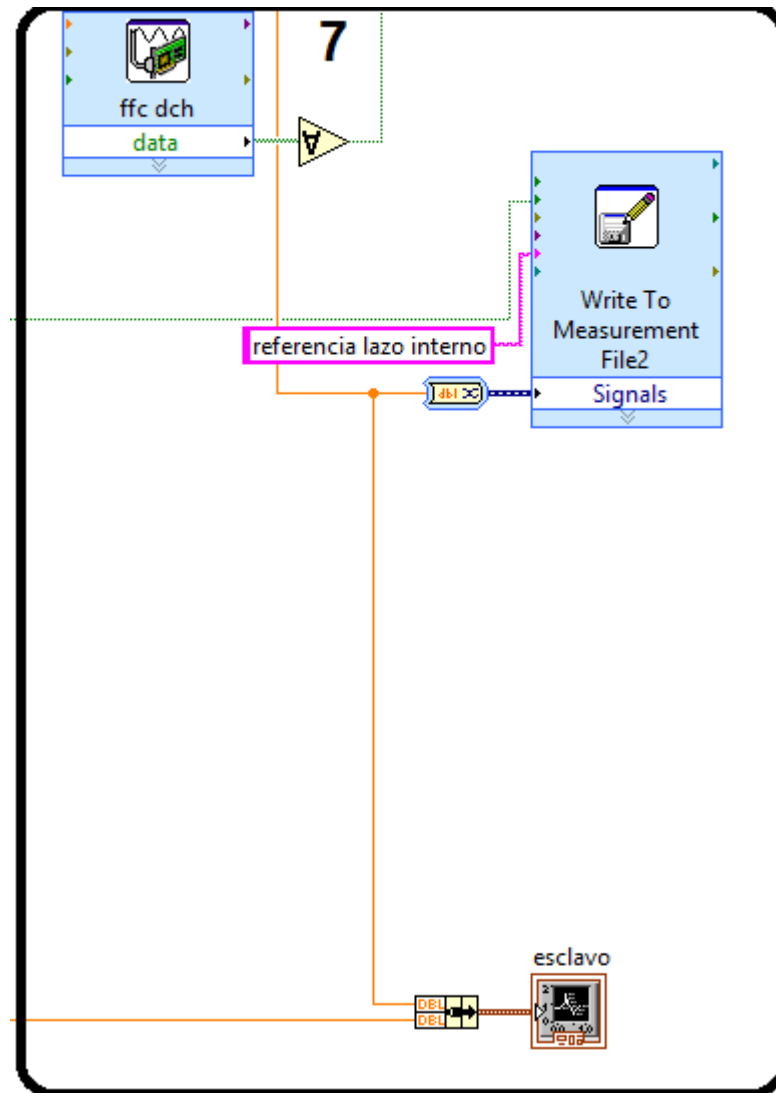
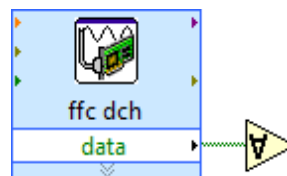


Figura 3.49: Parte 7 del diagrama de bloques

En esta parte del programa aparece el asistente de la tarjeta de adquisición de datos para leer el final de carrera derecha que de forma análoga al final de carrera izquierdo se debe arreglar para poder leer un valor booleano:



También aparece el bloque para guardar los datos de referencia del lazo interno:



Además aparece el indicador gráfico del lazo interno, que de forma análoga al lazo externo se necesita utilizar un bundle para poder visualizar los dos datos en el anterior indicador grafico:

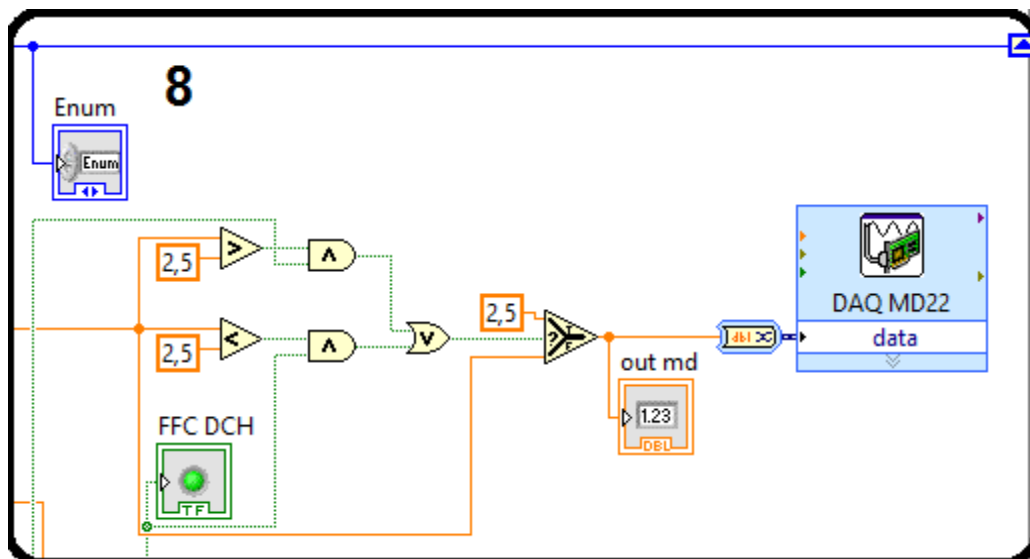
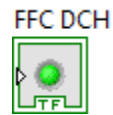


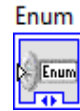
Figura 3.50: Parte 8 del diagrama de bloques

De igual forma que en el instrumento virtual anterior dispongo de una protección para no dañar la planta cuando llegue a los finales de carrera impidiendo el movimiento cuando se pretenda superar dichos finales de carrera.

En esta parte del programa dispongo también del *Led indicador* de mi final de carrera derecha que vimos en la parte del panel frontal :



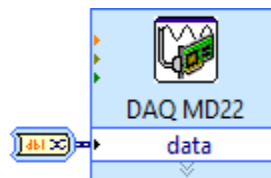
Además aparece el indicador para conocer el estado presente de mi máquina de estados , comentado en el diagrama de bloques:



El indicador donde podremos visualizar la señal de salida:



Y el bloque asistente de la tarjeta de adquisición de datos para generar la tensión de salida para el control de la planta, este bloque es el mismo que el usado en el anterior instrumento virtual:



Como dijimos anteriormente se deberá utilizar el bloque *Wait Until Next Multiple* para seleccionar el tiempo de muestreo, que igual que en los anteriores casos será de 10ms.

Con el controlador anterior obtengo los datos que se encuentran reflejados en los anexos.

Con el controlador anterior en Labview sintonizándolo con los valores de:

Esclavo: $K_p=18$

Maestro: $K_p=0.02$; $T_d=0.01$ min = 0.6 seg

Obtengo la siguiente grafica que representa la entrada y salida de mi sistema cuando le aplico perturbaciones en distintas posiciones: 0 cm , +10 cm, -10 cm , 20 cm, -20 cm :

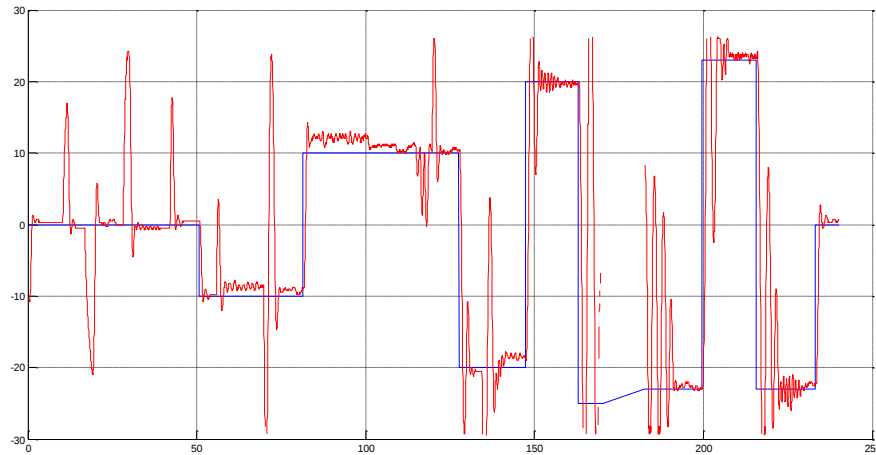


Figura 3.51: Entrada y salida del sistema Bola y Viga

3.4. TIEMPO DE MUESTREO

Un concepto importante dentro de los controladores digitales es el tiempo de muestreo: el intervalo de tiempo en que recogemos los datos de la planta.

Al estar utilizando una tarjeta de adquisición de datos *NI USB 6009* adquirimos los datos bajo demanda, es decir los datos de lectura y/o escritura de la tarjeta de adquisición de datos se ejecutaran en cada iteración del ciclo *while*. Para poder controlar dicha iteración se deberá colocar un bloque denominado *Wait Until Next Multiple [ms]*.

Para seleccionar hay que tener en cuenta las limitaciones físicas de la planta, como es el tiempo en que tarda en recorrer la bola la distancia leída por mi cámara, este tiempo lo obtenemos sabiendo que con la cámara podemos asegurar que leemos una distancia sobre la viga de 54cm pero la bola puede recorrer en realidad 84 cm. Luego tomando la peor situación, donde la bola presente la máxima aceleración, que como vimos es proporcional al ángulo de la viga, será cuando tenga una posición angular de la viga de 25.344° y la bola se encuentre en uno de los extremos, con lo que podrá recorrer los 84 cm.

Como la aceleración es proporcional al seno del ángulo de la viga, tendremos una aceleración de:

$$a = 6.675 \sin \theta = 6.675 \sin 25.344 \quad (34)$$

$$a = 2.857 \frac{m}{s^2} \quad (35)$$

Como sabemos que antes de poder visualizar la bola ha recorrido 15 cm , y el movimiento será rectilíneo uniformemente acelerado, la bola tendrá una velocidad inicial cuando la empecemos a ver por la cámara será de :

$$x = \frac{1}{2} a t^2 \quad (36)$$

$$t = \sqrt{\frac{2x}{a}} \quad (37)$$

Obtenemos que la bola tarda 0.324 s en llegar a la zona de control, ahora conoceremos la velocidad inicial para la zona de control, esta velocidad es:

$$v = at = 0.324 * 2.857 = 0.925 \frac{m}{s} \quad (38)$$

$$x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \quad (39)$$

$$0.925t + 1.4285t^2 - 0.47 = 0 \quad (40)$$

Con la ecuación anterior obtengo el tiempo que tarda en recorrer la bola la zona a controlar, este tiempo es de 0.334 segundos, luego el tiempo de muestreo deberá ser menor para poder detectarla.

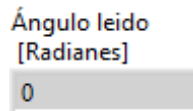
Para seleccionar de forma correcta el tiempo de muestreo de la planta realizaré un programa en Labview donde generaré un impulso de máximo valor (5V); y dependiendo de las muestras obtenidas podremos asegurar el correcto funcionamiento de la planta con dicho tiempo de muestreo. Para poder asegurar el correcto control del lazo interno deberemos obtener al menos 10 muestras del tiempo de subida.

3.4.1. Instrumento virtual para buscar tiempo de muestreo

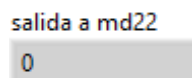
- **Panel Frontal:**

El panel frontal de mi instrumento virtual está compuesto por:

Un "Indicador del ángulo" leído en radianes:



Un "Indicador de la tensión" de salida de mi programa:



Un botón llamado "Parado" que detiene el programa:



Un botón de "Guarda" para guardar los datos:



Y el botón de "Stop" que es la condición para detener el ciclo while y con este el instrumento virtual



- **Diagrama de bloques:**

El diagrama de bloques creado para realizar el programa es el siguiente:

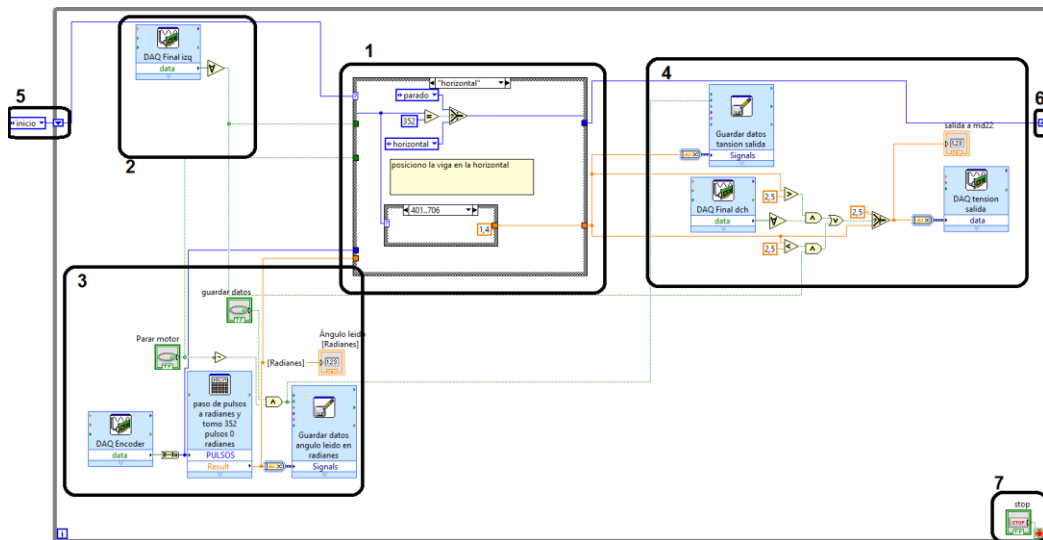


Figura 3.52: Diagrama de bloques

El programa de control lo ejecuto con la ayuda de un *ciclo while*, este ciclo se ejecutará hasta que cierta entrada se active, en mi caso la condición de detener el while y con ello mi instrumento virtual es el botón de stop que puede ser manipulado en el panel frontal.

El tiempo de ejecución de mi bucle estará limitado por el hardware utilizado, siendo mínimo cuando utilizo un ciclo while, como veremos más adelante.

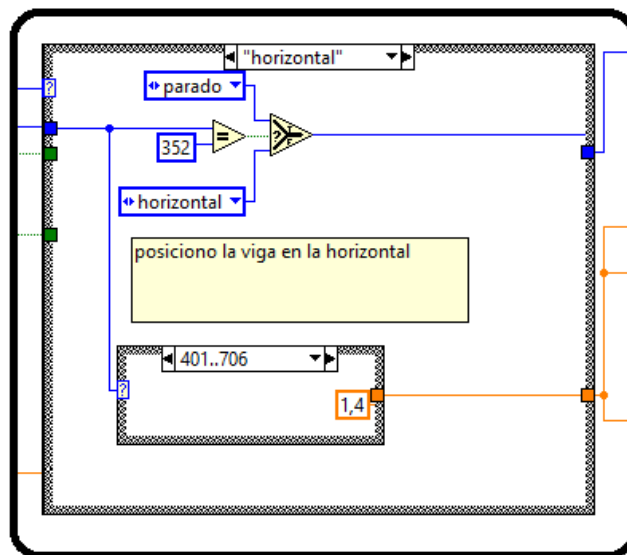


Figura 3.53: Parte 1 del diagrama de bloques

La figura anterior muestra el "bucle case" utilizado para programar mi máquina de estados. Para programar una máquina de estados en Labview son necesarios dos bucles anidados, el bucle exterior es un bucle while como dijimos anteriormente donde deberemos crear un shift register, es decir, un registro de desplazamiento, que guardará un cierto valor que para

el caso de crear una máquina de estados, este valor deberá ser del tipo *"enum constant"*, con esto puedo crear etiquetas de tipo *"String"* con los que definiré los distintos estados del programa.

El registro de desplazamiento será la entrada a la condición de mi bucle case, de modo que el bucle ejecutará el caso correspondiente según en qué estado se encontraba en el estado anterior.

- **Caso inicio**

El Estado Inicio es el estado por defecto de mi instrumento virtual, a la tarjeta de potencia le proporciono un tensión de 1.3 voltios para conseguir llevar la viga al final de carrera izquierdo, que es donde el Encoder comienza a contar; pues al ser de tipo incremental solo puedo conocer diferencias entre ángulos, tomando como referencia el final de carrera izquierdo obtengo esa referencia que es determinante para conocer la posición angular de la viga .

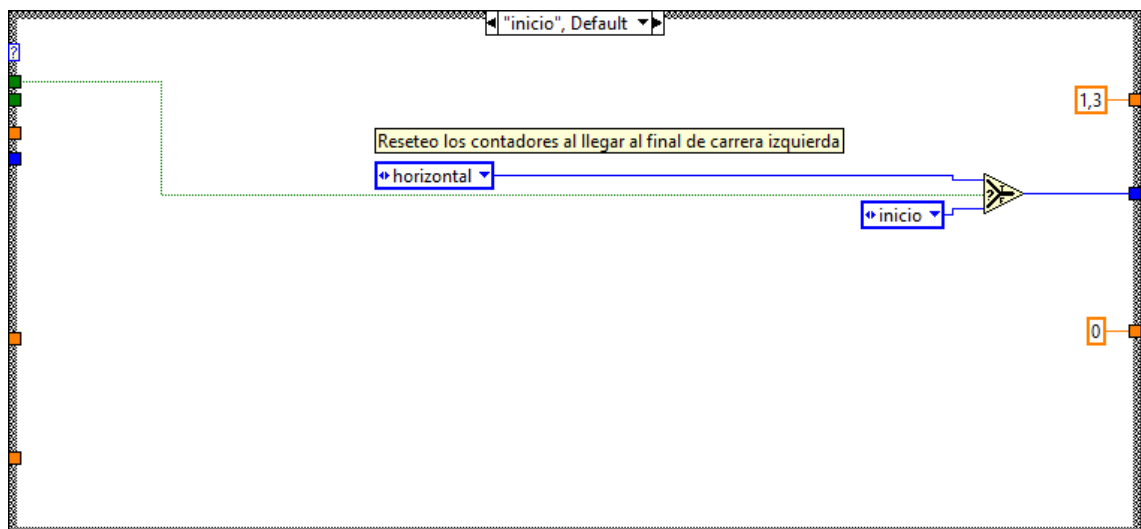


Figura 3.54: Caso Inicio

Para seleccionar el siguiente estado bastara con el este selector y los enum constant siguientes:

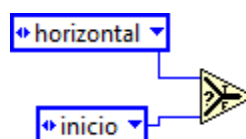


Figura 3.55: Control del próximo estado

Como entrada de control tengo el final de carrera izquierdo, cuando este esté a uno lógico, el selector leerá un true y ejecuta el *estado inicio* hasta que llegue al final de carrera izquierdo que saltara al siguiente estado, el *estado horizontal*.

- **Caso horizontal**

El *estado horizontal* de mi circuito es el siguiente:

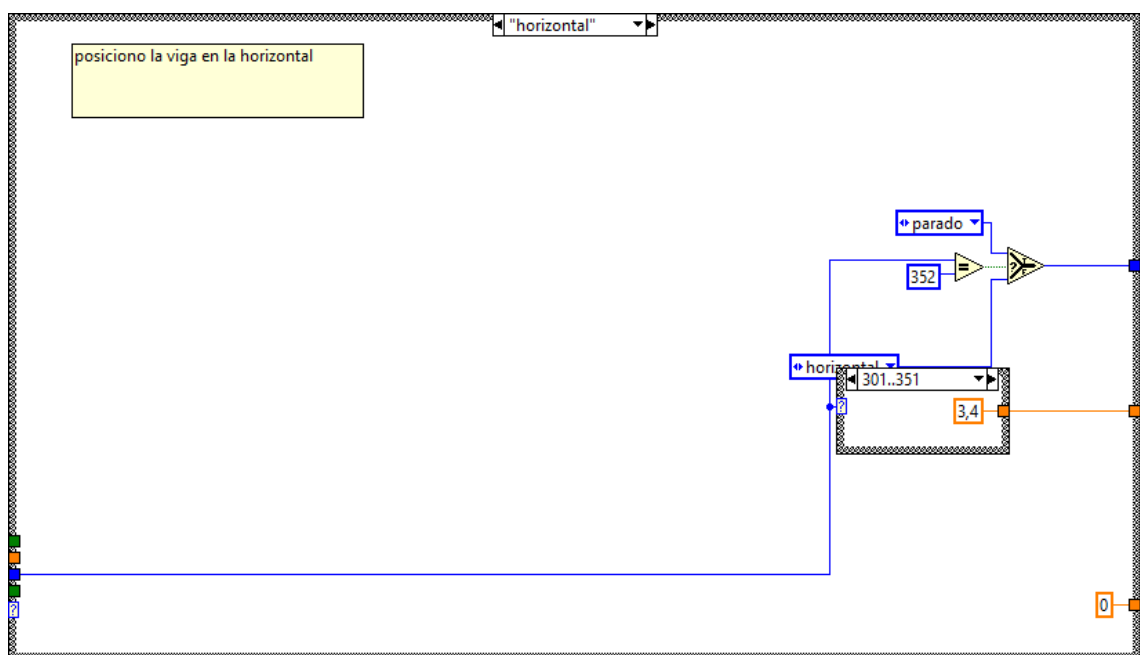


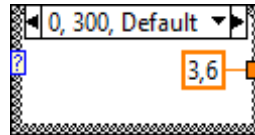
Figura3.56: Caso horizontal

Las entradas en este caso serán los pulsos del encoder, que será la entrada de control de un "bucle case" en donde selecciono distintas tensiones según la posición angular de la viga para situar está en la horizontal que será cuando esté en 352 pulsos y pasará al siguiente estado llamado *estado parado*.

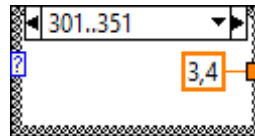
En el bucle case utilizo los siguientes casos y las siguientes tensiones de salida:

Si los pulsos están entre:

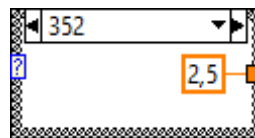
- Entre 0 y 300 pulsos aplico una tensión de salida de 3.6v:



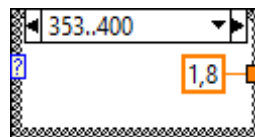
- Entre 301 y 351 pulsos aplico una tension de salida de 3.4v:



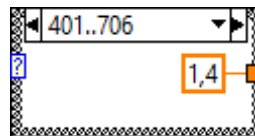
Cuando llego a 352 pulsos (horizontal) aplico una tension de salida de 2.5v, con lo que detengo el motor:



- Entre 353 y 400 pulsos aplico una tension de salida de 3.6v:



- Y entre 401 y 704 pulsos aplico una tension de salida de 3.6v



El control del presente estado lo realizo con un bloque selector que tiene como condición que la viga llegue a la posición de 352 pulsos:, momento en el cambiara al estado parado

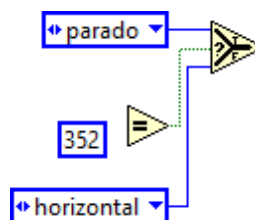


Figura 3.56: Control del siguiente estado

- **Caso parado**

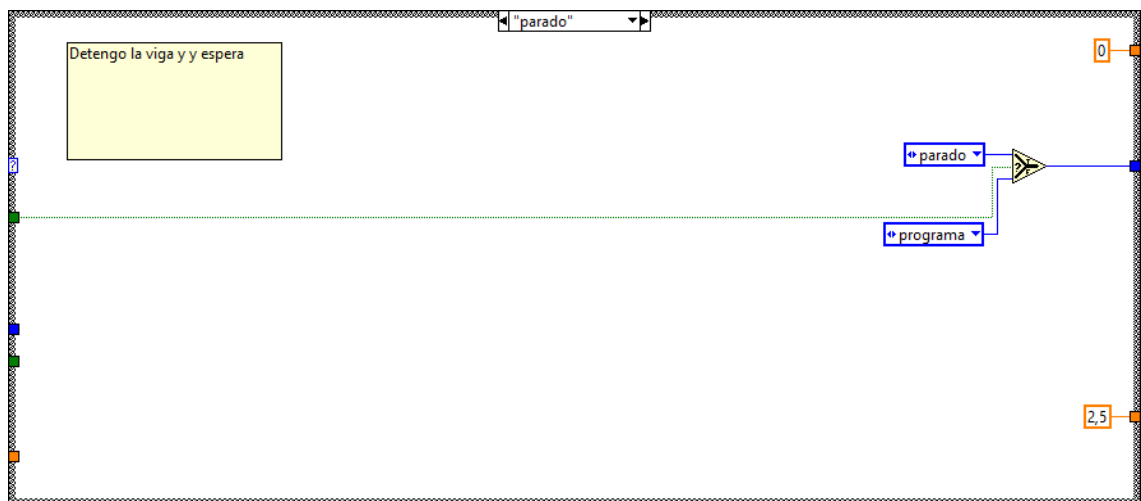


Figura 3.57: Caso parado

En este estado detengo la viga que se encuentra en la horizontal para ello se aplica una tensión de salida de 2.5v, el control del estado igual que en los casos anteriores lo realizo con un selector donde la entrada booleana es el botón parar visto en el panel frontal, si esta el botón pulsado el siguiente estado será el estado parar que pasara a ejecutar el siguiente estado cuando deseccionemos dicho botón.

- **Caso programa**

Será donde realice el programa para generar el impulso de valor máximo , es decir, 5v durante un breve periodo de tiempo y así poder recoger la información a su respuesta.

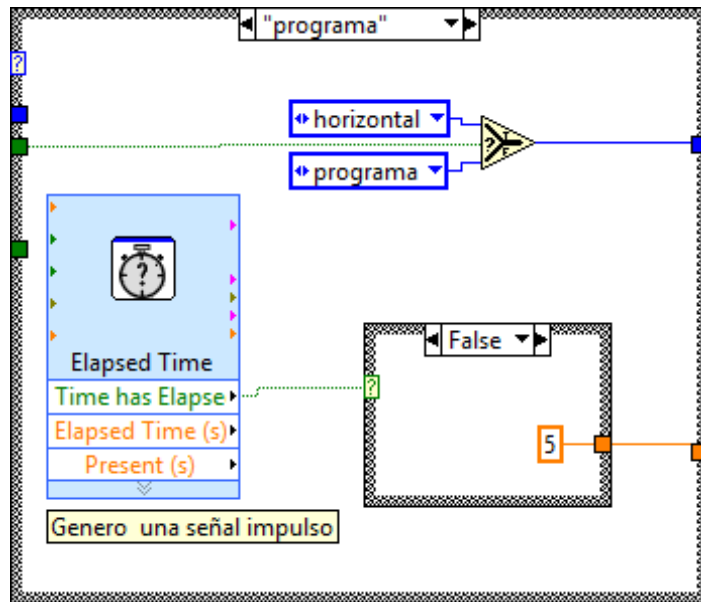


Figura 3.58: Caso programa

En la figura anterior tenemos un bloque denominado *Elapsed Time* , este bloque realiza un conteo del tiempo predeterminado por el usuario, en mi caso el conteo del tiempo será el tiempo mínimo teórico. Como Labview está corriendo bajo un sistema operativo de Windows será de 1 milisegundo.

La salida utilizada por este bloque es un valor booleano que será falso cuando aún no haya pasado el tiempo deseado y verdadero cuando termine de realizar el conteo del tiempo. Esta salida del bloque *Elapsed Time* la conecto a la entrada de un bucle case en donde aplicaré una tensión de 5 voltios a mi salida, que es la máxima tensión permitida para accionar el motor; para cuando pase dicho tiempo la salida será 2,5v, señal para la cual detengo la acción del motor.

También dispongo de un selector para decidir qué estado será el próximo en ejecutar, la condición estará a cargo del botón de parar. Cuando este apagado se ejecutará el programa para realizar el impulso y cuando se active pasará al estado horizontal.

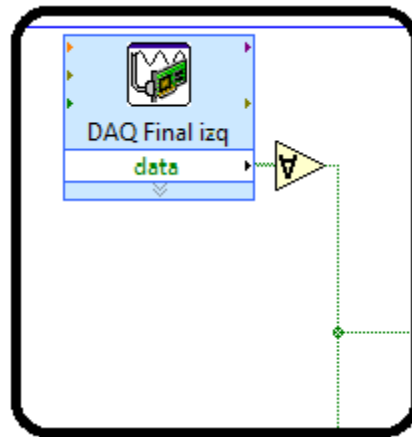


Figura 3.59: Parte del diagrama de bloques

En la parte 2 del programa de control tenemos un bloque *DAQ Assistant*; que es un asistente para recoger datos de nuestra tarjeta de adquisición de datos, en este caso recoge los datos leídos por el final de carrea izquero:

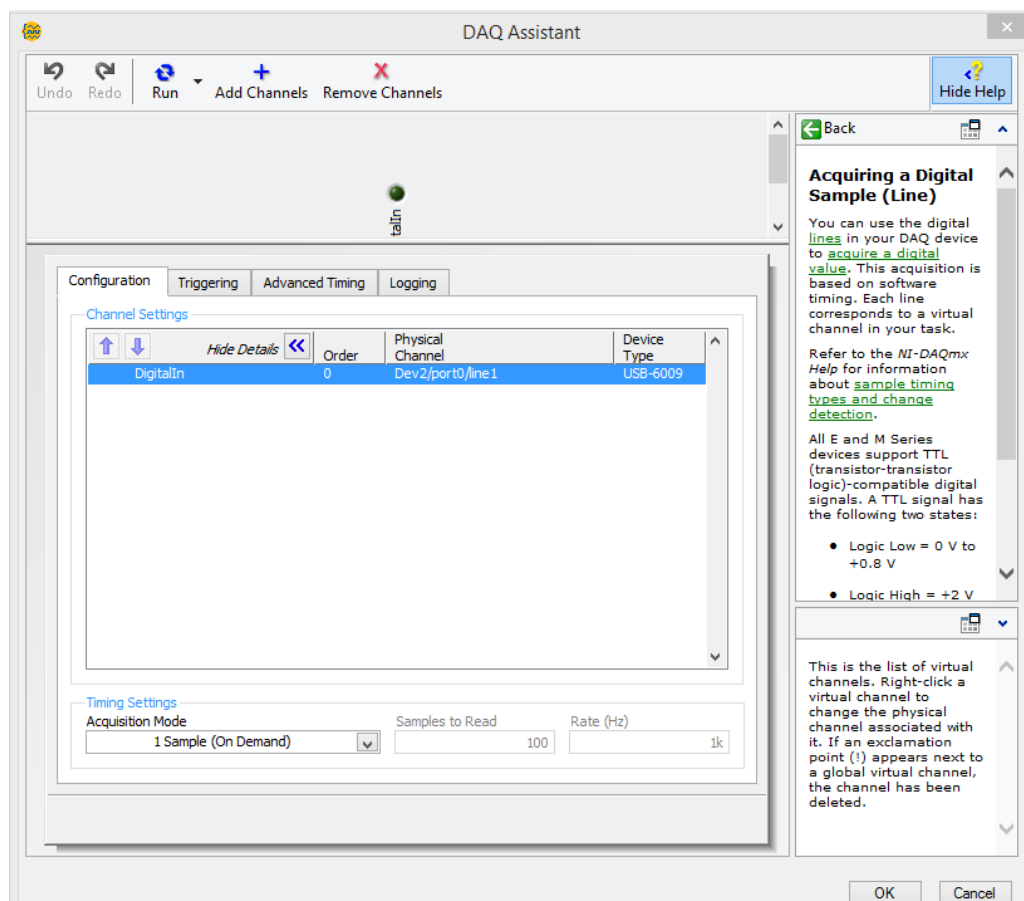


Figura 3.60: Asistente para adquirir datos del final de carrera

En este caso como vemos en la figura anterior este bloque leerá la salida digital D0.1 de mi tarjeta de adquisición de datos.

Este bloque tiene como salida un dato del tipo array booleano por lo que debo utilizar a la salida un elemento llamado '*and array elements*' para poder saber cuándo se activa el final de carrera, pues de otro modo no podríamos detectarlo al tener un muestreo teórico de 1 ms; aunque este tiempo no llegaremos a alcanzarlo nunca como veremos más adelante :



Con esto consigo crear una puerta *and* cuyas entradas son los elemento del array anterior.

La salida de esta parte del circuito será la entrada que controlara cuando paso del estado inicio al estado horizontal.

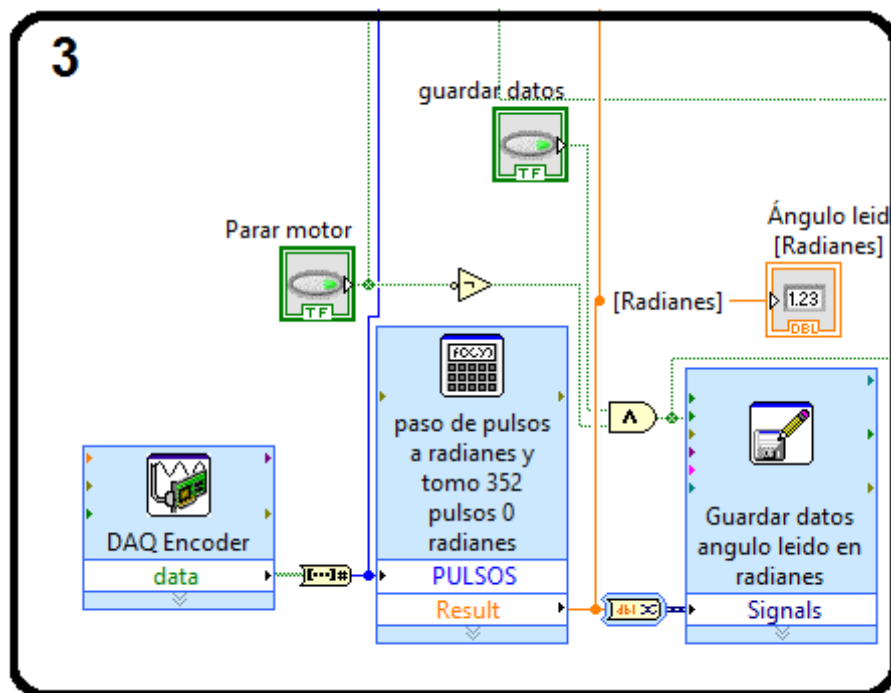
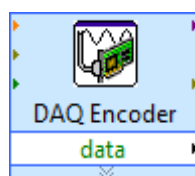


Figura 3.61: Parte 3 del diagrama de bloques

En esta parte del circuito tengo el asistente para leer los datos de la posición de la viga:



Los datos los recibo por las entradas digitales de mi tarjeta de adquisición de datos que leen las salidas de mis contadores bidireccionales, necesito realizar un arreglo para poder colocar el valor binario en la posición deseada para poder después pasar a un formato decimal.

Las entradas digitales las ordeno de la siguiente forma:

DigitalIn_7	0	Dev2/port1/line1	USB-6009
DigitalIn_6	1	Dev2/port1/line0	USB-6009
DigitalIn_8	2	Dev2/port1/line2	USB-6009
DigitalIn_9	3	Dev2/port1/line3	USB-6009
DigitalIn_3	4	Dev2/port0/line5	USB-6009
DigitalIn_2	5	Dev2/port0/line4	USB-6009
DigitalIn_4	6	Dev2/port0/line6	USB-6009
DigitalIn_5	7	Dev2/port0/line7	USB-6009
DigitalIn_1	8	Dev2/port0/line3	USB-6009
DigitalIn_0	9	Dev2/port0/line2	USB-6009

Tabla 3.2: Orden para la lectura de las señales de los contadores

Para pasar de pulsos a radianes o grados, lo calculo en base a que conozco el encoder que lee 5000 posiciones por vuelta, según las hojas de características, serán los 2π radianes o 360° .

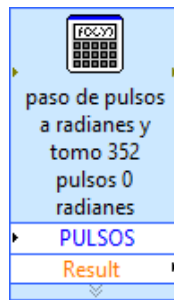
La salida del bloque será un array de 1x10 con lo que tengo 2^{10} posiciones posibles para la lectura del encoder, que es lo que buscaba pues tengo que leer 704 pulsos, valor comprendido entre $510 = 2^9$ y $1024 = 2^{10}$.

A la salida del bloque utilizo un convertidor numérico para pasar de un número de digital a un número decimal:



La salida de esta función es un valor del tipo entero de 32 bits sin signo.

Después debo transformar dicho valor que representa la posición angular de la viga a radianes, esto lo realizo con una fórmula matemática, en donde mis 0 radianes corresponderán a la posición de 352 pulsos, y de las hojas de características del encoder conozco el número de pulsos para dar una revolución, 5000 pulsos:



La entrada corresponde a los pulsos leídos y la salida a esos mismos representados en radianes.

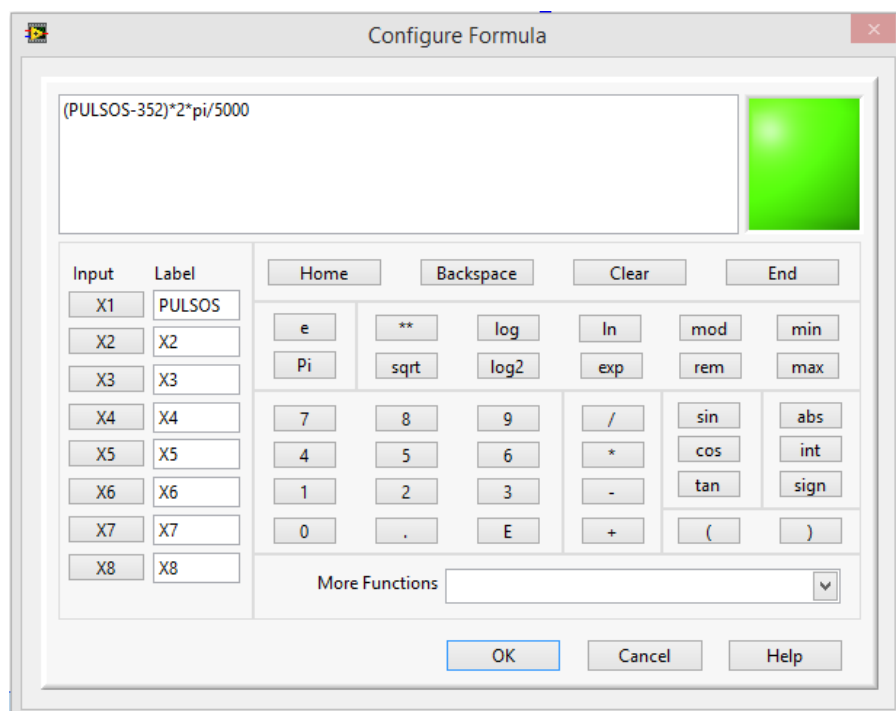


Figura 3.62: Fórmula matemática para cambiar de pulsos a radianes

La salida de este bloque será un entero con signo de 64bits, denominado en *Labview DBL*.

En esta parte del diagrama de bloques también aparecen los botones parar motor y guardar datos del panel :

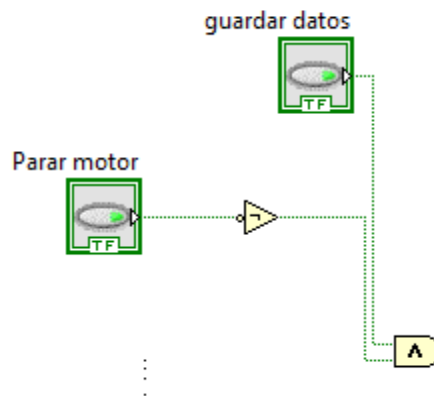


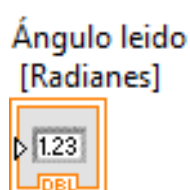
Figura 3.63: Representación de los botones del panel frontal en el diagrama de bloques

Aparecen además de los botones mencionados anteriormente una Puerta Inversora que invierte el valor del botón parar y una Puerta And cuyas entradas son la salida de la puerta inversora y el botón guardar. La salida de esta puerta lógica será la entrada de control de mi bloque para recoger los datos del experimento, estos datos se recogerán cuando el botón guardar este activado y desactivado el botón parar.

Al usar este bloque una señal de entrada de tipo dinámico, y estar leyendo la salida de mi fórmula anterior que era de tipo DBL deberé utilizar un convertidor de DBL a dinamic data:



También aparece el indicador numérico de la posición de la viga en radianes que vimos en el panel frontal:



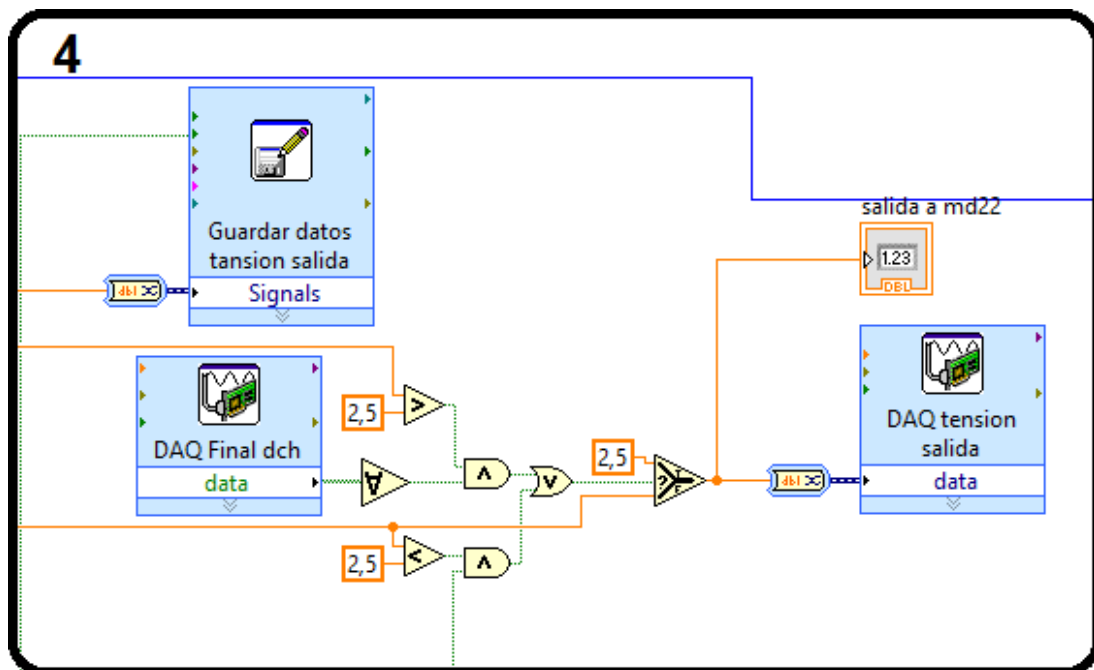


Figura 3.64: Parte 4 del diagrama de bloques

En esta parte dispongo de otro bloque para recoger los datos de la tensión de salida, como entrada de control a este bloque utilizo los botones *Parar motor* y *Guardar datos*, recogeré los datos cuando este activado el botón recoger datos y desactivado el botón parar motor, de igual manera que en la recogida de datos de la posición angular de la viga. También aquí de igual modo necesito pasar los datos a un dato dinámico:



También aparece en esta parte del programa el asistente para recoger los datos del final de carrera derecho, este es análogo al bloque final de carrera izquierdo, solo cambia la entrada digital a leer en este caso leerá la entrada digital D0.0 de mi tarjeta de adquisición de datos, del mismo modo también

necesitamos arreglar la salida para obtener un valor booleano y no un array booleano:

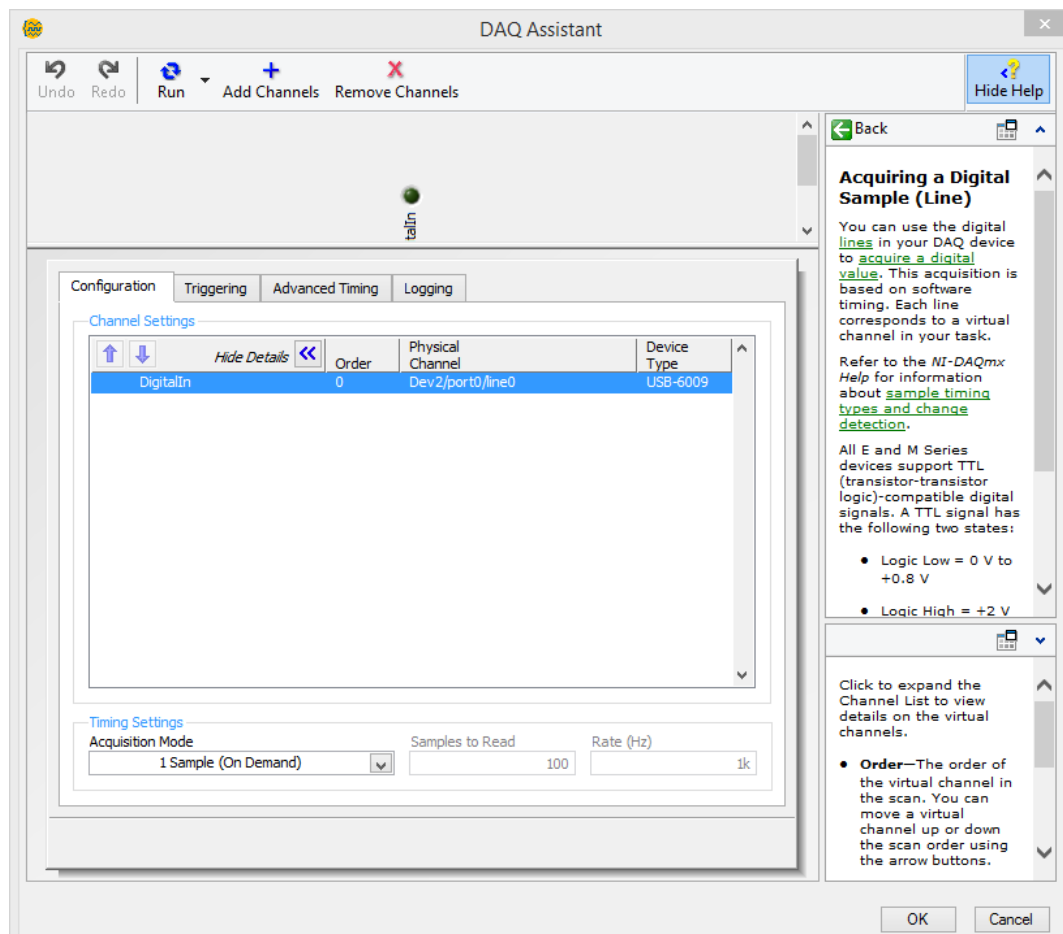
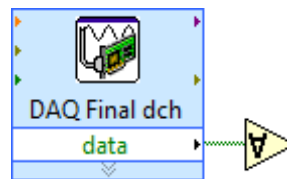
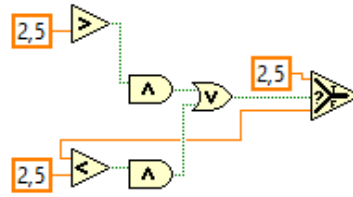


Figura 3.65: Asistente del final de carrera derecha

También aparece en el circuito un pequeño circuito con puertas lógicas cuya misión es que el motor no intente girar por encima de los finales de carrera, para ello comparo la señal de tensión administrada a la salida, y si esta es mayor de 2.5 v y el final de carrera derecho esta activado la salida será un valor de 2,5v con lo que detengo el motor, de igual forma comparo la tensión de salida y si es menor que 2.5v y esta activado el final de carrera izquierdo aplica la tensión de 2.5v y detengo el motor.



Tras este circuito tengo a la salida el bloque *DAQ Assistant* que será el encargado de enviar los datos de salida mediante mi tarjeta de adquisición de datos a mi tarjeta de potencia, el tipo de dato de entrada de este bloque es de tipo dinámico por lo que dispongo de un convertido de DBL a dynamic data:



La salida utilizada es la salida analógica a 0.1 de tarjeta de adquisición de datos:

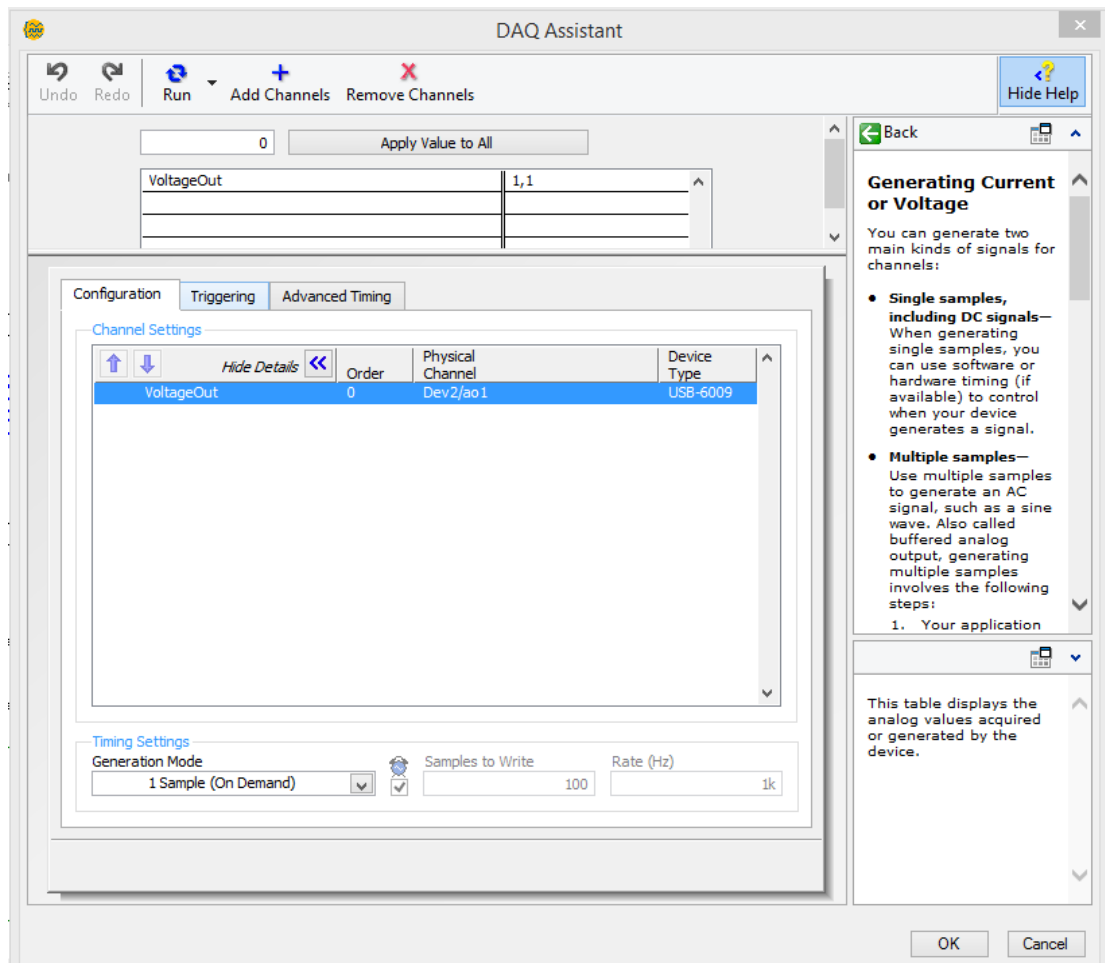
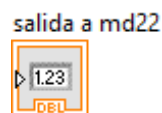
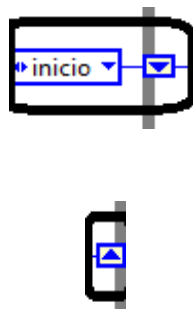


Figura 3.66: Asistente para generar señal de salida

Además aparece el indicador de tensión de salida mencionado en el panel frontal:

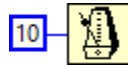


La parte 5 y 6 del programa:



Representan el registro de desplazamiento creado en el *ciclo while*. Este registro debe inicializarse, en mi caso lo inicio con el estado llamado inicio al correr el instrumento virtual este será el primer estado de mi máquina de estados.

Para poder controlar el ciclo *while* debo establecer el tiempo de muestreo, para conseguir esto coloco el siguiente bloque dentro del while de Labview , el tiempo seleccionado fue de 10 ms.



Con el anterior instrumento virtual consigo obtener los datos siguientes:

Tiempo [seg]	Tensión [V]	Ángulo [rad]
1,523816	2,5	-0,002513
1,533827	5	-0,002513
1,544839	2,5	-0,002513
1,552845	2,5	0
1,564853	2,5	0,00377
1,576861	2,5	0,005027
1,587868	2,5	0,005027
1,595887	2,5	0,005027
1,607886	2,5	0,00377
1,618708	2,5	0,00377
1,637103	2,5	0,00377
1,643092	2,5	0,00377
1,649093	2,5	0,00377
1,666162	2,5	0,00377
1,680079	2,5	0,00377
1,687262	2,5	0,00377
1,69828	2,5	0,00377
1,707328	2,5	0,00377
1,716697	2,5	0,00377
1,726846	2,5	0,00377
1,736887	2,5	0,00377
1,747025	2,5	0,00377
1,757599	2,5	0,002513
1,768187	2,5	0,002513

1,777709	2,5	0,002513
1,786997	2,5	0,002513
1,797124	2,5	0,002513
1,807724	2,5	0,002513

Tabla 3.3: Respuesta del lazo interno ante entrada impulso**Figura 3.67: Respuesta del lazo interno ante entrada impulso**

Como podemos ver en los datos recogidos. Tengo solamente tres muestras durante nuestro tiempo de subida, con lo que podre representar pobremente la dinámica del motor, esto se debe a que dicha dinamica del motor es muy rápida. Debido a que nuestro Labview corre en un sistema operativo, que no es un sistema en tiempo real, como es Windows, con el que puedo llegar a tener una frecuencia de reloj de 1 KHz, que representa un periodo mínimo de muestreo de 1 ms, este valor no se llegara nunca a alcanzarse debido a que Windows debe realizar otros procesos en paralelo con Labview.

CAPÍTULO 4

Implementación Física

4.1. INTRODUCCION

En un primer momento tras la identificación de los componentes que forman la planta bola y viga que se encontraba en el laboratorio, fue necesario identificar el cableado de la misma.

Tras identificar el cableado de los componentes que forman la planta Bola y Viga, fue necesario buscar una tarjeta de potencia capaz de suministrar la energía necesaria al motor para moverse correctamente y en ambos sentidos.

Como dijimos en las especificaciones de diseño la forma de controlar de forma eficiente el motor de CC será mediante una técnica PWM .

La modulación por ancho de pulsos (también conocida como PWM, siglas en inglés de Pulse-Width Modulation) de una señal o fuente de energía es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica (una senoidal o una cuadrada, por ejemplo), ya sea para transmitir información a través de un canal de comunicaciones o para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga.

El ciclo de trabajo de una señal periódica es el ancho relativo de su parte positiva en relación con el período. Expresado matemáticamente como:

$$D = \frac{\tau}{T}$$

donde:

- D es el ciclo de trabajo
- τ es el tiempo en que la función es positiva (ancho del pulso)
- T es el período de la función

La construcción típica de un circuito PWM se lleva a cabo mediante un comparador con dos entradas y una salida. Una de las entradas se conecta

a un oscilador de onda dientes de sierra, mientras que la otra queda disponible para la señal moduladora. En la salida la frecuencia es generalmente igual a la de la señal dientes de sierra y el ciclo de trabajo está en función de la portadora.

La principal desventaja que presentan los circuitos PWM es la posibilidad de que haya interferencias generadas por radiofrecuencia. Éstas pueden minimizarse ubicando el controlador cerca de la carga y realizando un filtrado de la fuente de alimentación.

La modulación por ancho de pulsos es una técnica utilizada para regular la velocidad de giro de los [motores eléctricos](#) de inducción o asíncronos. Mantiene el [par motor](#) constante y no supone un desaprovechamiento de la [energía eléctrica](#). Se utiliza tanto en corriente continua como en [alterna](#), como su nombre lo indica, al controlar: un momento alto (encendido o alimentado) y un momento bajo (apagado o desconectado), controlado normalmente por [relés](#) (baja [frecuencia](#)) o [MOSFET](#) o [tiristores](#) (alta [frecuencia](#)).

Otros sistemas para regular la velocidad modifican la [tensión eléctrica](#), con lo que disminuye el par motor; o interponen una [resistencia eléctrica](#), con lo que se pierde energía en forma de calor en esta resistencia.

Otra forma de regular el giro del motor es variando el tiempo entre pulsos de duración constante, lo que se llama [modulación por frecuencia de pulsos](#).

Además de utilizar la anterior técnica, será necesario utilizar un circuito para que el motor pueda girar en ambos sentidos, el puente H.

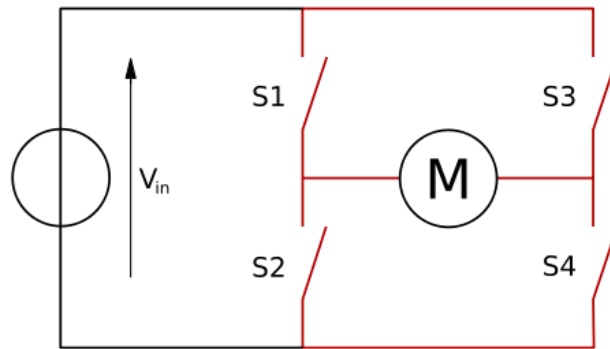


Figura 4.1: Puente H

Un Puente en 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 Figura 4.2) 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.

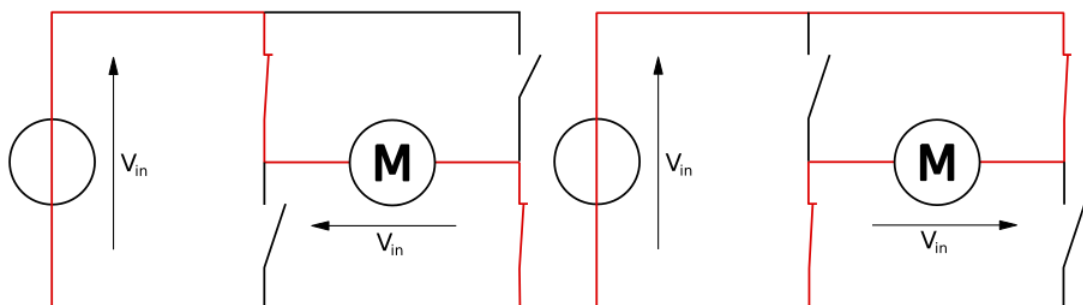


Figura 4.2: Funcionamiento Puente H

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.

4.2. SELECCION DE COMPONENTES

4.2.1 Tarjeta MD22

La tarjeta de potencia MD22 es una tarjeta capaz de controlar mediante modulación de ancho de pulso dos motores de hasta 24V y 5 A en ambos sentidos , gracias a que dispone de un doble puente en H. Con lo que me cumple las especificaciones definidas en un comienzo.



Figura 4.3: Tarjeta MD22

La tarjeta MD22 tiene distintos modos de funcionamiento:

- 1) Modo analógico con dos entradas analógicas independientes de 0V - 2.5V - 5V. 0V un sentido, 2,5V parado y 5V la otra dirección.
- 2) Modo de una entrada analógica 0v-2,5v-5v. para el control de la velocidad y la otra para el control de dirección.
- 3) Modo RC de canales independientes. Para controlarlo directamente desde un receptor de radio control estándar. Cada canal controla un motor de forma independiente.

- 4) Modo RC con control de dirección. Un stick controla la velocidad, mientras que el otro controla la dirección.
- 5) Modo bus I2C. Hasta ocho módulos MD22 con direcciones seleccionables mediante micro interruptores y 4 modos de funcionamiento incluyendo el control de dirección (modo diferencial).

El modo de funcionamiento seleccionado será el analógico pues aunque realmente el control del sistema lo realizare con un ordenador lo que implica un control discreto ,lo estudiaré en modo analógico, y lo controlaré de igual modo teniendo en cuenta únicamente el tiempo de muestreo al final .

4.2.2 Tarjeta de Adquisición de Datos

Ahora que tenemos nuestra etapa de potencia para nuestro motor de corriente continua, necesitaremos una tarjeta de adquisición de datos para poder leer los datos provenientes del sistema, por su flexibilidad y bajo precio, se seleccionó la tarjeta de National Instrument Ni USB 6009 .



Figura 4.4: Tarjeta de adquisición de datos NI USB 6009

La tarjeta de adquisición de datos NI 6009 tiene:

- 8 entradas analógicas (14 bits, 48 kS/s)
- 2 canales de salida analógicas(12 bits, 489KS/s)
- 12 entradas/salidas digitales, y

- 1 contador unidireccional de 32 bits.

Este último se podría utilizar para conocer la velocidad de la viga pero no su posición, motivo por el cual se necesita diseñar el circuito de adaptación de señal con contadores bidireccionales, para poder realizar un conteo de forma ascendente y descendente.

4.2.3 Cámara USB

Por otra parte la cámara CCD que dispone la planta tiene una conexión analógica (disponemos de tres cables: datos , alimentación y tierra) por lo que sería necesario seleccionar una tarjeta de video con entrada analógica para tomar los datos de la misma.



Figura 4.5: Cámara USB

4.2.4. Fuente de Alimentación

Hay que hacer notar que para poder utilizar todos los elementos deberemos utilizar una fuente de corriente continua, tanto para alimentar al circuito secuencial creado para el conteo como para alimentar a la tarjeta de potencia, esta ultima deberá de alimentar por una parte el circuito de control y por otra el circuito de potencia .

Para nuestra planta utilizamos una fuente de corriente continua capaz de proporcionar hasta 24 v y 2 A, a nuestro circuito de potencia, y 5 V y 1 A a nuestro circuito de control.

4.3. MONTAJE

En un primer momento tuve que identificar el cableado de los distintos elementos que forman la planta Bola y Viga.

Tras identificar el cableado conecte, se deberá buscar un circuito para realizar el conteo de los pulsos en ambos sentidos, avance y retroceso, debido a que mi tarjeta de adquisición de datos aunque tiene una entrada para realizar el conteo de pulsos, esta solo es unidireccional con lo que no puedo conocer la posición de la bola, aunque si me servirán para hacerme una idea de las necesidades de conteo como veremos en siguiente apartado.

El montaje y conexión de la planta lo realice según figura en los planos.

Debido a que nuestro motor se moverá en ambos sentidos y el contador que dispone la tarjeta de adquisición de datos es un contador bidireccional se busco una forma de contar los pulsos de forma creciente y decreciente, para poder controlar el motor DC.

4.3.1 Circuito acondicionador de señal del encoder

Nuestro encoder dispone de salidas diferenciadas y de índice, nuestro ángulo a medir está comprendido entre +25 grados y -25 grados aproximadamente por lo que no dará una vuelta completa y por lo que el índice del encoder se hace innecesario.

Las salidas diferenciadas son utilizadas para ambientes ruidosos donde existen gran numero de interferencias, como nuestra planta estará localizada en un laboratorio tampoco serán necesarios, luego lo más importante es identificar los cables de salida A y B del encoder junto a su alimentación y tierra.

Buscadas las señales del encoder A y B, se conectará una de ellas al contador unidireccional de la tarjeta de adquisición de datos con el fin de conocer de manera aproximada el numero de pulsos a medir, dando tensión

al motor y moviéndolo de un final de carrera al otro; se observó que el conteo no se realizaba correctamente, esto es debido a que la tarjeta de adquisición de datos es más lenta que el encoder.

Lo interesante de este experimento era conocer de forma aproximada el numero de pulsos, para así conocer la cantidad de contadores bidireccionales necesarios para el conteo, los pulsos a contar era más que 256 ($=2^8$) pulsos y menos que 512 ($=2^9$) luego al tener los contadores 4 salidas, tendrá 2^4 posiciones $=16$, podrá contar 16 pulsos un solo contador, razón por la que utilizaremos 3 contadores ($2^{12}=4096$ pulsos) podremos contar hasta 4096.

Se seleccionaron los contadores 74HC191 fabricados en tecnología CMOS; pues son más rápidos y consumen menos potencia, se conectaron en cascada los tres contadores, como señal de reloj se utilizó la señal A que será los pulsos que contarán y la señal B estará conectada a la entrada U/D que es la entrada Up/Down donde seleccionamos si subimos la cuenta o bajamos, observamos que se necesitaban 10 bits realmente para realizar la cuenta, pues el conteo que habíamos hecho en un principio únicamente con la tarjeta se cometía grandes errores.

También se observó que se perdían pulsos en la cuenta, por lo que era necesario un circuito para adaptar las señales A y B a los contadores con este fin se utilizó el siguiente circuito:

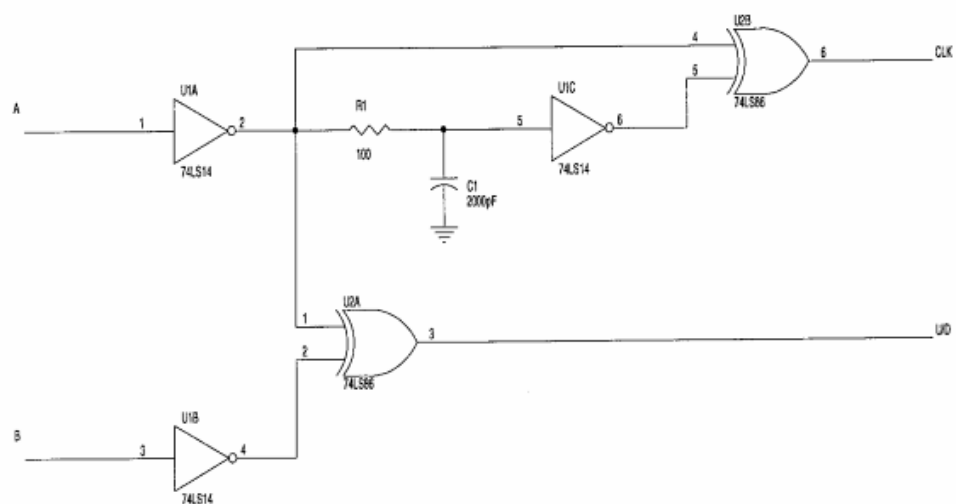


Figura 4.6: Circuito de adaptación de las señales A y B

4.4. AJUSTE DE LA PLANTA

Para poder utilizar la planta Bola y Viga se deberán ajustar los elementos que la componen, tanto los sensores como el actuador.

4.4.1. Ajuste de la Fuente DC

Para alimentar el circuito de potencia se decidió utilizar una tensión de 5v debido a que cuando alimentamos el motor a 24v, que es su tensión nominal, el movimiento de la viga es demasiado rápido, cuando aplicásemos 5 voltios a la entrada de control de la tarjeta de potencia, por lo que deberíamos limitar la tensión de control entre 2.1v y 2.9v con lo que tendríamos un pobre margen para poder realizar el control del lazo interno.

Recordemos que el motor se mantendrá parado cuando se le aplique una tensión de 2.5v, además existe una zona muerta alrededor de este punto. Aunque aplicando la tensión de 5v a la tensión de alimentación de potencia de mi tarjeta MD22 tendremos un mejor control, pues tendremos más margen para el control; por contraposición la zona muerta se incrementa pasando esta a estar entre 1.9v y 3.2v aproximadamente.

4.4.2. Ajuste del Encoder

Como dijimos anteriormente para ajustar el encoder, es decir, para poder tomar los datos de forma real del encoder conectaremos este al final de carrera izquierdo y llevaremos el motor hasta este punto al comenzar a utilizar la planta para poder tener una lectura veraz del ángulo de la viga.

4.4.3. Ajuste Cámara

Para tomar una medida real de la posición de la bola mediante la cámara bastará tomar medidas en pixeles y en cm del centro y de otro punto existiendo entre ambos valores una relación lineal.

Debido al ruido de la cámara USB tendré una resolución de cuarto de centímetro, como vimos en el capítulo anterior, en la parte del diseño del controlador.

4.4.4. Ajuste Tarjeta MD22

Hay que tener en cuenta que la tarjeta deberá funcionar en modo analógico, lo que implica que se controle el motor con una entrada.

Hay que tener especial cuidado cuando este el instrumento virtual detenido y la tensión de alimentación conectada porque la tarjeta MD22 lee el último dato que fue leído por la entrada.

CAPITULO 5

Conclusiones

4.1. CONCLUSIONES

Aún estando justos debido al tiempo de muestreo, consigo controlar la planta correctamente con los elementos seleccionados.

La salida del sistema, es decir, la posición de la bola puedo controlarla entre +23 cm y -23 cm , con una resolución de cuarto de centímetro.

Se han llevado a la práctica diversos conceptos estudiados ampliamente en las asignaturas de control , como son: diseño de reguladores, tiempo de muestreo, respuestas del sistema...

Se ha aprendido un nuevo lenguaje de programación de tipo gráfico muy poderoso a la hora del diseño y control de plantas industriales.

4.2 DIFICULTADES ENCONTRADAS

En un primer momento tuve que aprender un nuevo lenguaje de programación, que aunque intuitivo, siempre es difícil aprender un lenguaje de forma autodidacta. El lenguaje de programación Labview tiene una opción que se denomina “subvi” con la cual se puede crear un instrumento virtual dentro de otro, esta forma de programar fue la que utilicé en un primer momento debido a que trabajando de este modo es más fácil identificar las partes del programa y depurar errores, debido a que esta más estructurado el programa.

El problema surgía cuando el instrumento virtual corría un cierto tiempo, llegando a inestabilizar la planta, esto era debido a que en cada iteración de mi ciclo while, ya sea un ciclo while simple un ciclo timed while, el tiempo en cada iteración crecía debido a las llamadas que debe realizar el instrumento virtual a los SubVI's correspondientes.

4.3. POSIBLES MEJORAS

Como posibles mejoras podríamos utilizar dos controladores, uno para cada sentido de giro de mi motor, debido a que la zona muerta de mi tarjeta es asimétrica.

Otra posible mejora seria utilizar la cámara que dispone la planta para ello debería utilizar una tarjeta de video con entrada analógica y utilizar un patrón de imagen para identificarla.

Otra mejora como vimos anteriormente sería poder utilizar un sistema operativo en tiempo real o un RIO de National Instrument, reconfigurable input-output, con lo que podríamos utilizar una alta frecuencia de muestreo, y así tener más margen para seleccionar el tiempo de muestreo que tendría como consecuencia un mejor control debido al procesamiento de imágenes al correr con una frecuencia de 1 MHz para procesar la imagen pues la captura estará limitado por la cámara.

También se podría mejorar la respuesta ante señales de ruido utilizando un circuito de adaptación de señal igual al diseñado y comparando después las señales leídas con lo que disminuiríamos posibles errores de medida del lazo interno.

CAPÍTULO 6

Bibliografía

Libros:

- **Ingeniería de Control Moderna.** Tercera edición. Katsuhiko Ogata. Editorial Prentice Hall.
- **Introduction to Control System Technology.** Fourth Edition. Robert N. Bateson.

Tutoriales:

- **Tutorial de Matlab.** Mathworks.
- **Tutorial NI Vision.** National Instruments.
- **Tutorial LabVIEW.** National Instruments.

Páginas Web:

- <http://www.boe.es/boe/dias/2013/10/25/pdfs/BOE-A-2013-11199.pdf>
- <http://www.control-systems-principles.co.uk/whitepapers/ball-and-beam1.pdf>
- <http://ctms.engin.umich.edu/CTMS/index.php?example=BallBeam§ion=ControlRootLocus>

PLANOS

PLIEGO DE CONDICIONES

1. DESCRIPCIÓN GENERAL

Esta memoria contiene la diversa documentación que será necesaria para comprender las distintas fases de diseño realizados para el desarrollo del controlador de una planta Bola y Viga.

Además en esta memoria también se hace referencia del proceso detallado de construcción de nuestro controlador y del resto de documentación necesaria para su correcta ejecución, como son el presupuesto detallado, los cálculos o los planos.

2. CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO

Este sistema de control estará diseñado para que funcione bajo las siguientes especificaciones:

- Flujo luminoso: al menos 800 lúmenes.
- Tensión de alimentación del circuito de control: 5v de corriente continua.
- Tensión de alimentación del circuito de potencia: 5v de corriente continua.
- Temperatura Máxima Admisible al circuito: 75°C.
- Humedad Relativa Admisible del circuito: 0% al 90%.
- La señal de entrada del controlador deberá estar comprendida entre +23cm y -23cm.
- Se deberá utilizar la bola seleccionada para el mecanismo.

3. INSTRUCCIONES DE MONTAJE

Debemos de tener diversos factores en cuenta a la hora de proceder al montaje del circuito electrónico:

- Temperatura: Dependerá del lugar de ubicación de nuestra unidad, aunque se debe reseñar que el diseño no tiene en cuenta ambientes hostiles o límites.
- Humedad. Se debe tener en cuenta el mismo razonamiento anterior.
- Agresividad del medio: La parte electrónica de el circuito de adaptación de señal del encoder deberá estar instalada en una carcasa que la aísle del polvo, la humedad o productos agresivos (gases o líquidos).

4. DISPOSICIONES APLICABLES

De cara a una posible comercialización de nuestro dispositivo se deberán cumplir una serie de normas, entre las que destaca:

- “Ordenanza de seguridad e higiene en el trabajo” Ministerio del trabajo.
- Normas UNE.
- Normas DIN.
- Reglamento Electromecánico de Baja Tensión.
- Normativa Europea para dispositivos RF.

5. GARANTÍA

El período de garantía será el señalado en el contrato y empezará a contar desde la fecha de aprobación del “Acta de recepción”. Hasta que tenga lugar la recepción definitiva, el Ingeniero Técnico responsable del correcto montaje y funcionamiento, tendrá a su cuenta y riesgo las reparaciones por defecto de ejecución o la mala calidad de los diversos materiales empleados.

Durante este período de tiempo, el Ingeniero Técnico garantizará al contratista contra toda reclamación de terceros fundada en causa y por ocasión de la fabricación del controlador. El Ingeniero Técnico no se hará responsable de los desperfectos ocasionados por el mal uso o malos tratos recibidos por parte del contratista.

6. VERIFICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO

Se ha realizado la verificación del funcionamiento de cada una de las partes que integran el controlador por separado, así como en su totalidad una vez construido.

PRESUPUESTO

1.1. INTRODUCCION

El precio final de la planta dependerá en principal medida del coste que sus componentes tengan en el momento de su compra, a lo que se deberá añadir el coste adicional de la mano de obra y de la tecnología usada en su diseño, verificación y construcción, así como la redacción y ejecución del proyecto.

1.2. CONDICIONES DE PARTIDA

En el proyecto que llevo a cabo ya parto de un gasto inicial que es la planta de Ball and Beam cuyo coste estipulado es de **4.000 €**. A los que debemos añadir el precio de los componentes que son necesarios para poder poner dicha planta en funcionamiento.

1.3. COMPONENTES

1.3.1. Componentes de potencia:

Para poner en marcha la planta Bola y Viga necesitaremos una fuente de alimentación de corriente continua para alimentar los distintos dispositivos, y una tarjeta de potencia para el control del motor de corriente continua:

Componente	Cantidad	Precio Unidad	Precio Total
Fuente de tensión	1	65,21	65,21
Tarjeta controladora MD22	1	89,76	89,76
COSTE TOTAL			154.97 €

Tabla 1: Componentes de potencia

1.3.2. Componentes de Visualización:

Un componente indispensable para la ejecución del proyecto es la tarjeta de adquisición de datos con la que podemos leer las señales de salida del encoder y finales de carrera, así como proporcionar la señal de entrada a la tarjeta de potencia. Como vimos en anteriores capítulos utilizamos una

cámara USB genérica en vez de utilizar la cámara que trae la planta; pues el coste de la tarjeta necesaria para poder utilizar dicha cámara es muy superior al coste de la cámara genérica , además del consiguiente diseño y calibración:

Componente	Cantidad	Precio Unidad	Precio Total
Tarjeta de adquisición de datos NI USB 6009	1	295	295
Cámara USB	1	20.15	20.15
COSTE TOTAL			315,15 €

Tabla 2: Componentes visualización y adquisición de datos.

1.3.3. Componentes de conteo y adaptación del circuito:

El conteo y la adaptación del circuito se compone de los siguientes elementos:

Componente	Cantidad	Precio Unidad	Precio Total
Placa prototipo	1	10,89	10,89
Chip contador bidireccional (Tecnología CMOS) 74HC191	3	1,31	3,93
Condensador 200pF	1	0,55	0,55
Resistencia 220Ω (0.25w)	1	1,95	1,95

Chip HD74L514P (Inversores smith-trigger)	1	1,15	1,15
Chip HD74L586P (puertas NAND)	1	1,95	1,95
Pack cable rígido	1	8,54	8,54
COSTE TOTAL			28,96 €

Tabla 3: Componentes de conteo y adaptación.

El precio total del equipo así como los componentes necesarios para la puesta en marcha de la planta se muestran en la siguiente tabla; teniendo en cuenta que en este presupuesto queda excluido el IVA correspondiente a cada elemento.

Detalle	Precio
Planta	4.000
Componentes de potencia	154,97
Componentes de visualización	315,15
Componentes de conteo y adaptación	28,96
COSTE TOTAL	4.499,08 €

Tabla 4: Coste total del equipo

1.4. MANO DE OBRA

Para realizar este proyecto se necesitará contratar como mano de obra a un oficial de primera, y a un ingeniero técnico en electrónica. El oficial de primera será el encargado del correcto montaje de la planta, así como del suministro del material y del mantenimiento necesario del equipo para la realización del proyecto. Mientras que las funciones del ingeniero son el diseño y puesta en marcha del controlador, asegurándose de su correcto funcionamiento.

Para calcular el coste de la mano de obra se tiene que tener en cuenta tanto las horas trabajadas, como el coste por hora de cada empleado.

En el caso del oficial se estima que el número de horas de montaje de la planta serian 30 horas y 6 horas de mantenimiento, donde se incluye:

- Revisar la estructura y los componentes
- Revisar la condición de las conexiones.

En el caso del ingeniero se estiman un numero de 80 horas para el estudio de la planta y 135 para el diseño del controlador.

Se tienen los siguientes costes de mano de obra según el convenio colectivo nacional de empresas de ingeniería y oficinas de estudios técnicos publicado el 25 de octubre de 2013 , en el BOE núm.256.

Empleado	Horas	Salario-hora	Coste
Ingeniero	215	16,68 €/h	3.586,20
oficial	36	10,35 €/h	372,60
COSTE TOTAL			3.958,80 €

Tabla 5: Salarios

A estos salarios se ha de incrementar los **gastos sociales**, aumentando la cuantía de mano de obra en un 17% con lo cual el coste de este apartado asciende a **4.631,80 €**

Además de este coste, se debe tener en cuenta el trabajo realizado por el ingeniero para la redacción del proyecto cuyo tiempo empleado para esta tarea es de 95 horas a un coste de 16.68 €/h ; asciende a un coste de **1.584,60 €**

Con lo cual el apartado perteneciente a mano de obra queda desglosado en la tabla siguiente:

Detalle	Coste
Salarios	3.958,80
Gastos sociales	673

Redacción de proyecto	1.584,60
COSTE TOTAL	6.243,40 €

Tabla 6: Coste total de mano de obra

Descripción	Precio
Equipo Informático	750
Soldador	25
Software Labview	3.090
Software Matlab	500
COSTE TOTAL	4.365 €

1.5. PUESTO DE TRABAJO

Se deberá tener en cuenta que para el montaje de la planta es necesario algunos materiales comunes de un laboratorio, tales como un ordenador , el software utilizado , los cuales vienen especificados en la siguiente tabla:

Tabla 5: Puesto de trabajo

Se calcularán los gastos de amortización de los aparatos y equipos utilizados, sabiendo que su coste de instalación es de 4.365 euros. Teniendo en cuenta un período de amortización de 6 años:

- **Coste amortización** = Coste instalación / Periodo amortización

- **Coste amortización = 4.365/ 6**
- **Coste amortización = 727.5 €/año**

Teniendo en cuenta que las horas estimadas de la utilización de los instrumentos ascienden a 241 horas, se calcula el coste de amortización por hora en esos seis años:

- **Coste amortización / hora = 4365 / (241 horas × 6 años)**
- **Coste amortización / hora = 3.01 €**

Además se debe calcular el coste de puesto de trabajo teniendo en cuenta la **energía eléctrica** consumida durante las 241 horas de trabajo que conllevan la instalación , puesta en marcha y diseño del controlador:

Coste puesto de trabajo = Horas Fabric. × (C. amortización + coste luz)

Coste puesto de trabajo = 241h × (3,01€/h + (20KW × 0,181126 KW/h))

Coste puesto de trabajo = **1598.43 €**

Para el tiempo de ejecución del proyecto tenemos un total de 241 horas el coste del puesto de trabajo es de 1598,43 euros.

Costes de ejecución

El coste de ejecución de la obra es la suma de los costes de la mano de obra, de las materias primas y del puesto de trabajo. Será el siguiente:

- **Coste de ejecución** = MO + Puesto de trabajo + Materia Prima
- **Coste de ejecución** = 3.958,80€ + 1.598,43€ + 4.499,08
- **Coste de ejecución** = **10.056,31**

El presupuesto de ejecución material asciende a 10.056,31 €.

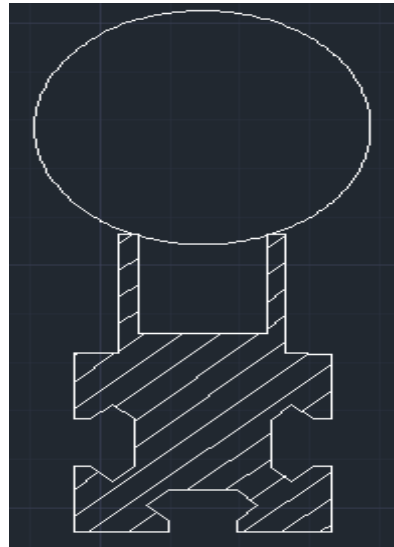
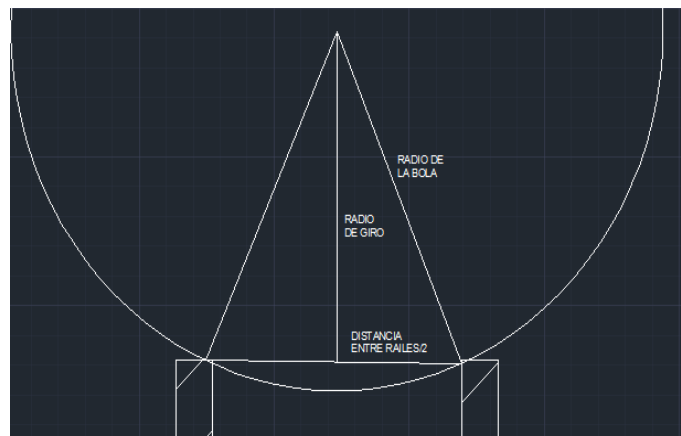
El presupuesto de ejecución material asciende a diez mil cincuenta y seis euros con treinta y un céntimos.

El Ingeniero Técnico Industrial : Manuel Oporto Peredo

En Santander a 2 de Marzo del año 2015.

ANEXOS

CALCULOS

CÁLCULOS**a) Cálculo del radio de Giro de la Bola:****Figura: Perfil de la Viga con la Bola****Figura: Detalle del Perfil**

Aplicando el Teorema de Pitágoras:

$$(R_{bola})^2 = \left(\frac{d}{2}\right)^2 + (R_{giro})^2$$

$$d = 1.5 \text{ cm}$$

$$R_{bola} = 0.01965 \text{ m}$$

Despejando el radio de giro :

$$R_{giro} = \sqrt{(R_{bola})^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2}$$

Obtengo un radio de giro de **0.018162 m**

b) Cálculo de la masa de la Viga:

Como no puedo soltar la Viga y pesarla realizare una medida indirecta: estimaré la masa conociendo el volumen y su densidad.

La longitud total de la Viga es de un metro de larga y la vista que mejor la define es su sección:

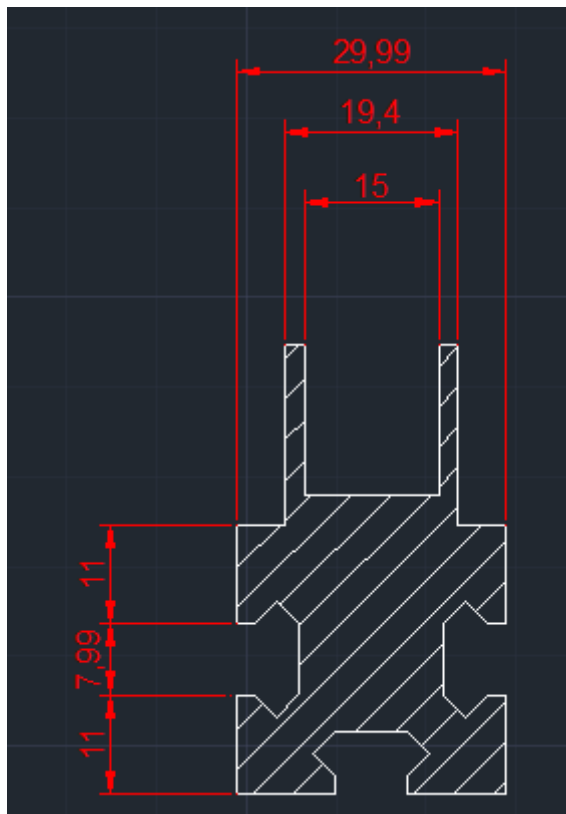


Figura: Sección de la Viga

El volumen total de la masa será 0.05 m x 0.03 m x 1 m y le restaré los huecos que tiene:

Volumen de los Huecos

$$\begin{aligned} &= [(2.52 * 5 + 8 * 7) * 3 + 16.65 * 19.4 + 20 * 10.6 * 2] * 1000 \\ &= 9.5281 * 10^{-4} m^3 \end{aligned}$$

Con lo que tenemos un volumen de la viga:

$$V = 0.05 * 0.03 * 1 - 9.5281 * 10^{-4} = 5.4719 * 10^{-4} m^3$$

La viga está construida con aluminio, el cual tiene una densidad de $2698.4 \frac{Kg}{m^3}$, luego la masa de la viga será:

$$Masa\ viga = 2698.4 * 5.4719 * 10^{-4} = 1.4765\ Kg$$

c) Cálculo del momento de inercia de la carga:

La carga que tiene que mover el motor es:

$$J_{eq} = J_{viga} + J_{motor} + J_{bola} + J_{correa}$$

Al tener la masa de la bola entorno a dos gramos, el momento es despreciable, igual que el momento debido al motor y a la correa, el momento de inercia de la carga puedo aproximarla al momento de inercia de la viga:

La viga la considero que es un paralelepípedo:

$$a = 3\ cm$$

$$b = 5\ cm$$

$$c = 100\ cm$$

$$Masa\ de\ la\ Viga = 1.815\ Kg$$

Vamos a calcular el momento de inercia de un paralelepípedo de masa M y de lados a, b y c respecto de un eje perpendicular a una de sus caras.

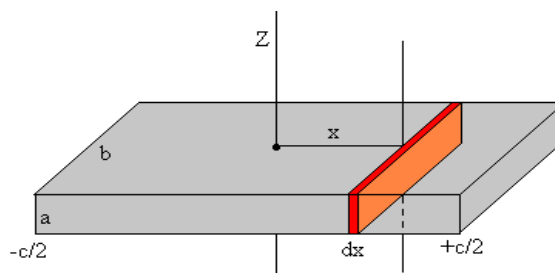


Figura: Momento de inercia de un paralelepípedo

Dividimos el paralelepípedo en placas rectangulares de lados **a** y **b** y de espesor dx .

El momento de inercia de cada una de las placas respecto de su eje de simetría es:

$$\frac{1}{12} b^2 dm$$

Aplicando el teorema de Steiner, calculamos el momento de inercia de esta placa respecto de un eje paralelo situado a una distancia x es:

$$\frac{1}{12} b^2 dm + x^2 dm = \left(\frac{1}{12} b^2 + x^2 \right) \frac{M}{abc} ab \cdot dx = \left(\frac{1}{12} b^2 + x^2 \right) \frac{M}{c} dx$$

El momento de inercia del sólido en forma de paralelepípedo es:

$$\int_{-c/2}^{c/2} \left(\frac{1}{12} b^2 + x^2 \right) \frac{M}{c} dx = \frac{M}{12} (b^2 + c^2)$$

Luego mi viga tendrá un momento:

$$I = (1.4765 \text{ Kg}/12) * [(0.05^2) + (1^2)] = 0.1233 \text{ Kg} * m^2$$

d) Cálculo de la función de transferencia de la planta Bola y Viga:

$$\frac{X(s)}{\beta(s)} = \frac{g}{\left[1 + \frac{2}{5} * \left(\frac{R}{R_g} \right)^2 \right] * s^2}$$

Donde : $R = 0.01965 \text{ m}$; $R_g = 0.018162 \text{ m}$ y $g = 9.8 \text{ m/seg}^2$

Obtengo la función de transferencia:

$$\frac{X(s)}{\beta(s)} = \frac{6.675}{s^2}$$

e) Cálculo de la función de transferencia del motor:

El motor está regido por las siguientes ecuaciones físicas: eléctricamente por la ley de Kirchoof, mecánicamente por la segunda ley de Newton aplicada a la rotación, y por las constantes propias del motor, constante de par y constante de tensión.

- Eléctricamente está regido por las Ley de Kirchoof:

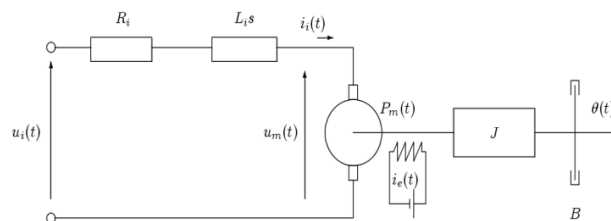


Figura: Esquema de un motor eléctrico de corriente continua

$$L * \frac{di(t)}{dt} + R * i + E = V(t)$$

- Y mecánicamente se rige por la segunda Ley de Newton de la rotación:

$$\sum T = J * \frac{d^2 \beta(t)}{dt^2}$$

Donde T es el momento, J el momento de inercia en nuestro caso el momento de la carga y $\beta(t)$ el ángulo girado por el motor:

$$T - Tr = J * \frac{d^2\beta(t)}{dt^2}$$

$$T = Kt * i$$

Donde Tr es el momento de rozamiento del motor y es proporcional a la velocidad de rotación de este:

$$Tr = b * \frac{d\beta(t)}{dt}$$

En las hojas de características nos dan un par de rozamiento de 0.02 Nm para una velocidad de 3000 rpm :

$$\frac{3000rev}{min} * \frac{2\pi rad}{1rev} * \frac{1 min}{60 seg} = 314.159 rad/seg$$

Y dividiendo el par de rozamiento entre la velocidad obtengo el coeficiente viscoso del motor:

$$b = 6.36619 * 10^{-5} \frac{Nm}{rad/seg}$$

- Conozco la constante de momento del motor, según sus hojas de características: $Kt=0.06 \text{ Nm/A}$

$$T = Kt * i$$

Escribimos la siguiente ecuación :

$$T - Tr = J * \frac{d^2\beta(t)}{dt^2}$$

Como:

$$Kt * i - b * \frac{d\beta(t)}{dt} = J * \frac{d^2\beta(t)}{dt^2}$$

Con esta ecuación relacionamos la corriente del inducido con el ángulo girado por nuestro motor de corriente continua:

$$i = \frac{J * \frac{d^2\beta(t)}{dt^2} + b * \frac{d\beta(t)}{dt}}{Kt}$$

- También conozco la Constante de Tensión, según sus hojas de características: $K_e = 6.27 \text{ V/1000 rpm}$

$$K_e = \frac{6.27 \text{ V}}{1000 \frac{\text{rev}}{\text{min}}} * \frac{1 \text{ rev}}{2\pi \text{ rad}} * \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}} = 0.05987 \frac{\text{V}}{\text{rad/seg}}$$

$$\text{Sabemos que : } E = K_e * \frac{d\beta(t)}{dt}$$

Luego la ecuación eléctrica del motor la puedo reformular como:

$$L * \frac{d \left[\frac{J * \frac{d^2\beta(t)}{dt^2} + b * \frac{d\beta(t)}{dt}}{K_t} \right]}{dt} + R * \frac{J * \frac{d^2\beta(t)}{dt^2} + b * \frac{d\beta(t)}{dt}}{K_t} + K_e * \frac{d\beta(t)}{dt} = V(t)$$

Ecuación donde:

$$L = 3 \text{ mH} ;$$

$$K_e = 0.05987 ;$$

$$K_t = 0.06 \text{ Nm/A} ;$$

$$R = R_i + R_t = 2.6 \Omega + 3.14 \Omega = 5.74 \Omega ;$$

$$b = 6.36619 * 10^{-5} \frac{\text{Nm}}{\text{rad/seg}} ;$$

$$J = 0.1233 \text{ Kg*m}^2$$

Aplicando la transformada de Laplace con condiciones iniciales nulas obtengo la función de transferencia que relaciona la tensión aplicada al motor y el ángulo girado por el mismo:

$$\frac{\beta(s)}{V(s)} = \frac{1}{\left[\frac{L * J}{K_t} \right] * s^3 + \left[\frac{L * b + R * J}{K_t} \right] * s^2 + \left[\frac{R * b}{K_t} + K_e \right] * s}$$

Y sustituyendo los valores anteriores obtengo :

$$\frac{\beta(s)}{V(s)} = \frac{1}{6.167 * 10^{-3} * s^3 + 11.8 * s^2 + 0.06596 * s}$$

O lo que es lo mismo:

$$\frac{\beta(s)}{V(s)} = \frac{162.137}{s^3 + 1913.33s^2 + 10.695s}$$

f) Cálculo de la función de transferencia de la correa:

La correa realiza la función de reductora disminuyendo la velocidad de la viga y aumentando el par generado .

La correa está sujeta a los extremos de la viga a 51 cm de su centro y el radio del engrane del motor es de 0.93 cm :

Al girar el motor la correa recogerá la viga por uno de los extremos haciéndola girar por su centro, como la distancia movida de la correa del motor viene dada por el ángulo girado por el motor multiplicado por la circunferencia del engrane de giro de la correa, que representa el cateto opuesto de un triángulo rectángulo y la hipotenusa viene a ser el radio donde está sujeta la correa:

$$\theta = \sin^{-1} \left[2 * \pi * R_{engrane\ motor} * \frac{\beta}{R_{giro\ viga}} \right]$$

Y como en el caso del modelado de la planta también puedo aproximar el seno del ángulo de la viga al ángulo de la misma.

$$\frac{\theta}{\beta} = \frac{2 * \pi * R_{engrane\ motor}}{R_{giro\ viga}}$$

Y obtengo:

$$\frac{\theta}{\beta} = 0.1146$$

g) Cálculo de la función de transferencia de la tarjeta de potencia MD22:

El modo que utilizaré la tarjeta controladora será en modo analógico y según sus hojas de características me dicen que girará en un sentido a 0 V

y en sentido contrario para 5 V en ambos casos a su máxima velocidad. Tiene una zona muerta de 2.7% alrededor de 2.5 V tensión para la cual el motor permanecerá parado.

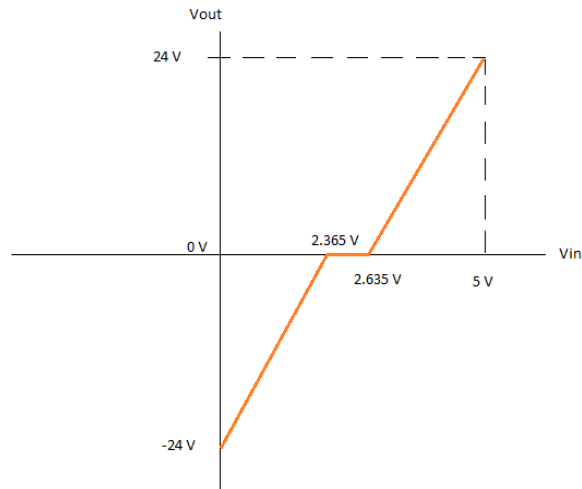


Figura: Relación entre la tensión aplicada de entrada y la tensión de salida de la tarjeta MD22

Luego la función de transferencia será una constante de valor la pendiente de la recta y con una zona muerta alrededor de 2.5 V.

$$\text{Pendiente : } \tan \theta = \frac{24}{5-2.635} = 10.148$$

DATOS EXPERIMENTALES

Respuesta del lazo interno del sistema ante entrada impulso de 5 voltios, tiempo muestreo 10 ms:

Tiempo [segundos]	Tensión de Salida [Voltios]	Ángulo [radianes]
0,079472	2,5	0
0,089458	2,5	0
0,098464	2,5	0
0,109469	2,5	0
0,119088	2,5	0
0,130235	2,5	0
0,138354	2,5	0
0,148389	2,5	0
0,159462	2,5	0
0,169493	2,5	0
0,178644	2,5	0
0,189838	2,5	0
0,199219	2,5	0
0,209122	2,5	0
0,21928	2,5	0
0,229635	2,5	0
0,238933	2,5	0
0,248947	2,5	0
0,260955	2,5	0
0,270075	2,5	0
0,280084	2,5	0
0,290088	2,5	0
0,300096	2,5	0
0,323141	2,5	0
0,333162	2,5	0
0,343163	2,5	0
0,351174	2,5	0
0,360189	2,5	0
0,370312	2,5	0
0,379325	2,5	0
0,390337	2,5	0
0,401368	2,5	0
0,41038	2,5	0
0,421412	2,5	0
0,430395	2,5	0
0,440629	2,5	0
0,449825	2,5	0
0,459835	2,5	0

0,470909	2,5	0
0,479915	2,5	0
0,490936	2,5	0
0,50096	2,5	0
0,509948	2,5	0
0,520957	2,5	0
0,529958	2,5	0
0,540066	2,5	0
0,550073	2,5	0
0,560076	2,5	0
0,572472	2,5	0
0,581137	2,5	0
0,589213	2,5	0
0,600155	2,5	0
0,611185	2,5	0
0,620089	2,5	0
0,640248	2,5	0
0,649263	2,5	0
0,659266	2,5	0
0,675512	2,5	0
0,684539	2,5	0
0,692119	2,5	0
0,702235	2,5	0
0,712246	2,5	0
0,7223	2,5	0
0,741956	5	0
0,752964	2,5	0
0,76097	2,5	0,002513
0,781937	2,5	0,006283
0,790947	2,5	0,006283
0,801032	2,5	0,006283
0,809062	2,5	0,006283
0,821095	2,5	0,006283
0,83111	2,5	0,006283
0,841114	2,5	0,005027
0,850122	2,5	0,006283
0,860008	2,5	0,005027
0,870219	2,5	0,005027
0,88017	2,5	0,005027
0,888354	2,5	0,005027
0,900962	2,5	0,005027

Respuesta del lazo interno del sistema realimentado con controlador proporcional de valor $K_p=18$, tiempo muestreo 10ms:

TIEMPO [seg]	Referencia [rad]	Lectura [rad]
0,030054	-0,125	-0,006283
0,04005	-0,125	-0,00754
0,050042	-0,125	-0,01131
0,059902	-0,125	-0,017593
0,070172	-0,125	-0,023876
0,080381	-0,125	-0,032673
0,090411	-0,125	-0,040212
0,10051	-0,125	-0,049009
0,11001	-0,125	-0,057805
0,120005	-0,125	-0,062832
0,130249	-0,125	-0,069115
0,140298	-0,125	-0,075398
0,149877	-0,125	-0,080425
0,160385	-0,125	-0,084195
0,170043	-0,125	-0,087965
0,181043	-0,125	-0,090478
0,191039	-0,125	-0,092991
0,201047	-0,125	-0,095504
0,210052	-0,125	-0,096761
0,220062	-0,125	-0,096761
0,230066	-0,125	-0,098018
0,241265	-0,125	-0,098018
0,290303	-0,125	-0,098018
0,300552	-0,125	-0,098018
0,310575	-0,125	-0,098018
0,320238	-0,125	-0,098018
0,330554	-0,125	-0,098018
0,340693	-0,125	-0,099274
0,349787	-0,125	-0,099274
0,360301	-0,125	-0,099274
0,370254	-0,125	-0,099274
0,380384	-0,125	-0,099274
0,390368	-0,125	-0,099274
0,400998	-0,125	-0,099274
0,410609	-0,125	-0,099274
0,420588	-0,125	-0,099274
0,430595	-0,125	-0,099274
0,440616	-0,125	-0,099274
0,451704	-0,125	-0,099274
0,460711	-0,125	-0,099274
0,471784	-0,125	-0,099274

0,479841	-0,125	-0,099274
0,489967	-0,125	-0,099274
0,539992	-0,125	-0,099274
0,550045	-0,125	-0,099274
0,560105	-0,125	-0,099274
0,569903	-0,125	-0,099274
0,580034	-0,125	-0,099274
0,590443	-0,125	-0,099274
0,600451	-0,125	-0,099274
0,610618	-0,125	-0,099274
0,620666	-0,125	-0,099274
0,630175	-0,125	-0,099274
0,641079	-0,125	-0,099274
0,649991	-0,125	-0,099274
0,660522	-0,125	-0,099274
0,670551	-0,125	-0,099274
0,680696	-0,125	-0,099274
0,690058	-0,125	-0,099274
0,701062	-0,125	-0,099274
0,70978	-0,125	-0,099274
0,72044	-0,125	-0,099274
0,73147	-0,125	-0,099274
0,741362	-0,125	-0,099274
0,750566	-0,125	-0,099274
0,760604	-0,125	-0,099274
0,769976	-0,125	-0,099274
0,799974	-0,125	-0,099274
0,811053	-0,125	-0,099274
0,820055	-0,125	-0,099274
0,830302	-0,125	-0,099274
0,839946	-0,125	-0,099274
0,850057	-0,125	-0,099274
0,860086	-0,125	-0,099274
0,87007	-0,125	-0,099274
0,88019	-0,125	-0,099274
0,891352	-0,125	-0,099274
0,901468	-0,125	-0,099274
0,910534	-0,125	-0,099274
0,920285	-0,125	-0,099274
0,930294	-0,125	-0,099274
0,94037	-0,125	-0,099274
0,949945	-0,125	-0,099274
0,959954	-0,125	-0,099274
0,970454	-0,125	-0,099274
0,980472	-0,125	-0,099274

0,99049	-0,125	-0,099274
1,001552	0,125	-0,099274
1,01054	0,125	-0,099274
1,020207	0,125	-0,099274
1,040222	0,125	-0,089221
1,061044	0,125	-0,076655
1,080056	0,125	-0,051522
1,090064	0,125	-0,030159
1,100071	0,125	-0,01508
1,149888	0,125	0,056549
1,159895	0,125	0,074142
1,17991	0,125	0,095504
1,189917	0,125	0,111841
1,199924	0,125	0,120637
1,209931	0,125	0,12692
1,219939	0,125	0,133204
1,239953	0,125	0,13823
1,249959	0,125	0,140743
1,260967	0,125	0,140743
1,269974	0,125	0,139487
1,280982	0,125	0,139487
1,289988	0,125	0,13823
1,299994	0,125	0,13823
1,310002	0,125	0,13823
1,320031	0,125	0,13823
1,3301	0,125	0,136973
1,340131	0,125	0,136973
1,350137	0,125	0,136973
1,360145	0,125	0,136973
1,370209	0,125	0,136973
1,380651	0,125	0,136973
1,390634	0,125	0,136973
1,40056	0,125	0,136973
1,41085	0,125	0,136973
1,420236	0,125	0,136973
1,430367	0,125	0,136973
1,441724	0,125	0,136973
1,450893	0,125	0,136973
1,46021	0,125	0,136973
1,470225	0,125	0,135717
1,480453	0,125	0,135717
1,490527	0,125	0,135717
1,499782	0,125	0,135717
1,510892	0,125	0,135717
1,520011	0,125	0,135717

1,541158	0,125	0,135717
1,550254	0,125	0,135717
1,56025	0,125	0,135717
1,570348	0,125	0,135717
1,580058	0,125	0,135717
1,590109	0,125	0,135717
1,60042	0,125	0,135717
1,610428	0,125	0,135717
1,620509	0,125	0,135717
1,630412	0,125	0,135717
1,640257	0,125	0,135717
1,649844	0,125	0,13446
1,661383	0,125	0,13446
1,670772	0,125	0,13446
1,680742	0,125	0,13446
1,689816	0,125	0,13446
1,699914	0,125	0,13446
1,711578	0,125	0,13446
1,720221	0,125	0,13446
1,730229	0,125	0,13446
1,741579	0,125	0,13446
1,750941	0,125	0,13446
1,760584	0,125	0,13446
1,770174	0,125	0,13446
1,780577	0,125	0,13446
1,789996	0,125	0,13446
1,801098	0,125	0,13446
1,809948	0,125	0,13446
1,819957	0,125	0,13446
1,830196	0,125	0,13446
1,88023	0,125	0,13446
1,890262	0,125	0,13446
1,900837	0,125	0,13446
1,909883	0,125	0,13446
1,920872	0,125	0,13446
1,950688	0,125	0,13446
1,960778	0,125	0,13446
1,969785	0,125	0,13446
1,980186	0,125	0,13446
1,990171	0,125	0,13446
2,001274	0,125	0,13446
2,010285	-0,125	0,13446
2,021296	-0,125	0,13446
2,030299	-0,125	0,13446
2,04025	-0,125	0,13069

2,050454	-0,125	0,124407
2,060454	-0,125	0,113097
2,071253	-0,125	0,106814
2,080113	-0,125	0,091735
2,089886	-0,125	0,080425
2,09989	-0,125	0,070372
2,11008	-0,125	0,055292
2,121074	-0,125	0,038956
2,130059	-0,125	0,026389
2,141357	-0,125	0,01131
2,15063	-0,125	-0,00754
2,160846	-0,125	-0,017593
2,169747	-0,125	-0,032673
2,179981	-0,125	-0,047752
2,190446	-0,125	-0,056549
2,200511	-0,125	-0,069115
2,211127	-0,125	-0,082938
2,220295	-0,125	-0,087965
2,230394	-0,125	-0,095504
2,240246	-0,125	-0,104301
2,250253	-0,125	-0,108071
2,260974	-0,125	-0,111841
2,270053	-0,125	-0,114354
2,280156	-0,125	-0,115611
2,290102	-0,125	-0,116867
2,299928	-0,125	-0,116867
2,30994	-0,125	-0,116867
2,319927	-0,125	-0,116867
2,329932	-0,125	-0,116867
2,34094	-0,125	-0,116867
2,350963	-0,125	-0,116867
2,359953	-0,125	-0,116867
2,369982	-0,125	-0,116867
2,38002	-0,125	-0,116867
2,390701	-0,125	-0,116867
2,400709	-0,125	-0,116867
2,4098	-0,125	-0,116867
2,4209	-0,125	-0,116867
2,429908	-0,125	-0,116867
2,439831	-0,125	-0,116867
2,449863	-0,125	-0,116867
2,459991	-0,125	-0,116867
2,469978	-0,125	-0,116867
2,480005	-0,125	-0,116867
2,490033	-0,125	-0,116867

2,499787	-0,125	-0,116867
2,510437	-0,125	-0,116867
2,520522	-0,125	-0,116867
2,530653	-0,125	-0,116867
2,540771	-0,125	-0,116867
2,550068	-0,125	-0,116867
2,560112	-0,125	-0,116867
2,56992	-0,125	-0,116867
2,580029	-0,125	-0,116867
2,590056	-0,125	-0,116867
2,600253	-0,125	-0,116867
2,610435	-0,125	-0,116867
2,621446	-0,125	-0,116867
2,630687	-0,125	-0,116867
2,639767	-0,125	-0,116867
2,649882	-0,125	-0,116867
2,660624	-0,125	-0,116867
2,670703	-0,125	-0,116867
2,680604	-0,125	-0,116867
2,690629	-0,125	-0,116867
2,700161	-0,125	-0,116867
2,710494	-0,125	-0,116867
2,720593	-0,125	-0,116867
2,730735	-0,125	-0,116867
2,740016	-0,125	-0,116867
2,750706	-0,125	-0,116867
2,761571	-0,125	-0,116867
2,771441	-0,125	-0,116867
2,781667	-0,125	-0,116867
2,791646	-0,125	-0,116867
2,801578	-0,125	-0,116867
2,811636	-0,125	-0,116867
2,821647	-0,125	-0,116867
2,830754	-0,125	-0,116867
2,841233	-0,125	-0,116867
2,850392	-0,125	-0,116867
2,86166	-0,125	-0,116867
2,870471	-0,125	-0,116867
2,880706	-0,125	-0,116867
2,891081	-0,125	-0,116867
2,900432	-0,125	-0,116867
2,910686	-0,125	-0,116867
2,919939	-0,125	-0,116867
2,929947	-0,125	-0,116867
2,940523	-0,125	-0,116867

2,951534	-0,125	-0,116867
2,960516	-0,125	-0,116867
2,970644	-0,125	-0,116867
2,980652	-0,125	-0,116867
2,990602	-0,125	-0,116867
2,999926	-0,125	-0,116867
3,010638	0,125	-0,116867
3,020493	0,125	-0,116867
3,030519	0,125	-0,115611
3,040525	0,125	-0,110584
3,051515	0,125	-0,104301
3,06154	0,125	-0,092991
3,070547	0,125	-0,082938
3,080535	0,125	-0,071628
3,090562	0,125	-0,059062
3,100871	0,125	-0,043982
3,110343	0,125	-0,031416
3,120574	0,125	-0,013823
3,130661	0,125	0,002513
3,140609	0,125	0,021363
3,150076	0,125	0,030159
3,160089	0,125	0,049009
3,170087	0,125	0,061575
3,180096	0,125	0,074142
3,190103	0,125	0,082938
3,200024	0,125	0,092991
3,209983	0,125	0,104301
3,21999	0,125	0,108071
3,240413	0,125	0,120637
3,25048	0,125	0,12315
3,260642	0,125	0,124407
3,270408	0,125	0,125664
3,280429	0,125	0,125664
3,290678	0,125	0,125664
3,299804	0,125	0,124407
3,310381	0,125	0,124407
3,320103	0,125	0,124407
3,330258	0,125	0,124407
3,340508	0,125	0,124407
3,35055	0,125	0,124407
3,361583	0,125	0,124407
3,371573	0,125	0,124407
3,380599	0,125	0,124407
3,390588	0,125	0,124407
3,399866	0,125	0,124407

3,410882	0,125	0,12315
3,419875	0,125	0,12315
3,430882	0,125	0,12315
3,439928	0,125	0,12315
3,450927	0,125	0,12315
3,460061	0,125	0,12315
3,470179	0,125	0,12315
3,480354	0,125	0,12315
3,490698	0,125	0,12315
3,501228	0,125	0,12315
3,509955	0,125	0,12315
3,520642	0,125	0,12315
3,53017	0,125	0,12315
3,539812	0,125	0,12315
3,550864	0,125	0,12315
3,561597	0,125	0,12315
3,570571	0,125	0,12315
3,580862	0,125	0,12315
3,589869	0,125	0,12315
3,600069	0,125	0,12315
3,610059	0,125	0,12315
3,620135	0,125	0,12315
3,630223	0,125	0,12315
3,640225	0,125	0,12315
3,650224	0,125	0,12315
3,661026	0,125	0,12315
3,670201	0,125	0,12315
3,680385	0,125	0,12315
3,690824	0,125	0,12315
3,701107	0,125	0,12315
3,710119	0,125	0,12315
3,720133	0,125	0,12315
3,731015	0,125	0,12315
3,740105	0,125	0,12315
3,750843	0,125	0,12315
3,760114	0,125	0,12315
3,771123	0,125	0,12315
3,780079	0,125	0,12315
3,79064	0,125	0,12315
3,800154	0,125	0,12315
3,810083	0,125	0,12315
3,821091	0,125	0,12315
3,831227	0,125	0,12315
3,840494	0,125	0,12315
3,850446	0,125	0,12315

3,861489	0,125	0,12315
3,870288	0,125	0,121894
3,880387	0,125	0,121894
3,891459	0,125	0,121894
3,909942	0,125	0,121894
3,92042	0,125	0,121894
3,930426	0,125	0,121894
3,940475	0,125	0,121894
3,951573	0,125	0,121894
3,96041	0,125	0,121894
3,970452	0,125	0,121894
3,980483	0,125	0,121894
3,990484	0,125	0,121894
4,000906	0,125	0,121894
4,009913	0,125	0,121894
4,019921	-0,125	0,121894
4,030931	-0,125	0,121894
4,039954	-0,125	0,121894
4,050112	-0,125	0,119381
4,060269	-0,125	0,111841
4,071326	-0,125	0,104301
4,080422	-0,125	0,094248
4,089918	-0,125	0,082938
4,09999	-0,125	0,074142
4,110151	-0,125	0,061575
4,120217	-0,125	0,042726
4,130306	-0,125	0,031416
4,140343	-0,125	0,01508
4,150468	-0,125	-0,002513
4,160014	-0,125	-0,012566
4,171003	-0,125	-0,028903
4,18087	-0,125	-0,045239
4,190534	-0,125	-0,055292
4,20159	-0,125	-0,070372
4,211725	-0,125	-0,081681
4,220735	-0,125	-0,087965
4,229835	-0,125	-0,095504
4,240527	-0,125	-0,104301
4,250779	-0,125	-0,108071
4,259799	-0,125	-0,111841
4,270162	-0,125	-0,114354
4,28093	-0,125	-0,116867
4,290424	-0,125	-0,118124
4,300584	-0,125	-0,118124
4,311141	-0,125	-0,118124

4,320721	-0,125	-0,118124
4,329771	-0,125	-0,118124
4,341412	-0,125	-0,118124
4,350726	-0,125	-0,118124
4,359769	-0,125	-0,118124
4,369781	-0,125	-0,118124
4,379854	-0,125	-0,118124
4,391565	-0,125	-0,118124
4,40063	-0,125	-0,118124
4,411184	-0,125	-0,118124
4,421192	-0,125	-0,118124
4,430629	-0,125	-0,118124
4,441641	-0,125	-0,118124
4,450436	-0,125	-0,118124
4,46044	-0,125	-0,118124
4,470445	-0,125	-0,118124
4,480189	-0,125	-0,118124
4,490211	-0,125	-0,118124
4,50093	-0,125	-0,118124
4,510211	-0,125	-0,118124
4,520161	-0,125	-0,118124
4,53017	-0,125	-0,118124
4,541178	-0,125	-0,118124
4,549847	-0,125	-0,118124
4,560364	-0,125	-0,118124
4,571204	-0,125	-0,118124
4,580232	-0,125	-0,118124
4,60065	-0,125	-0,118124
4,610621	-0,125	-0,118124
4,619984	-0,125	-0,118124
4,630989	-0,125	-0,118124
4,641556	-0,125	-0,118124
4,65059	-0,125	-0,118124
4,661494	-0,125	-0,118124
4,669821	-0,125	-0,118124
4,680194	-0,125	-0,118124
4,691205	-0,125	-0,118124
4,700231	-0,125	-0,118124
4,710208	-0,125	-0,118124
4,72025	-0,125	-0,118124
4,730293	-0,125	-0,118124
4,740708	-0,125	-0,118124
4,751339	-0,125	-0,118124
4,760412	-0,125	-0,118124
4,770373	-0,125	-0,118124

4,781462	-0,125	-0,118124
4,790449	-0,125	-0,118124
4,800723	-0,125	-0,118124
4,809905	-0,125	-0,118124
4,819896	-0,125	-0,118124
4,830009	-0,125	-0,118124
4,841439	-0,125	-0,118124
4,850744	-0,125	-0,118124
4,86054	-0,125	-0,118124
4,87198	-0,125	-0,118124
4,880282	-0,125	-0,118124
4,890528	-0,125	-0,118124
4,900591	-0,125	-0,118124
4,910637	-0,125	-0,118124
4,921811	-0,125	-0,118124
4,929973	-0,125	-0,118124
4,94024	-0,125	-0,118124
4,950501	-0,125	-0,118124
4,961916	-0,125	-0,118124
4,969947	-0,125	-0,118124
4,980462	-0,125	-0,118124
4,99047	-0,125	-0,118124
5,000431	-0,125	-0,118124
5,010491	0,125	-0,118124
5,021479	0,125	-0,118124
5,031343	0,125	-0,118124
5,04265	0,125	-0,111841
5,050702	0,125	-0,105558
5,059934	0,125	-0,096761
5,069998	0,125	-0,087965
5,080091	0,125	-0,076655
5,090953	0,125	-0,059062
5,099937	0,125	-0,047752
5,110261	0,125	-0,032673
5,121188	0,125	-0,020106
5,130202	0,125	0
5,140003	0,125	0,013823
5,150071	0,125	0,026389
5,16008	0,125	0,043982
5,171514	0,125	0,061575
5,180542	0,125	0,070372
5,190588	0,125	0,082938
5,200563	0,125	0,094248
5,210893	0,125	0,101788
5,220504	0,125	0,108071

5,230619	0,125	0,114354
5,241441	0,125	0,120637
5,250412	0,125	0,12315
5,260406	0,125	0,125664
5,270197	0,125	0,12692
5,280337	0,125	0,12692
5,290425	0,125	0,125664
5,300288	0,125	0,125664
5,310451	0,125	0,125664
5,320547	0,125	0,125664
5,330291	0,125	0,125664
5,340829	0,125	0,125664
5,350934	0,125	0,125664
5,360658	0,125	0,125664
5,370018	0,125	0,125664
5,38163	0,125	0,125664
5,390193	0,125	0,125664
5,400429	0,125	0,124407
5,411438	0,125	0,124407
5,42169	0,125	0,124407
5,431676	0,125	0,124407
5,439747	0,125	0,124407
5,450693	0,125	0,124407
5,459898	0,125	0,124407
5,470308	0,125	0,124407
5,480357	0,125	0,124407
5,491511	0,125	0,124407
5,501227	0,125	0,124407
5,510223	0,125	0,124407
5,521228	0,125	0,124407
5,530233	0,125	0,124407
5,541241	0,125	0,124407
5,550736	0,125	0,124407
5,56074	0,125	0,124407
5,570754	0,125	0,124407
5,580039	0,125	0,124407
5,59047	0,125	0,124407
5,601539	0,125	0,124407
5,61026	0,125	0,124407
5,620558	0,125	0,124407
5,631342	0,125	0,124407
5,641376	0,125	0,124407
5,651404	0,125	0,124407

Con el controlador maestro ($K_p=0.02$; $T_d=0.01\text{min}=0.6\text{s}$) - esclavo ($K_p=18$), y aplicando señales de +10 cm y -10 cm en forma de pulsos:

0	-10	1
0,052227	-10	1
0,096259	-10	1
0,140878	-10	1
0,186912	-10	0,75
0,231945	-10	0,75
0,275836	-10	0,5
0,320872	-10	0,25
0,362197	-10	-0,25
0,405229	-10	-0,25
0,447269	-10	-1
0,490287	-10	-1,5
0,535323	-10	-2
0,578368	-10	-3,25
0,625387	-10	-4
0,670802	-10	-5
0,711002	-10	-5,75
0,755785	-10	-6,25
0,802915	-10	-7
0,853467	-10	-8
0,902503	-10	-8,5
1,532138	-10	-8,75
1,583192	-10	-7
1,632226	-10	-5,5
1,681262	-10	-4,75
1,724547	-10	-3
1,772598	-10	-2
1,816481	-10	-0,25
1,85753	-10	0,75
1,904546	-10	1,75
1,950586	-10	2,5
1,991606	-10	4
2,037641	-10	4,75
2,083103	-10	5,75
2,124133	-10	6
2,167163	-10	6,25
2,209197	-10	6,5
2,255245	-10	6,25
2,297256	-10	6,25
2,341288	-10	6
2,429357	-10	4,5
2,47439	-10	4
2,519599	-10	2,5
2,560981	-10	1,75

2,606457	-10	0,75
2,652496	-10	-0,25
2,696539	-10	-2,25
2,742571	-10	-3,5
2,789842	-10	-5,5
2,836877	-10	-6,5
2,886914	-10	-8,5
2,933405	-10	-9,5
2,983629	-10	-10,25
3,033574	-10	-11,5
3,116404	-10	-12,5
3,168736	-10	-13
3,220956	-10	-13,25
3,269213	-10	-13,5
3,317248	-10	-13,5
3,366019	-10	-13,5
3,417057	-10	-13,25
3,465727	-10	-12,75
3,516803	-10	-12,5
3,562418	-10	-12
3,607449	-10	-11,5
3,656465	-10	-11,25
3,705519	-10	-10,75
3,752183	-10	-10,5
3,796561	-10	-10
3,841271	-10	-9,75
3,887304	-10	-9,5
3,966784	-10	-9,5
4,007492	-10	-9,5
4,053525	-10	-9,5
4,106579	-10	-9,5
4,156607	-10	-9,5
4,199328	-10	-9,75
4,246363	-10	-9,75
4,287392	-10	-10
4,336657	-10	-10,25
4,38105	-10	-10,25
4,428081	-10	-10,25
4,476622	-10	-10,5
4,535603	-10	-10,5
4,591625	-10	-10,5
4,637659	-10	-10,5
4,683693	-10	-10,5
4,729162	-10	-10,5
4,770995	-10	-10,5

4,816028	-10	-10,5
4,864081	-10	-10,5
4,909747	-10	-10,5
4,954798	-10	-10,25
5,004817	-10	-10,25
5,05185	-10	-10
5,097882	-10	-10
5,143924	-10	-9,75
5,191948	-10	-9,75
5,236992	-10	-9,5
5,285017	-10	-9,5
5,331114	-10	-9,5
5,376147	-10	-9,25
5,424181	-10	-9,25
5,470559	-10	-9,25
5,518595	-10	-9,25
5,567632	-10	-9,25
5,614663	-10	-9,25
5,660941	-10	-9,25
5,706513	-10	-9,25
5,752574	-10	-9,25
5,807699	-10	-9,5
5,853731	-10	-9,5
5,913047	-10	-9,5
5,960085	-10	-9,75
6,00188	-10	-9,75
6,050901	-10	-9,75
6,096436	-10	-10
6,144471	-10	-10
6,193508	-10	-10
6,24154	-10	-10
6,289577	-10	-10,25
6,336634	-10	-10,25
6,382669	-10	-10,25
6,429283	-10	-10,25
6,476336	-10	-10
6,521731	-10	-10
6,57513	-10	-10
6,617161	-10	-10
6,667002	-10	-10
6,713055	-10	-9,75
6,762562	-10	-9,75
6,805613	-10	-9,75
6,853628	-10	-9,75
6,900671	-10	-9,75

6,949261	-10	-9,75
6,994295	-10	-9,5
7,043015	-10	-9,75
7,091267	-10	-9,75
7,141332	-10	-9,75
7,184366	-10	-9,75
7,232416	-10	-9,75
7,275428	-10	-9,75
7,322723	-10	-9,75
7,370759	-10	-9,75
7,419792	-10	-9,75
7,466237	-10	-9,75
7,513583	-10	-9,75
7,558619	-10	-9,75
7,607672	-10	-9,75
7,652648	-10	-9,75
7,702685	-10	-9,75
7,746419	-10	-9,75
7,796241	-10	-9,75
7,885641	-10	-9,75
7,935287	-10	-9,5
7,980879	-10	-9,5
8,025931	10	-9,5
8,076485	10	-9,5
8,118243	10	-9,5
8,168293	10	-9,5
8,216617	10	-9,25
8,305799	10	-9,25
8,353833	10	-8,75
8,404851	10	-8,5
8,455887	10	-7,75
8,509245	10	-7
8,559774	10	-5,5
8,610827	10	-3,75
8,663846	10	-2,75
8,720452	10	-0,5
8,765741	10	0,75
8,81886	10	3,25
8,86302	10	4,25
8,908051	10	5,5
8,96315	10	7,75
9,010184	10	9,75
9,056898	10	10,5
9,09774	10	11,25
9,145994	10	12

9,188003	10	13,25
9,237019	10	13,75
9,322361	10	14,25
9,367393	10	14,75
9,412699	10	14,75
9,456483	10	14,75
9,496025	10	14,5
9,54206	10	14
9,583087	10	13,25
9,629886	10	13
9,677918	10	12,5
9,725626	10	12
9,769034	10	11,5
9,813067	10	11
9,857117	10	10,75
9,902754	10	10,75
9,952792	10	10,5
9,998824	10	10,5
10,043855	10	10,5
10,089248	10	10,5
10,131818	10	10,75
10,177854	10	10,75
10,223024	10	10,75
10,309029	10	11
10,35306	10	11
10,398092	10	10,75
10,446412	10	11
10,488462	10	11
10,531096	10	10,75
10,579133	10	11
10,625518	10	11
10,669552	10	11
10,713601	10	10,75
10,759571	10	11
10,807609	10	10,75
10,854639	10	10,75
10,89963	10	10,75
10,941743	10	10,75
10,990348	10	10,75
11,032733	10	10,5
11,080789	10	10,75
11,126258	10	10,5
11,171296	10	10,5
11,215745	10	10,5
11,287791	10	10,5

11,333397	10	10,5
11,37843	10	10,5
11,428915	10	10,5
11,473948	10	10,5
11,514997	10	10,5
11,561682	10	10,5
11,604716	10	10,5
11,652749	10	10,5
11,697809	10	10,5
11,744843	10	10,5
11,789856	10	10,5
11,836892	10	10,5
11,882944	10	10,5
11,929907	10	10,5
11,971936	10	10,5
12,01797	10	10,5
12,061345	10	10,5
12,106379	10	10,5
12,156416	10	10,5
12,2015	10	10,5
12,253053	10	10,5
12,299088	10	10,5
12,341432	10	10,5
12,385465	10	10,5
12,432015	10	10,5
12,479052	10	10,5
12,528092	10	10,5
12,577172	10	10,5
12,624222	10	10,5
12,670628	10	10,5
12,717201	10	10,5
12,762251	10	10,5
12,80821	10	10,5
12,849224	10	10,5
12,896501	10	10,5
12,938635	10	10,5
12,986669	10	10,5
13,029821	10	10,5
13,07543	10	10,5
13,119463	10	10,5
13,170502	10	10,5
13,214238	10	10,5
13,264275	10	10,5
13,311306	10	10,5
13,356339	10	10,5

13,401389	10	10,5
13,448403	10	10,5
13,496439	10	10,5
13,544385	10	10,5
13,5904	10	10,5
13,639112	10	10,5
13,686147	10	10,5
13,732215	10	10,5
13,779267	10	10,5
13,827743	10	10,5
13,875742	10	10,5
13,924784	10	10,5
13,971831	10	10,5
14,016198	10	10,5
14,06325	10	10,5
14,108265	10	10,5
14,156299	10	10,5
14,201634	10	10,5
14,242852	10	10,5
14,288887	10	10,5
14,332917	10	10,5
14,37598	10	10,5
14,423015	10	10,5
14,468061	10	10,5
14,513661	10	10,5
14,559072	10	10,5
14,605116	10	10,5
14,646923	10	10,5
14,696345	10	10,5
14,740795	10	10,5
14,783844	10	10,5
14,827875	10	10,5
14,870888	10	10,5
14,91471	10	10,5
14,954364	10	10,5
15,001399	10	10,5
15,042782	10	10,5
15,09282	10	10,5
15,135818	10	10,5
15,181526	10	10,5
15,226094	10	10,5
15,272309	10	10,5
15,317341	10	10,5
15,363376	10	10,5

Con el controlador maestro ($K_p=0.02$; $T_d=0.01\text{min}=0.6\text{s}$) - esclavo ($K_p=18$), Tiempo de muestreo de 10 ms seleccionado mediante Labview, sin lograrlo, y aplicándole distintas entradas y perturbaciones:

Tiempo [segundos]	Referencia [cm]	Lectura [cm]
0	0	-10,5
0,404022	0	-10,5
0,447478	0	-10,5
0,494236	0	-10,75
0,542272	0	-10,5
0,589375	0	-10,5
0,634616	0	-10,25
0,685654	0	-10
0,731688	0	-9,25
0,812749	0	-7,5
0,854703	0	-7
0,898728	0	-6,25
0,943748	0	-5,5
0,98779	0	-4,25
1,038816	0	-3,5
1,085547	0	-2,25
1,127596	0	-1,5
1,177631	0	-1
1,221196	0	0
1,26825	0	0,5
1,314289	0	0,75
1,35932	0	1,25
1,404353	0	1,25
1,45321	0	1,25
1,499246	0	1,25
1,548396	0	1,25
1,590427	0	1,25
1,635478	0	1,25
1,682495	0	1
1,743989	0	0,75
1,786241	0	0,75
1,832055	0	0,75
1,874083	0	0,75
1,916133	0	0,5
1,957142	0	0,5
2,000192	0	0,5
2,049211	0	0,5
2,091257	0	0,25
2,13827	0	0,25

2,182303	0	0,25
2,227334	0	0,25
2,269375	0	0,25
2,312397	0	0,5
2,357428	0	0,5
2,401457	0	0,5
2,444488	0	0,75
2,487538	0	0,75
2,532551	0	0,75
2,57358	0	0,75
2,619613	0	0,75
2,663644	0	0,75
2,711377	0	0,75
2,75441	0	0,75
2,797577	0	0,75
2,839608	0	0,75
2,959723	0	0,75
3,002756	0	0,75
3,049787	0	0,75
3,096822	0	0,75
3,13785	0	0,5
3,182886	0	0,5
3,225913	0	0,5
3,277969	0	0,25
3,321981	0	0,5
3,365013	0	0,25
3,412062	0	0,25
3,456545	0	0,25
3,501892	0	0,25
3,560935	0	0,25
3,606987	0	0,25
3,653019	0	0,25
3,698034	0	0,25
3,742824	0	0,25
3,784855	0	0,25
3,830895	0	0,25
3,871917	0	0,25
3,915955	0	0,25
3,964983	0	0,25
4,009014	0	0,25
4,057049	0	0,25
4,099078	0	0,25
4,146113	0	0,25
4,19215	0	0,25
4,235176	0	0,25

4,27677	0	0,25
4,323785	0	0,25
4,384058	0	0,25
4,427104	0	0,25
4,469125	0	0,25
4,515167	0	0,25
4,563185	0	0,25
4,608234	0	0,25
4,651247	0	0,25
4,696288	0	0,25
4,739309	0	0,25
4,78434	0	0,25
4,82941	0	0,25
4,872421	0	0,25
4,947635	0	0,25
4,995675	0	0,25
5,0377	0	0,25
5,085735	0	0,25
5,129766	0	0,25
5,178801	0	0,25
5,223835	0	0,25
5,271869	0	0,25
5,316101	0	0,25
5,362132	0	0,25
5,409184	0	0,25
5,453524	0	0,25
5,5009	0	0,25
5,546934	0	0,25
5,594968	0	0,25
5,639	0	0,25
5,684032	0	0,25
5,729064	0	0,25
5,773096	0	0,25
5,815156	0	0,25
5,864174	0	0,25
5,908222	0	0,25
5,955237	0	0,25
6,015298	0	0,25
6,068321	0	0,25
6,109346	0	0,25
6,157381	0	0,25
6,204258	0	0,25
6,248272	0	0,25
6,294884	0	0,25
6,375282	0	0,25

6,416331	0	0,25
6,460626	0	0,25
6,508662	0	0,25
6,554692	0	0,25
6,598724	0	0,25
6,641756	0	0,25
6,685805	0	0,25
6,729879	0	0,25
6,774909	0	0,25
6,819421	0	0,25
6,865492	0	0,25
6,909542	0	0,25
6,952573	0	0,25
6,996607	0	0,25
7,038634	0	0,25
7,083668	0	0,25
7,126697	0	0,25
7,172734	0	0,25
7,213844	0	0,25
7,257524	0	0,25
7,304862	0	0,25
7,358248	0	0,25
7,40026	0	0,25
7,447329	0	0,25
7,4911	0	0,25
7,532132	0	0,25
7,581165	0	0,25
7,625206	0	0,25
7,670237	0	0,25
7,71727	0	0,25
7,763807	0	0,25
7,808844	0	0,25
7,852874	0	0,25
7,8939	0	0,25
7,940937	0	0,25
7,983285	0	0,25
8,02735	0	0,25
8,08039	0	0,25
8,129423	0	0,25
8,18246	0	0,25
8,228495	0	0,25
8,27853	0	0,25
8,323938	0	0,25
8,367972	0	0,25
8,412406	0	0,25

8,458501	0	0,25
8,503564	0	0,25
8,549601	0	0,25
8,597651	0	0,25
8,645685	0	0,25
8,688894	0	0,25
8,735928	0	0,25
8,778967	0	0,25
8,82502	0	0,25
8,869041	0	0,25
8,913064	0	0,25
8,956091	0	0,25
8,999789	0	0,25
9,045822	0	0,25
9,091525	0	0,25
9,138561	0	0,25
9,184594	0	0,25
9,228071	0	0,25
9,274101	0	0,25
9,336674	0	0,25
9,381707	0	0,25
9,424609	0	0,25
9,470643	0	0,25
9,515695	0	0,25
9,558726	0	0,25
9,607742	0	0,25
9,653795	0	0,25
9,697984	0	0,25
9,745017	0	0,25
9,791058	0	0,25
9,83608	0	0,25
9,881114	0	0,25
9,937247	0	0,25
9,98083	0	0,25
10,025873	0	0,25
10,078997	0	0,25
10,12703	0	0,25
10,173062	0	0,25
10,216112	0	0,25
10,259361	0	0,25
10,305413	0	0,25
10,350426	0	1
10,399461	0	1,75
10,442493	0	2,5
10,489536	0	3

10,533558	0	4,5
10,577588	0	5
10,62364	0	6,25
10,672055	0	6,75
10,720139	0	7,5
10,767155	0	8,5
10,809246	0	9,25
10,854277	0	10
10,898326	0	11,5
10,942338	0	12
10,98737	0	12,75
11,031404	0	13
11,075452	0	13,25
11,124468	0	13,5
11,168519	0	13,75
11,215534	0	14
11,259575	0	14,75
11,305781	0	15
11,350832	0	15
11,391844	0	15,75
11,435892	0	15,75
11,478903	0	16
11,523935	0	16,25
11,568284	0	17
11,613299	0	16,75
11,658329	0	17
11,701921	0	16,75
11,744954	0	16,5
11,787982	0	16
11,832034	0	15
11,877048	0	14,25
11,922099	0	13,5
11,968324	0	11,75
12,010356	0	10,75
12,056407	0	9,75
12,099437	0	7,75
12,143468	0	7
12,187482	0	6
12,234516	0	4,5
12,281549	0	3,75
12,326579	0	2,75
12,371531	0	1,25
12,416565	0	1
12,459614	0	0
12,505629	0	0

12,550661	0	-0,5
12,598699	0	-0,75
12,642725	0	-1,25
12,68776	0	-1,25
12,735505	0	-1,25
12,778536	0	-1,25
12,822475	0	-1
12,869512	0	-1
12,912541	0	-0,5
12,958574	0	-0,5
13,002859	0	-0,25
13,04489	0	0
13,089012	0	0
13,142048	0	0,25
13,187078	0	0,5
13,237117	0	0,5
13,285157	0	0,75
13,334121	0	0,75
13,377153	0	0,75
13,425188	0	0,75
13,4683	0	0,75
13,515337	0	0,5
13,557384	0	0,5
13,602397	0	0,5
13,64943	0	0,5
13,697465	0	0,25
13,740515	0	0,25
13,78753	0	0,25
13,835485	0	0
13,879519	0	0
13,923568	0	0
13,970582	0	0
14,017617	0	-0,25
14,061648	0	-0,25
14,105678	0	-0,25
14,155715	0	-0,5
14,20375	0	-0,5
14,248782	0	-0,5
14,295828	0	-0,5
14,341253	0	-0,5
14,386305	0	-0,5
14,435321	0	-0,5
14,479372	0	-0,5
14,523386	0	-0,5
14,571565	0	-0,5

14,614418	0	-0,5
14,66221	0	-0,5
14,706244	0	-0,5
14,750285	0	-0,5
14,791855	0	-0,5
14,83989	0	-0,5
14,884922	0	-0,5
14,933956	0	-0,5
14,978997	0	-0,5
15,021608	0	-0,5
15,071647	0	-0,5
15,117678	0	-0,5
15,170735	0	-0,5
15,213765	0	-0,5
15,257781	0	-0,5
15,306817	0	-0,5
15,352845	0	-0,5
15,397731	0	-0,5
15,444895	0	-0,5
15,490932	0	-0,5
15,534963	0	-0,5
15,578908	0	-0,5
15,622921	0	-0,5
15,672959	0	-0,5
15,718991	0	-0,5
15,765022	0	-0,5
15,811057	0	-0,5
15,853776	0	-0,5
15,899811	0	-0,5
15,945861	0	-0,5
15,989874	0	-0,5
16,034937	0	-0,5
16,07989	0	-0,5
16,124923	0	-0,5
16,168955	0	-0,5
16,215987	0	-0,5
16,262117	0	-0,5
16,313173	0	-0,5
16,358187	0	-0,5
16,40622	0	-0,5
16,449318	0	-0,5
16,498307	0	-0,5
16,545498	0	-0,5
16,59153	0	-0,5
16,635561	0	-0,5

16,685596	0	-0,5
16,733631	0	-0,5
16,779683	0	-0,5
16,824716	0	-1,25
16,871978	0	-1,5
16,919032	0	-2,25
16,967957	0	-3,5
17,015011	0	-4
17,065027	0	-5,25
17,11307	0	-5,75
17,159094	0	-6,5
17,212132	0	-7,25
17,259165	0	-8
17,30221	0	-8,25
17,353234	0	-8,75
17,400268	0	-9,5
17,448302	0	-10
17,494067	0	-10,75
17,540102	0	-11
17,587145	0	-11,5
17,631166	0	-12,25
17,680199	0	-12,5
17,727251	0	-13
17,772264	0	-13,25
17,819298	0	-13,5
17,864332	0	-14,25
17,909381	0	-14,5
17,959417	0	-14,75
18,003365	0	-14,75
18,049542	0	-15,25
18,096574	0	-15,75
18,147705	0	-15,75
18,196739	0	-16,25
18,248774	0	-16,5
18,295105	0	-16,75
18,342142	0	-17,25
18,389176	0	-17,25
18,434206	0	-17,5
18,481242	0	-17,75
18,526272	0	-18,5
18,569301	0	-18,5
18,618439	0	-18,75
18,662705	0	-19
18,713572	0	-19,25
18,761606	0	-19,5

18,807659	0	-19,75
18,855676	0	-19,75
18,900725	0	-20,25
18,949744	0	-20,25
18,996789	0	-20,75
19,044878	0	-20,5
19,095382	0	-20,75
19,142417	0	-20,75
19,195473	0	-21
19,242487	0	-21
19,289521	0	-20,75
19,333899	0	-20,5
19,379934	0	-20
19,427969	0	-19,75
19,473	0	-18,25
19,521033	0	-17,75
19,566066	0	-15,75

HOJA DE CARACTERISTICAS

PowerGrip® LL



Table of contents

Introduction	3	Calculation	
		a) General notes/abbreviations	10
Properties	4	b) Calculation formulae	11
		c) Calculation method/factors	12
Engineering notes	5	d) Calculation examples	14
a) Synchronous belts	7	Technical specifications	
b) Sprockets	8	a) Permissible circumferential forces	14
c) Pre-load	9	b) Breaking strength	15
d) Attachment plates		c) Elongation diagrams	16
		d) Sprocket dimensions	19

Suitable protections shall be mounted at exposed drives to prevent unintentional or inadvertent access and contact.

Introduction

The mechanization and automation of linear motions are benefiting from ongoing development efforts, the trend being towards higher speeds, greater load-handling capacities (masses), enhanced precision, quieter running and maintenance-free and quiet operation over the long term, all coupled with low susceptibility to failure. A multitude of drive concepts is available to power linear motions; all are adapted to suit specific requirements and incorporate a variety of mechanical drive elements – such as toothed racks, threaded spindles and synchronous belts. Since no single element is capable of satisfying all the requirements equally well, the selection will be based upon the properties which promise the greatest overall benefit to the user; synchronous belts are gaining significance here due to their many and varied product advantages.

There are at present three series of LL (long-length) synchronous belt systems, each of which reflect its to own development:

1. **CTB-LL PowerGrip synchronous belts** with trapezoidal teeth and inch pitch divisions XL, L and H. This concept, dating back to earlier origins, is no longer used in new engineering.
2. **HTD-LL synchronous belts** with glass and steel cord, used in the far majority of applications and available in metric pitch divisions 3M (on request), 5M, 8M and 14M.
3. **PGGT-LL synchronous belts** with glass and steel cord, featuring a new tooth geometry and improved materials and properties to handle special requirements; available in the 3MR (on request), 5MR and 8MR pitch series. The "MR" system designation corresponds to the PGGT = **P**ower**G**rip **G**ates **T**ooth designation.

Chart 1, below, depicts the varying performance capabilities of the systems described here, using as the example the L, 8M and 8MR pitches; exact performance data will be found on page 14.

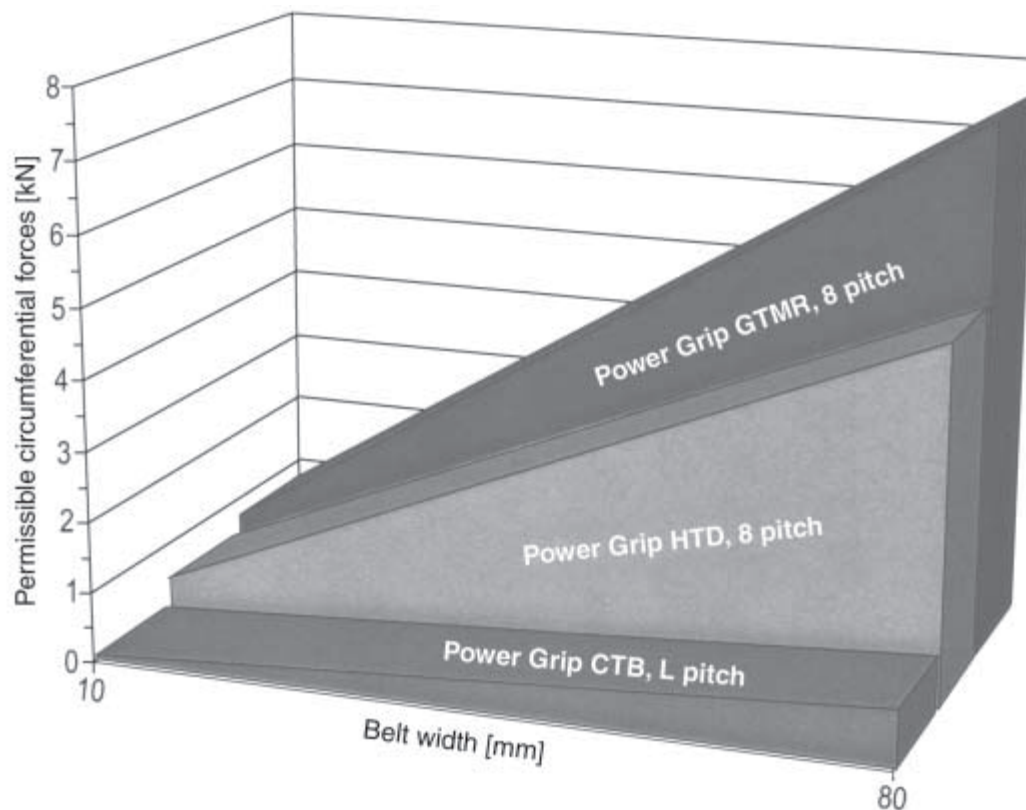


Chart 1: **Ratings comparison for LL synchronous belt systems**
(Synchronous belts with glass tensile cords)

Properties

The advantages of the long-length synchronous belts and properties which are often called for:

- High efficiency with clean, maintenance-free operation
- Smooth, quiet, low-vibration operation
- Minimum engineering effort, to cut costs
- Transmission and repetition accuracy for positioning and reversing
- Low masses for high acceleration and speeds
- Fatigue-free and operationally reliable with long-term strength
- Precisely calculated behavior

The long-length synchronous belt is an ideal engineering component both for linear drives and for load transportation in elevator and conveyor technology.

Its widespread utilization in linear drives for reversing movements is demonstrated by numerous application examples:

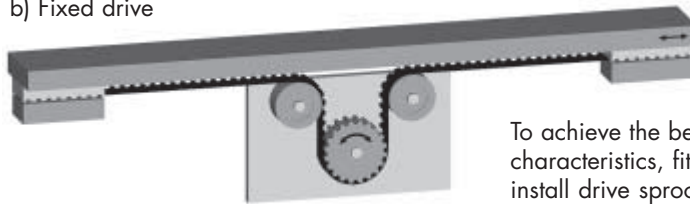
- Grinder table drive for short-stroke movements
- Multi-axis portal robots in flexible manufacturing operations
- Arrangement in pairs to move loads vertically in automatic shelf storage units
- Linear drives for sliding doors, fire protection doors and elevator doors with overload protection
- Feed and advancing units for presses
- Precise reversing motions for printing heads in typewriters and printers
- Feeding paper and moving the illumination source in photocopiers etc.

Various basic concepts in LL drives – shown in the illustration below – offer a reliable drive solution with virtually guaranteed functioning.

a) Standard two-sprocket drive



b) Fixed drive



To achieve the best possible running characteristics, fit idler pulleys with flanges, install drive sprockets without flanges

c) Drive unit following the element being moved, to cover greater distance

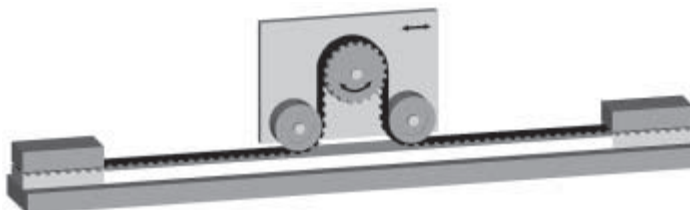


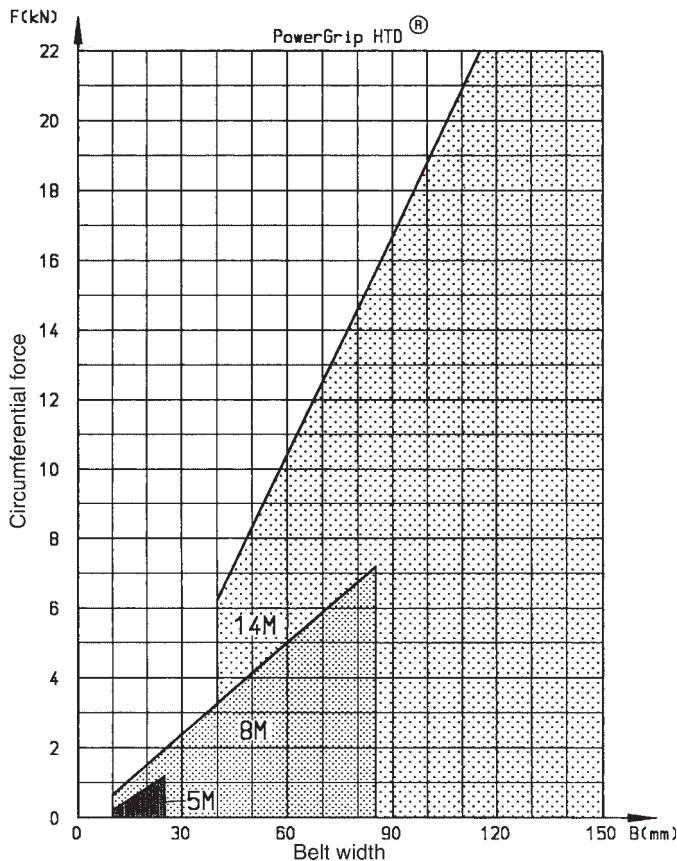
Figure 1: **Schematics for linear drive concepts using LL synchronous belts**

Engineering notes

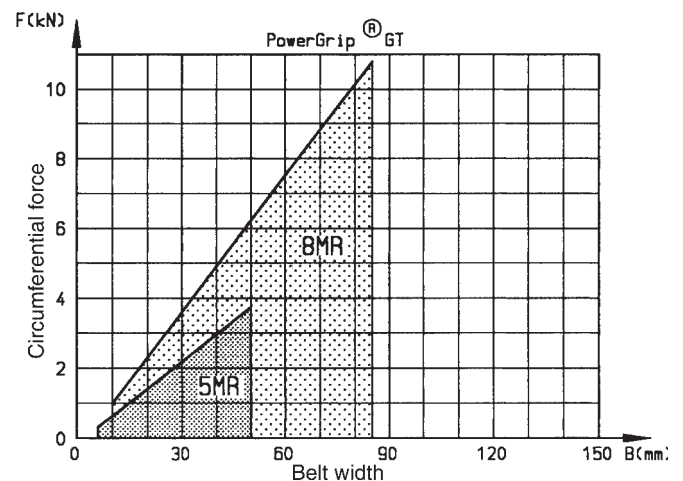
a) Synchronous belts

The selection of the most suitable basic concept (Figure 1) will depend upon the engineering specifics and, as well, on the required degree of drive precision; a rough pre-selection of the most suitable

belt system can be made using the required circumferential forces, on the basis of Charts 2 and 3.



HTD system



MR system

Charts 2 and 3

Data for synchronous belts incorporating steel cord;
for glass cord use 75% of the forces specified.

Linear drives execute a motion which is limited in length; thus the direction is very often reversed at the same position (e.g. at an end position). In this case the synchronous belt is always subjected to higher starting and braking loads across the same tooth engagement area. This increased load is to be taken account of by applying suitable safety factors when engineering the drive.

Where the number of teeth in engagement is small, permissible circumferential forces for the belts will depend on the number of teeth at the sprocket (Table 4, Page 14). The largest possible sprocket diameter is to be chosen in order to achieve rapid motion cycling and good transmission accuracy.

Where the starting loads are heavier and more stringent requirements apply in terms of positioning accuracy, we recommend using **PGGT-LL belts**. When compared with the HTD system, these belts – due to their improved material properties and modified tooth geometry – offer as much as a 50% performance enhancement, optimized transmission precision and extremely quiet running. Employing a nylon facing fabric with even greater shear resistance will ensure high specific tooth loading capacities; a rigid, low-stretch tensile member made of glass or steel cord or, on request, aramid cord ensures low-stretch, low-vibrating belt drives.

Our applications technology specialists should be consulted whenever special synchronous belt designs are required – concepts which are cold-resistant or are electric conductive, for example.

A diagram of a periodic wave. The horizontal axis represents time, and the vertical axis represents displacement. The wave has a period t and an amplitude A . The wave is shown as a series of pulses, with the period t indicated by a double-headed arrow above the wave. The amplitude A is indicated by a double-headed arrow on the right side of the wave.

Designation	Standard width code	Weight per meter *m _G GC	SC	Roll length m	t	hs	ht
CTB-LL-XL	025 037	58	76	30	5.08	2.3	1.2
CTB-LL-L	037 050 075 100	79	101	30	9.525	3.5	1.85
CTB-LL-H	050 075 100 150 200 300	94	129	30	12.7	3.9	2.3

Designation	Standard width code	Weight per meter *m _G		Roll length m	t	h _s	h _t
		GC	SC				
HTD-LL- 3M	6 9 15	53	69	30	3	2.41	1.22
HTD-LL- 5M	10 15 25	94	112	30	5	3.6	2.08
HTD-LL- 8M	15 20 30 50 85	135	163	30	8	6.0	3.45
HTD-LL- 14M	40 55 85 115 150	240	330	30	14	10.0	6.02

Designation	Standard width code	Weight per meter *m _G		Roll length m	t	hs	ht
		GC	SC				
PGGT-LL-3MR	6 9 15	53	69	30	3	2.41	1.12
PGGT-LL-5MR	10 15 25	94	112	30	5	3.81	1.92
PGGT-LL-8MR	15 20 30 50 85	135	185	30	8	5.6	3.34

Table 1: **Standard dimensions and weights for type LL synchronous belts**

The three principle dimensions for the synchronous belt are:

The tooth pitch is expressed by specifying the distance, in millimeters, between the centers of two adjacent teeth, measured at the belt's effective force line (pitch line). The effective force line of a belt will, theoretically, lie within the tensile cords.

The following order designation will be applicable to a synchronous belt 50 mm wide, with 8 mm pitch and in PGGT (= MR) belt system incorporating glass tensile cords:

** Possible cord designs:
610 Glass cord
680 Steel cord
890 Aramid cord (on request)

b) Sprockets

The new LL-GT (MR) synchronous belt system also features a new geometry for the sprocket grooves and represents a further refinement of the time-tested PowerGrip HTD cross section. Depending on the number of teeth, this new geometry allows a significant increase in power transmission capacities. In addition its design is targeted on minimized tooth gap play, better positioning and actuation accuracy and low-noise belt running.

Where the requirements in terms of actuation and repetition accuracy in the belt drive are particularly stringent we can offer a large number of individually tailored drive solutions with special tooth shapes and modified tolerances. In such cases you should consult our application engineers direct.

The join between the shaft and the hub in the sprockets can be made by a groove and key way or with TaperLock bushings. Also available is a wide range of cylindrical mounting bushings; request our catalog "ML Bushing Sets."

LL-PGGT sprockets may be made from any of a wide variety of materials including steel, high-strength aluminum, plastic etc.; surfaces can be finished as required. Make use of our consulting service to handle your specific needs.

Order designations:

The three principal dimensions for the sprocket are:

Pitch Number of teeth Width

At the sprocket, the pitch corresponds to the distance between the centers of two adjacent grooves, measured at the sprocket's effective diameter (pitch diameter). This diameter will always lie beyond the sprocket's outside diameter. The outside and pitch diameters of the sprockets will be found in the tables on Page 19 and following.

Ordering example:

LL 8MR — **36 S** — **30**
Pitch and system Number of teeth Belt width

Manufacturing tolerances for sprockets

Sprockets are precision components manufactured to very close tolerances. Any irregularities in manufacturing can be detrimental to the belt and can shorten the drive's service life.

We thus recommend maintaining the tolerance values given in Table 2 for the bore, outside diameter and concentricity.

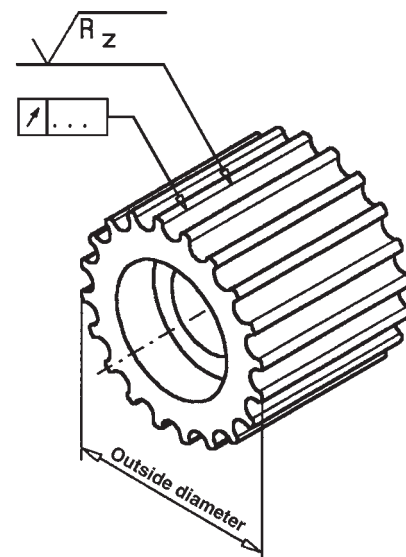
Outside diameter above	to	Admissible tolerance	Admissible concentricity deviation	Rough turning dimensions
0	25	+ 0.05	0.03	0.2 to 0.3
26	50	+ 0.05	0.04	
51	100	+ 0.08	0.05	
101	150	+ 0.10	0.07	0.3 to 0.4
151	200	+ 0.12	0.1	
201	300	+ 0.15	0.12 + 0.03 per 100 mm	0.4 to 0.5
301	500	+ 0.18		0.5 to 0.7
501	...	+ 0.20		0.7 to 0.9

– Tolerances for outside diameter and concentricity

Teeth/pitch	Permissible roughness R_z
up to 5 mm	$R_z \leq 10$
5 mm – 10 mm	$R_z \leq 16$
above 10 mm	$R_z \leq 25$

– Permissible roughness

Table 2: **Manufacturing tolerances for sprockets**



c) Pre-load

Belt tension is an important factor in good positioning accuracy. The pre-loaded belt may not be entirely without tension on the slack span when the system is placed under load; this means that the pre-load force for the belt span will have to be greater than the maximum circumferential force applied by the drive: $F_v > F_{max}$. We recommend using a pre-load of $F_v = 1.1$ to $1.2 \cdot F_{max}$. This value is used to determine the pre-load ε on the basis of the elongation diagram. Referenced to one meter of belt length, elongation $\Delta l = 10 \cdot \varepsilon$. If one marks the back of the belt, relieved of load, with two lines spaced at a distance of one meter, then the elongation Δl can easily be monitored through to the proper pre-load. When dealing with long spans, the pre-load can also be measured across the entire span length = $10 \cdot \varepsilon \cdot \text{span length (in meters)}$.

The pre-load elongation along the belt span will be further increased by the operational loading on the load side and reduced in the slack span by the same value. The force-elongation curve shown in Charts 4 to 6 follows a linear path between zero and the permissible limit value for circumferential force, i.e. actual belt elongation for a lower force in the span can be determined on the basis of the characteristic curve reproduced in the chart. When using a rigid, low-stretch belt the force in the span, when compared with the permissible limit value, is lower to a corresponding extent. Elastic elongation $\Delta l = \varepsilon \cdot l_1 / 100$ of the belt – and thus the inaccuracy in transmission – changes with the length of the load span l_1 . It is advantageous to attain the shortest possible load span; this can, for example, be achieved with drive arrangements such as those shown in Figures 1 b and 1 c.

In addition to the recommended value $F_v \approx 1.1$ to $1.2 \cdot F_{max}$, there are numerous applications in which the operating concept requires that the belts be tightened to greater pre-load values. In a reversing drive with intermittent loading and high-mass forces, for example, the belt will be placed under maximum pre-load in order to ensure dependable tooth engagement and to avoid ratcheting. Kindly consult with our drive engineers in these special situations.

Where the center distances exceeds five meters we recommend using sheet steel rails or idling rollers to counteract the sag in the synchronous belt, induced by the belt's own weight. In no case should an attempt be made to eliminate sag by applying greater pre-load since this can result an extreme load on the bearings and shafts and can have considerable influence on belt life.

Particularly in the case of vertical drives for lifts (see Figure 2) and in the event that the load is removed quickly – or where there is a great divergence between the masses at the load and counterweight – we recommend using backing idlers which are tangent to the back of the belt in order to keep the belt from ratcheting or jumping over teeth.

It is in general necessary for the load weight to be at least 25% of the counterweight mass to positively prevent the belt from ratcheting in those types of drive which do not use a tangent backing idler.

The drive sprocket for vertical lifting drives should preferably have 52 teeth or more. In this way, and in conjunction with a special tooth design, the support for the teeth as they engage is particularly effective and this will guarantee long-term, dependable belt operation.

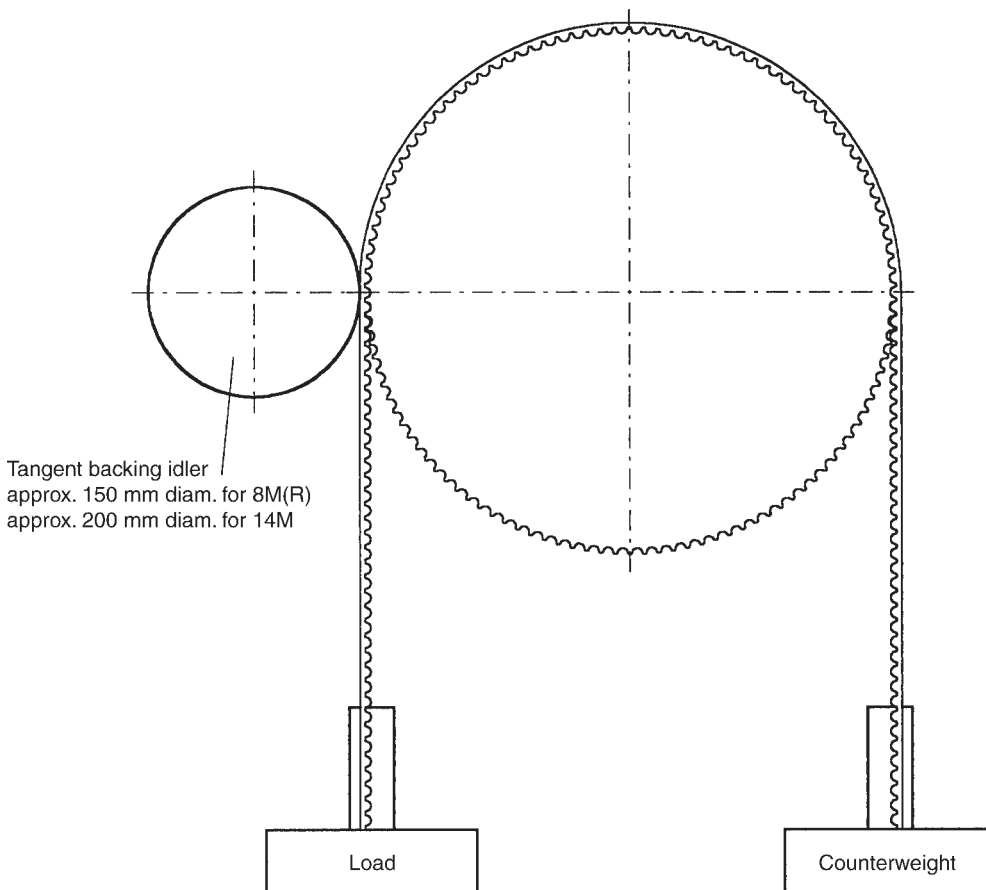


Figure 2: **Tangent backing idler for lifting drives**

d) Attachment plates

The synchronous belts are secured using special attachment plates manufactured with cross sections which match exactly the profiles of the teeth for the various belt systems. In normal applications we recommend engaging 8 teeth on the belt. Belt drives subjected to greater loads (e.g. drives used to raise heavier loads) should be fixed using two attachment plates, located one behind the other and engaging in 16 teeth in order to achieve a satisfactory degree of safety.

The dimensions of the aluminum attachment plates are given in Table 3. Surface treatments (coating, chemical nickel plating) can be quoted on request. AlMgSi 0.5 is the material used for the attachment plates.

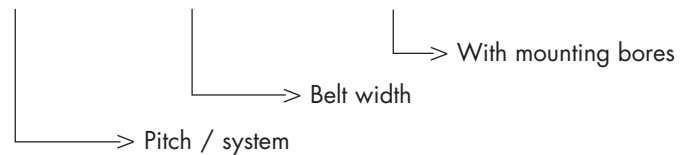
The attachment plates shown here can be used for type HTD and GT belt systems and represent a reliable, dependable and priceworthy solution for belt fixing.

Applying excess pressure to the tensile cord will cause damage and will weaken the connection; trials were thus carried out to determine the ideal fixing height for belts incorporating steel and glass tensile cords (dimension X in Table 3).

The fixing screws should be located to either side of the belt and must be tightened uniformly; the fixing height may never be less than the value specified in Table 3 since the tensile cording could otherwise be crimped.

Order designation for attachment plates

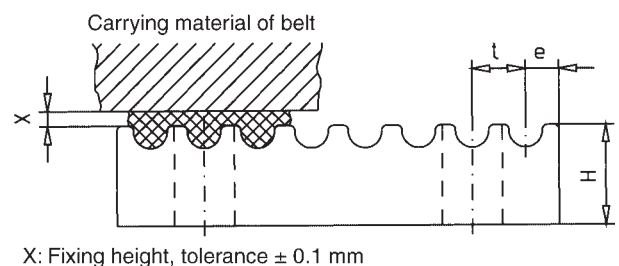
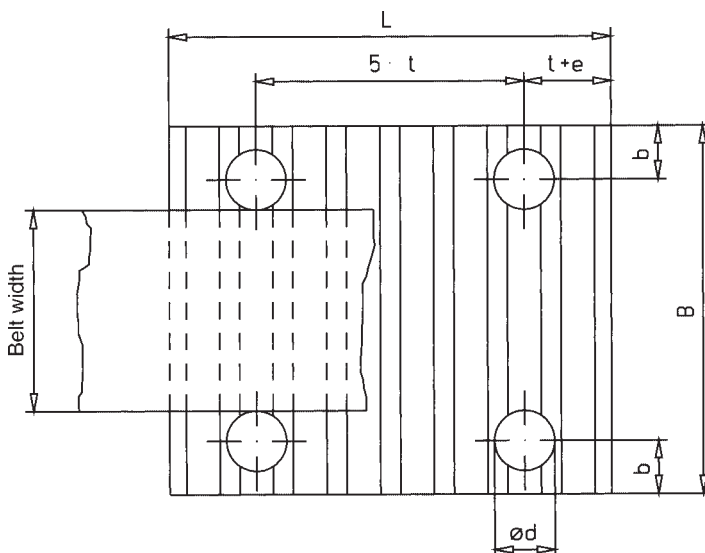
8M - 20 - MB*



* Available versions

MB = Mounting holes

OB = Without mounting holes



t	b	Ø d	e	L	H	X _{Glass}	X _{Steel}
3M / 3MR	5	4.5	2	25	6	1.0	1.1
5M / 5MR	6	5.5	3.2	41.5	8	1.2	1.1
8M	8	9	5	66	15	1.8	1.7
8MR	8	9	5	66	15	1.8	2.1
14M	10	11	9	116	22	3.0	3.3

Table 3: Dimensions and fixing heights for attachment plates

	6	9	10	15	20	25	30	40	50	55	85	115	150
t	B (mm)												
3	21	24		30									
5			29	34		44							
8				40	45		55		75		110		
14								71		86	116	146	181

Table 3.1: Attachment plate widths for given belt widths

Calculations

a) General notes

Dimensioning for long-length (LL) synchronous drives has to satisfy the requirements of the particular drive situation. When calculating dimensions it is therefore necessary to allow for safety margins and for loading, tooth engagement and bending factors (see Paragraph c for information). The torques developed by the drive motor and by the brakes serve as the basis for calculations for the belt drive. If specifications are not available for these factors, then it will be necessary to determine the forces on the output side of the system. The examples which follow (beginning on Page 13) illustrate the dimensioning procedure.

Linear drives

Linear drives cover only specified, limited paths; following the reversing motion they are accelerated from zero and are then again decelerated. As a consequence the increased starting load due to the effect of the masses must be taken into account. When stopping at the end of the travel path, the inertia of the mass still in motion acts as a "drive" so that the synchronous belt is subjected to loading in alternate directions. This loading situation is very unfavorable and thus requires careful observation of the effects of the mass.

In linear drives it is also necessary to remember that toward the ends of the stroke motion the same teeth in the belt and sprocket will engage during every cycle. The teeth affected at the belt are therefore subjected to particularly high mechanical loading during continuous operation; it may consequently be necessary to increase belt width in order to offset the increased cumulative loads on certain individual belt teeth.

Linear positioning drives

In addition to the power or load transmission capacities, a certain degree of stiffness may be required for positioning drives; a specified minimum failure strength may be needed for freight and passenger elevators. In these cases the dimension selected will have to be examined in regard to the desired degree of elongation or braking strength and adjusted if necessary. When braking in response to an emergency stop the braking torque can, as a result of the requirement for the shortest possible braking path, be several times greater than the starting torque; this would then be decisive for dimensioning. In general, the greatest share of loading for the belt teeth during horizontal motion is the acceleration force $F_a = m \cdot a$ or braking force $F_b = m \cdot b$; in a vertical lifting movement this will be the static lifting force $F = m \cdot g$.

Minimum sprocket diameter

It is necessary to mention – supplementary to the notes for lifting drives (Page 8) – that when designing drives with a U-shaped loop the largest possible diameters should be selected for sprockets and idler pulleys in order to reduce the influences of alternating bending loads and creep. When using long-length belts with steel cords the diameters and minimum numbers of teeth should not fall below the values given in the Tables on Page 14. Consult the technology department if necessary.

Abbreviations

a	Acceleration	m/sec ²
A	Center distance	mm
b	Belt width	m/sec ²
b_R	Sprocket width	mm
B	Scheibenbreite	mm
B_w	Bending cycle	1/sec
c_{spez}	Specific spring constant	N
d_B	Bore diameter	mm
d_a	Outside diameter	mm
d_w	Pitch diameter	mm
d_{wk}	Pitch diameter, small sprocket	mm
d_{wg}	Pitch diameter, large sprocket	mm
ε	Elongation	%
F_a	Acceleration power	N
F_b	Braking force	N
F_B	Calculated drive power	N
F_H	Lift force	N
F_P	Belt tension test load	N
F_R	Friction force	N
F_t	Span force	N
F_U	Circumferential force	N
F_V	Pre-load force	N
F_{zul}	Admissible circumferential force	N
g	Acceleration due to gravity	m/sec ²
h_s	Belt thickness	mm
h_t	Tooth height	mm
i	Transmission ratio	
l_w	Pitch length	mm
l_t	Length of taut span	mm
Δl	Change in length	mm
M	Torque	Nm
m	Mass	kg
m_G	Weight per meter	kg
m_L	Mass of the load	kg
m_R	Mass of the belt	kg
m_{ges}	Total weight	kg
m_Z	Mass of the sprocket	kg
m_{Z, red}	Reduced sprocket mass	kg
n	Rotation speed	1/min
n_{MOT}	Motor rotation speed	1/min
P	Power	kW
P_B	Calculated power	kW
P_N	Nominal power	kW
S_{bruch}	Failure safety	
S_G	Overall service factor	
S₁	Load factor	
S₂	Teeth-in-mesh factor	
S₃	Transmission ratio factor	
S₄	Bending factor	
S₅	Special service factor	
S₆	Belt length factor	
S₇	Belt width factor	
t	Pitch	
v	Velocity	m/sec
z	Number of sprockets	
z_e	Number of teeth in mesh	
z_g	Number of teeth, large sprocket	
z_k	Number of teeth, small sprocket	

b) Calculation formulae

Torque

$$M = \frac{P \cdot 9.55 \cdot 10^3}{n} = \frac{F_U \cdot d_w}{2 \cdot 10^3} \text{ [Nm]}$$

Power

$$P = \frac{M \cdot n}{9.55 \cdot 10^3} = \frac{F_U \cdot v}{10^3} \text{ [kW]}$$

Circumferential force

$$F_U = \frac{P \cdot 10^3}{v} = \frac{M \cdot 2 \cdot 10^3}{d_w} \text{ [N]}$$

R.P.M.

$$n = \frac{19.1 \cdot 10^3 \cdot v}{d_w} \text{ [min}^{-1}\text{]}$$

Circumferential speed

$$v = \frac{d_w \cdot n}{19.1 \cdot 10^3} \left[\frac{\text{m}}{\text{sec}} \right]$$

Acceleration power

$$F_a = m \cdot a \text{ [N]}$$

Braking force

$$F_b = m \cdot b \text{ [N]}$$

Lifting force

$$F_H = m \cdot g \text{ [N]}$$

Frictional force

$$F_R = m \cdot g \cdot \mu \text{ [N]}$$

Mass

$$m = m_L + m_R + m_{Zred} \text{ [kg]}$$

$$\text{mit } m_R = I_W \cdot m_G$$

Reduced mass of sprocket

$$m_{Zred} = \frac{m_Z}{2} \cdot \left(1 + \frac{d_B^2}{d_a^2} \right) \text{ [kg]}$$

Sprocket mass

$$m_Z = \frac{(d_a^2 - d_B^2) \cdot \pi \cdot B \cdot \varsigma}{4 \cdot 10^6} \text{ [kg]}$$

ς = Density

Elongation

$$\varepsilon = \frac{\Delta l \cdot 100}{l_t} \text{ [%]}$$

Specific spring constant

$$C_{spez} = \frac{F_{Admissible} \cdot 100}{\varepsilon} \text{ [N]}$$

Flexure cycles

$$B_w = \frac{v \cdot z \cdot 10^3}{l_w} \text{ [1/sec]}$$

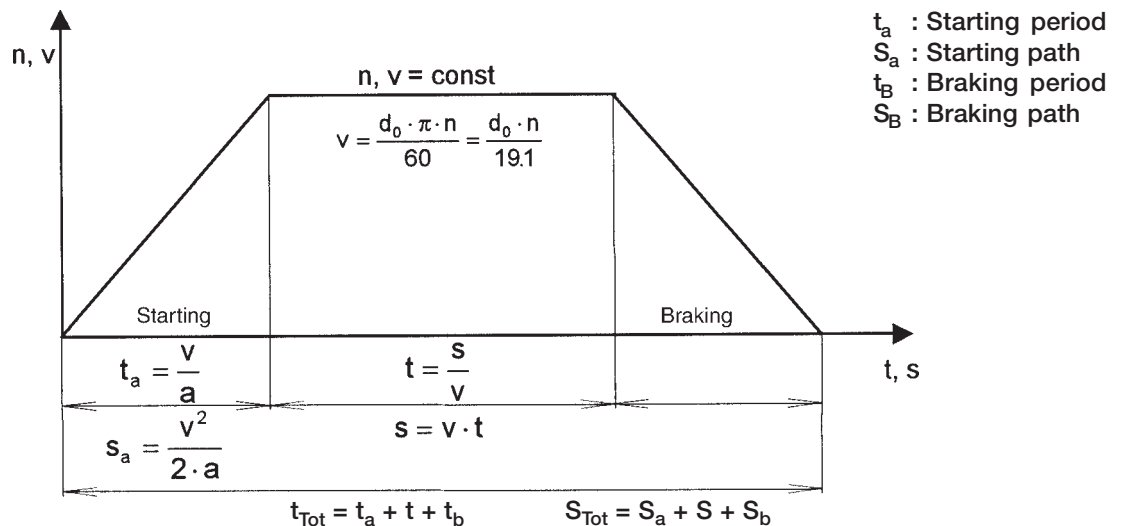


Figure 3: Motion equations for acceleration and braking phases

c) Calculation method

1. Calculating of the circumferential force at the drive station

$$F_U = F_a (F_b) + F_H + F_R$$

2. Selecting the required tooth profile

See Charts 2/3, Page 5

3. Calculate power with

$$F_B = F_U \cdot S_G \text{ und } S_G = S_2 \cdot (S_1 + S_3 + S_4 - S_5)$$

4. Calculate belt width factor for the selected sprocket

$$S_7 = F_B / F_{perm}, \text{ Table 4, Page 14}$$

The minimum width factor should be less or equal than the next larger width value given there.

Should the belt width which results not be acceptable, then select a larger sprocket or, if possible, a larger pitch and repeat steps 1 to 4.

5. Examining minimum breaking strength

The minimum breaking strength should be greater than the maximum force in the span F_t , multiplied by the required failure strength factor S_{fail} . The following relationships are applicable:

$$F_t = F_u + F_v \text{ and } F_v = 1.2 \cdot F_u \text{ (for standard drives).}$$

$$\geq F_t = 2.2 \cdot F_u$$

F_v : Belt pre-load; in most cases the pre-load required at vertical drives will have already been applied by the suspended weights.

Factors used in calculation

Loading factor S_1 :

Uniform, without peak loads

1.0

Daily operation in hours

3 to 8 h 8 to 16 h 16 to 24 h

With moderate peak loads

1.2

1.4

1.6

With large peak loads

1.5

1.7

1.9

With severe peak loads

1.8

2.0

2.2

Teeth-in-mesh factor S_2 :

Z_e

S_2

≥ 6

1.0

5

1.25

4

1.66

3

2.50

Ratio factors S_3 :

Applicable only to step-up systems

Transmission ratio i

1.00 to 1.24

–

1.25 to 1.74

0.10

1.75 to 2.49

0.20

2.50 to 3.49

0.30

3.50 and greater

0.40

Flexure factor S_4 :

Where there is reverse flexure due to idlers at the back of the belt

0.2

Special service factor S_5 :

Where operations are frequently interrupted or where use is only occasional

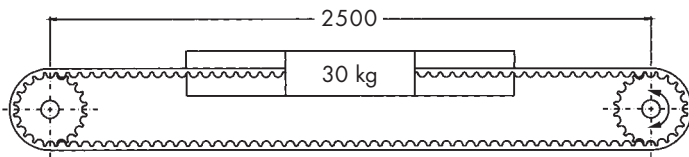
0.2

Overall service factor S_G :

$$S_G = S_2 \cdot (S_1 + S_3 + S_4 - S_5)$$

d) Calculation examples

● Linear skid



Given:

$v = 5 \text{ m/sec}$ Shaft diameter = 25 mm
 $a = 15 \text{ m/sec}^2$ $S_{\text{fail}} > 5$
 $b = 25 \text{ m/sec}^2$ Moderate loading peaks
 $m_L = 30 \text{ kg}$ Running time 9 h/day
 $\mu = 0.05$
 $d_k \approx 75 \text{ mm}$

Steps 1/2

Pre-selection (using chart on Page 5):

using $F_U \sim F_b = m \cdot b = 750 \text{ N}$

LL-5MR-25 with steel cord

Sprocket, e.g. $z = 48$ teeth ($d_k = 75.25 \text{ mm}$)

Determining the masses:

$$m_z = \frac{(75.25^2 - 25^2) \cdot \pi \cdot 30 \cdot 7.83}{4 \cdot 10^6} = 0.93 \text{ kg}$$

$$m_{z \text{ red}} = \frac{0.93}{2} \left(1 + \frac{25^2}{75.25^2} \right) = 0.52 \text{ kg}$$

$$m_{\text{Belt}} = 5.24 \cdot 0.112 = 0.59 \text{ kg}$$

$$m = 2 \cdot 0.52 + 0.59 + 30 = 31.63 \text{ kg}$$

Determining the forces:

$$F_a = 31.63 \cdot 15 = 475 \text{ N}$$

$$F_b = 31.63 \cdot 25 = 790.75 \text{ N}$$

Since $F_b > F_a$, the following is taken into account for circumferential force F_b

$$F_r = 31.63 \cdot 9.81 \cdot 0.05 = 15.5 \text{ N}$$

$$F_U = F_b + F_r = 790.75 + 15.5 = 806.25 \text{ N}$$

Step 3

Calculating the drive force

$$F_B = F_U \cdot S_G$$

$$F_B = 806.25 \cdot 1.4 = 1128.75 \text{ N}$$

(See calculation factors on Page 12)

Step 4

Calculating belt width factor

As per Table 4 on Page 14

$$F_{\text{Admissible}} = 1.35 \cdot 455 \text{ N} = 614 \text{ N}$$

$$S_7 = \frac{F_B}{F_{\text{Admissible}}} = \frac{1128.75}{614} = 1.838$$

Next largest width factor = 2.93

The result is: selected belt width = 25 mm

Step 5

Minimum tensile strength as per Table 5, Page 15 = 9920 N

$$F_t = 2.2 \cdot F_U =$$

$$F_t = 2.2 \cdot 806.25 = 1773.75$$

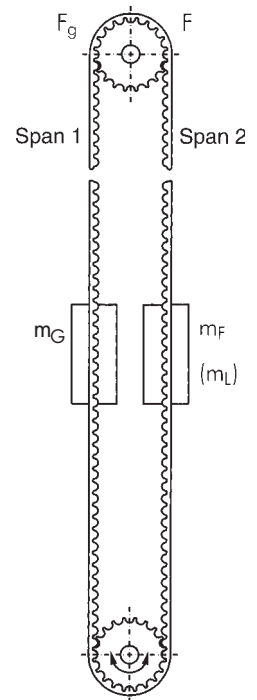
$$S_{\text{bruch}} = 9920 / 1773.75 = 5.59$$

Due to the great discrepancy between the breaking force and the maximum circumferential force which will be encountered, there is less elongation at the belt when loaded. The elongation value which will occur is found in Chart 6 on Page 18 to be $F_U = 806.25 \text{ N}$; it follows that $\varepsilon = 0.12 \%$.

● Lifting drive

Given:

Car mass $m_F = 400 \text{ kg}$
 Counterweight $m_G = 450 \text{ kg}$
 Load $m_L = 100 \text{ kg}$
 Acceleration $a = 1.5 \text{ m/sec}^2$
 Braking deceleration $b = 6 \text{ m/sec}^2$
 Service period 12 h/day
 Moderate loading peaks
 $S_{\text{bruch}} > 8$
 $v = 3 \text{ m/s}$
 $n_{\text{MOT}} = 160 \text{ r.p.m.} = \text{motor R.P.M.}$



Step 1

Load ascending:

Starting forces

$$\text{Span 1: } F_H - F_a = (m_G \cdot g) + (m_G \cdot [-a]) = 3740 \text{ N}$$

$$\text{Span 2: } F_H + F_a = (m_F + m_L) \cdot g + (m_F + m_L) \cdot a = 5655 \text{ N}$$

Braking (emergency stop):

Braking forces

$$\text{Span 1: } F_H + F_b = (m_G \cdot g) + (m_G \cdot b) = 7115 \text{ N}$$

$$\text{Span 2: } F_H - F_b = (m_F + m_L) \cdot g + (m_F + m_L) \cdot (-b) = 1905 \text{ N}$$

Load descending:

Starting forces

$$\text{Span 1: } F_U + F_a = (m_G \cdot g) + (m_G \cdot a) = 5090 \text{ N}$$

$$\text{Span 2: } F_U - F_a = (m_F + m_L) \cdot g + (m_F + m_L) \cdot (-a) = 4155 \text{ N}$$

Braking forces

$$\text{Span 1: } F_H - F_b = (m_G \cdot g) - (m_G \cdot b) = 1714.5 \text{ N}$$

$$\text{Span 2: } F_H + F_b = (m_F + m_L) \cdot g + (m_F + m_L) \cdot b = 7905 \text{ N}$$

Disregarding the effects of bearing friction, the greatest load will be encountered in span 2 when braking while the load is descending, at $F_U = 7905 \text{ N}$.

When dimensioning the drive motor one need take into account only the greatest differential in forces at the spans when starting up.

Step 3

$$F_B = 7905 \cdot 1.4 = 11067 \text{ N}$$

(See calculation factors on Page 12)

Steps 2/4

Selecting a suitable belt using Chart 2 on Page 5 results in an 14M belt with steel cords; also selected is a 14M sprocket with $z = 78$ teeth.

As per Table 4, Page 14

$$F_{\text{Admissible}} = 2145 \text{ N} \cdot 1.35 \quad S_7 = \frac{F_B}{F_{\text{Admissible}}} = \frac{11067}{2895.75} = 3.82$$

Next largest width factor = 5.35

Result: selected belt width = 85 mm

Step 5

Minimum breaking strength as per Table 5, Page 15 = 150200 N

$$F_t = 7905 \cdot 2.2 = 17390 \text{ N}$$

$$S_{\text{bruch}} = 150200 / 17390 = 8.64$$

and thus $S_{\text{bruch}} > 8$.

Technical data

a) Permissible circumferential forces

The values specified in the tables indicate the circumferential forces which can be transferred by the synchronous belt and thus can be **used in operations**. The circumferential forces required are not included in the data.

PowerGrip-LL synchronous belts, standard design with glass cord

CTB-LL-XL	Permissible circumferential forces* for 1/4" belt width (N) Number of sprocket teeth	28 10	35 12	35 14	35 16	35 18	35 20	35 ≥ 24
	Belt width Width factor	1/4" 1	5/16" 1.29	3/8" 1.57	1/2" 2.29	1" 5.29		
CTB-LL-L	Permissible circumferential forces* for 3/8" belt width (N) Number of sprocket teeth	56 10	70 12	70 14	70 16	70 ≥ 18		
	Belt width Width factor	3/8" 1	1/2" 1.57	3/4" 2.29	1" 3.43	1 1/2" 5.29		
CTB-LL-H	Permissible circumferential forces* for 1/2" belt width (N) Number of sprocket teeth	310 16	310 18	310 20	310 ≥ 24			
	Belt width Width factor	1/2" 1	3/4" 1.57	1" 2.29	1 1/2" 3.79	2" 5.29	3" 8.29	

HTD-LL synchronous belts, standard design with glass cord

HTD-LL-3M (on inquiry)	Permissible circumferential forces* for 9 mm belt width (N) Number of sprocket teeth	140 12	145 14	150 18	156 24	160 28	166 32	176 40	186 48	195 ≥ 56
	Belt width Width factor	6 0.6	9 1.0	15 1.79						
HTD-LL-5M	Permissible circumferential forces* for 10 mm belt width (N) Number of sprocket teeth	190 14	205 16	220 18	235 20	257 24	275 28	293 32	303 36	310 ≥ 40
	Belt width Width factor	6 0.53	10 1.0	15 1.58	20 2.17	25 2.93	30 3.41	40 4.67	50 6.33	
HTD-LL-8M	Permissible circumferential forces* for 20 mm belt width (N) Number of sprocket teeth	680 22	780 26	850 30	930 34	990 38	1070 ≥ 40			
	Belt width Width factor	10 0.45	15 0.73	20 1.0	25 1.35	30 1.57	40 2.15	50 2.91	85 4.98	
HTD-LL-14M	Permissible circumferential forces* for 20 mm belt width (N) Number of sprocket teeth	1530 28	1880 34	2120 40	2145 ≥ 52					
	Belt width Width factor	15 0.73	20 1.0	25 1.35	30 1.57	40 2.15	55 3.22	85 5.35	115 7.46	150 10.10

PGGT-LL synchronous belts, standard design with glass cord

PGGT-LL-3MR (on inquiry)	Permissible circumferential forces* for 9 mm belt width (N) Number of sprocket teeth	232 14	271 18	297 24	306 32	313 ≥ 38				
	Belt width Width factor	6 0.6	9 1.0	15 1.79						
PGGT-LL-5MR	Permissible circumferential forces* for 10 mm belt width (N) Number of sprocket teeth	245 14	296 18	360 24	385 28	409 32	438 40	455 ≥ 48		
	Belt width Width factor	6 0.53	10 1.0	15 1.58	20 2.17	25 2.93	30 3.41	40 4.67	≥ 50 6.33	
PGGT-LL-8MR	Permissible circumferential forces* for 20 mm belt width (N) Number of sprocket teeth	884 22	1055 26	1215 30	1375 34	1509 38	1605 ≥ 44			
	Belt width Width factor	10 0.46	15 0.73	20 1.0	25 1.35	30 1.57	40 2.15	50 2.91	85 4.98	

Table 4: **Permissible circumferential forces**

Boldface belt widths = standard

* Multiply by 1.35 for steel cord

 Steel cords are not allowed for these number of teeth

b) Minimum tensile strength

CTB-LL synchronous belts

CTB-LL-XL	Width code	025	037	050		
	Glass cord	1230	2060	2680		
	Steel cord	1700	2850	3700		
CTB-LL-L	Width code	037	050	075	100	
	Glass cord	2060	2680	4326	5562	
	Steel cord	2850	3700	5985	7520	
CTB-LL-H	Width code	050	075	100	150	200
	Glass cord	7060	10600	14130	21192	29139
	Steel cord	6465	9700	12930	19405	26683
						300
						42384
						38811

HTD-LL synchronous belts

HTD-LL-3M	Width in mm	6	9	15		
	Glass cord	1200	2060	3296		
	Steel cord	1710	2850	4560		
HTD-LL-5M	Width in mm	10	15	25		
	Glass cord	4100	5280	9400		
	Steel cord	4300	5580	9900		
HTD-LL-8M	Width in mm	15	20	30	50	85
	Glass cord	7550	10050	15950	27700	47800
	Steel cord	7300	9700	15400	26700	46100
HTD-LL-14M	Width in mm	40	55	85	115	150
	Glass cord	27950	37250	60500	81500	107000
	Steel cord	69300	92400	150200	202300	265800

PGGT-LL synchronous belts

PGGT-LL-3MR	Width in mm	6	9	15		
	Glass cord	1236	2060	3296		
	Steel cord	1710	2850	4560		
PGGT-LL-5MR	Width in mm	10	15	25		
	Glass cord	4116	5280	9408		
	Steel cord	4340	5580	9920		
PGGT-LL-8MR	Width in mm	15	20	30	50	85
	Glass cord	7550	10050	15950	27700	47800
	Steel cord	14950	19950	29890	51525	89775

Table 5: Minimum breaking strength for type LL synchronous belts, in Newtons

c) Elongation charts

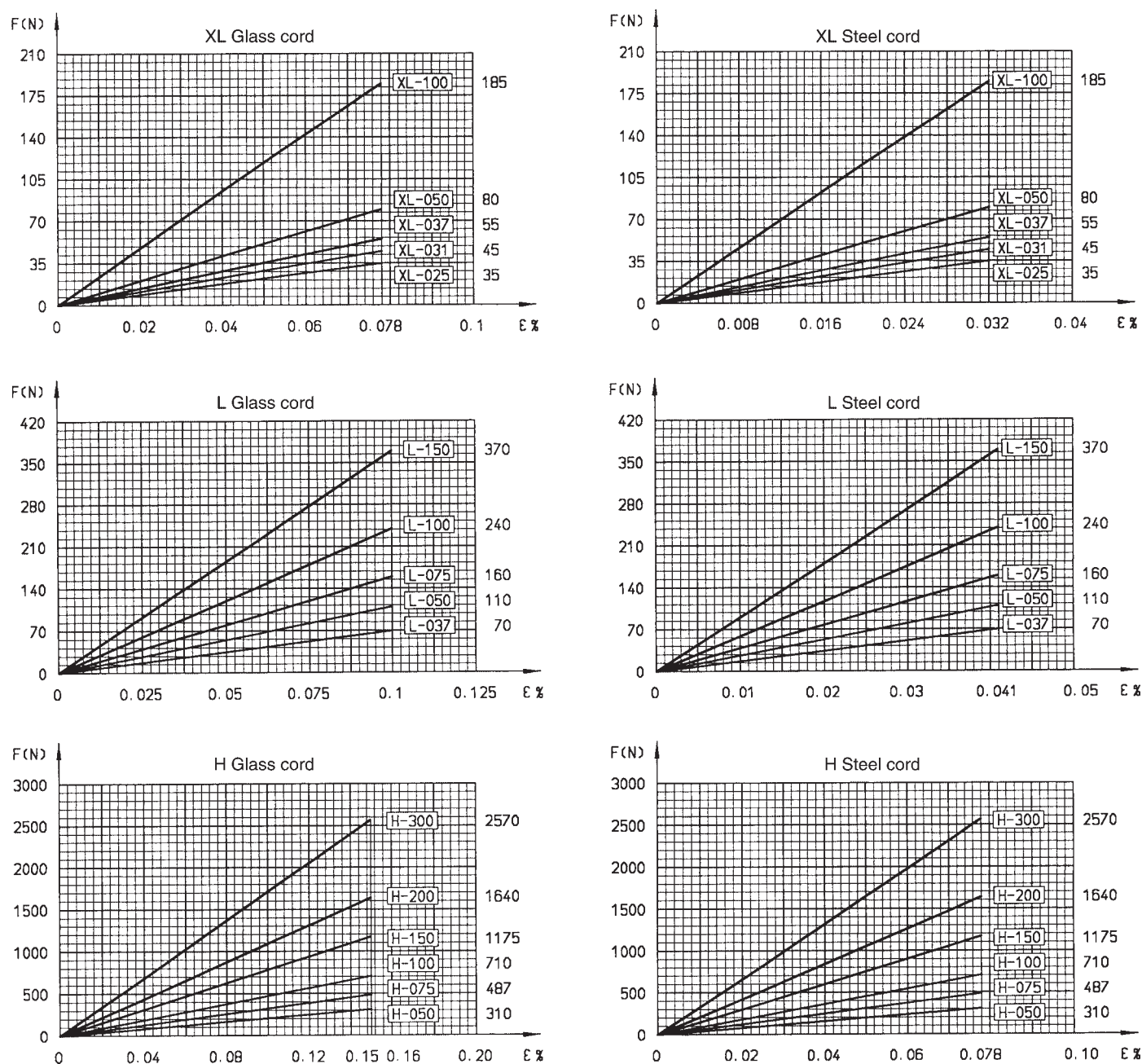


Chart 4: Elongation values for type LL standard synchronous belts

Belt type	Width (code)	Tensile force (N)	
		Glass cord	Steel cord
XL	025	45	108
	037	70	170
	050	110	267
L	037	70	170
	050	110	267
	075	160	389
H	050	207	400
	075	325	627
	100	474	915

Table 6: Force/elongation values for type LL standard synchronous belts at 0.1% elongation

Based on the force/elongation values given in Table 6 (at $\epsilon = 0.1\%$ elongation), the elongation values for other standard and intermediate widths can be interpolated in linear fashion.

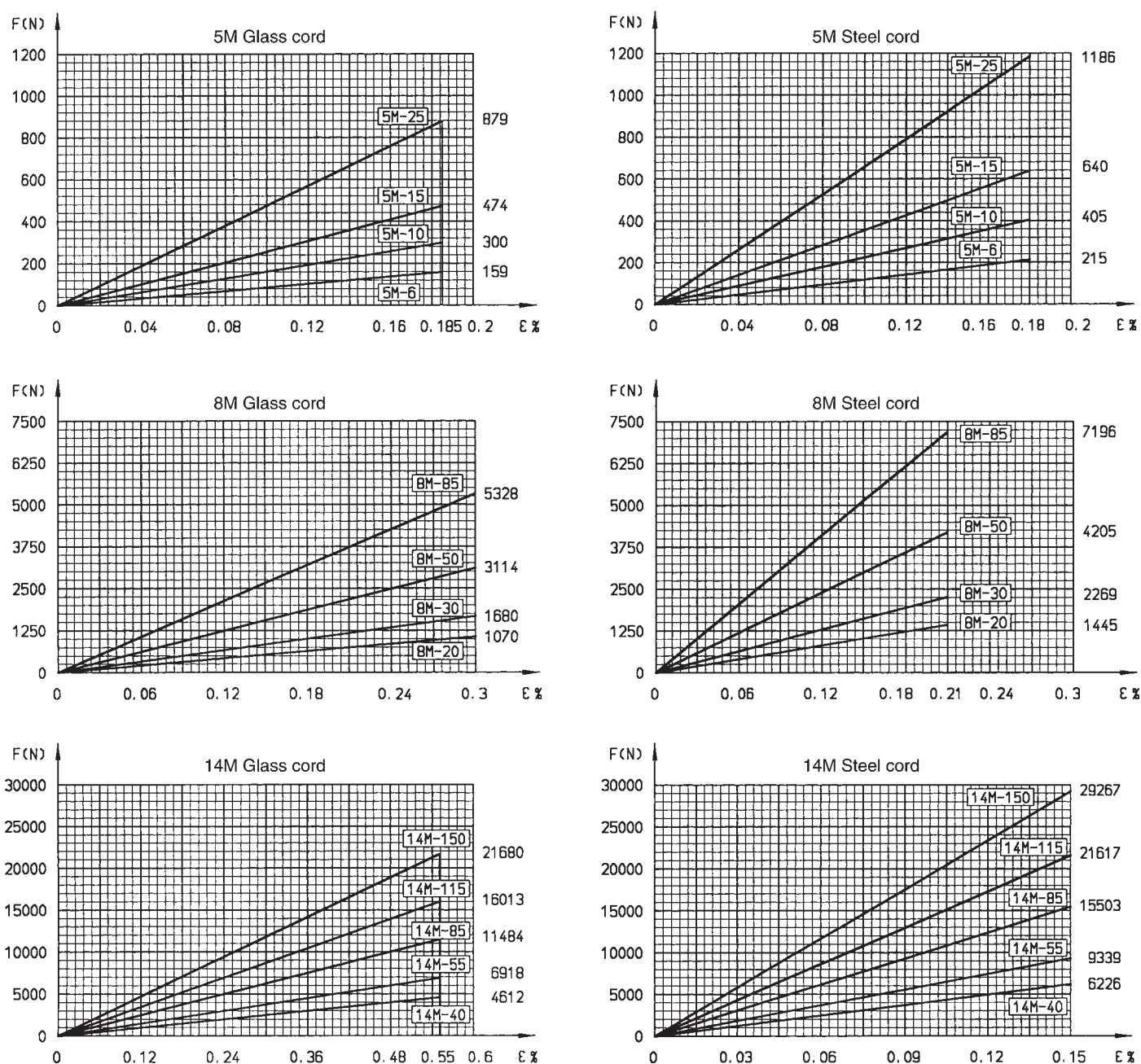


Chart 5: Elongation values for type HTD standard synchronous belts

Belt type	Width (mm)	Tensile force (N)	
		Glass cord	Steel cord
5M	6	86	122
	10	162	230
	15	256	363
	25	475	674
8M	10	165	317
	15	261	503
	20	358	690
	30	562	1083
14M	50	1042	2008
	25	531	2600
	40	843	4127
	55	1265	6190
	85	2100	10276

Table 7: Force/elongation values for type HTD standard synchronous belts at 0.1% elongation

Based on the force/elongation values given in Table 7 (at $\epsilon = 0.1\%$ elongation), the elongation values for other standard and intermediate can be interpolated in linear fashion.

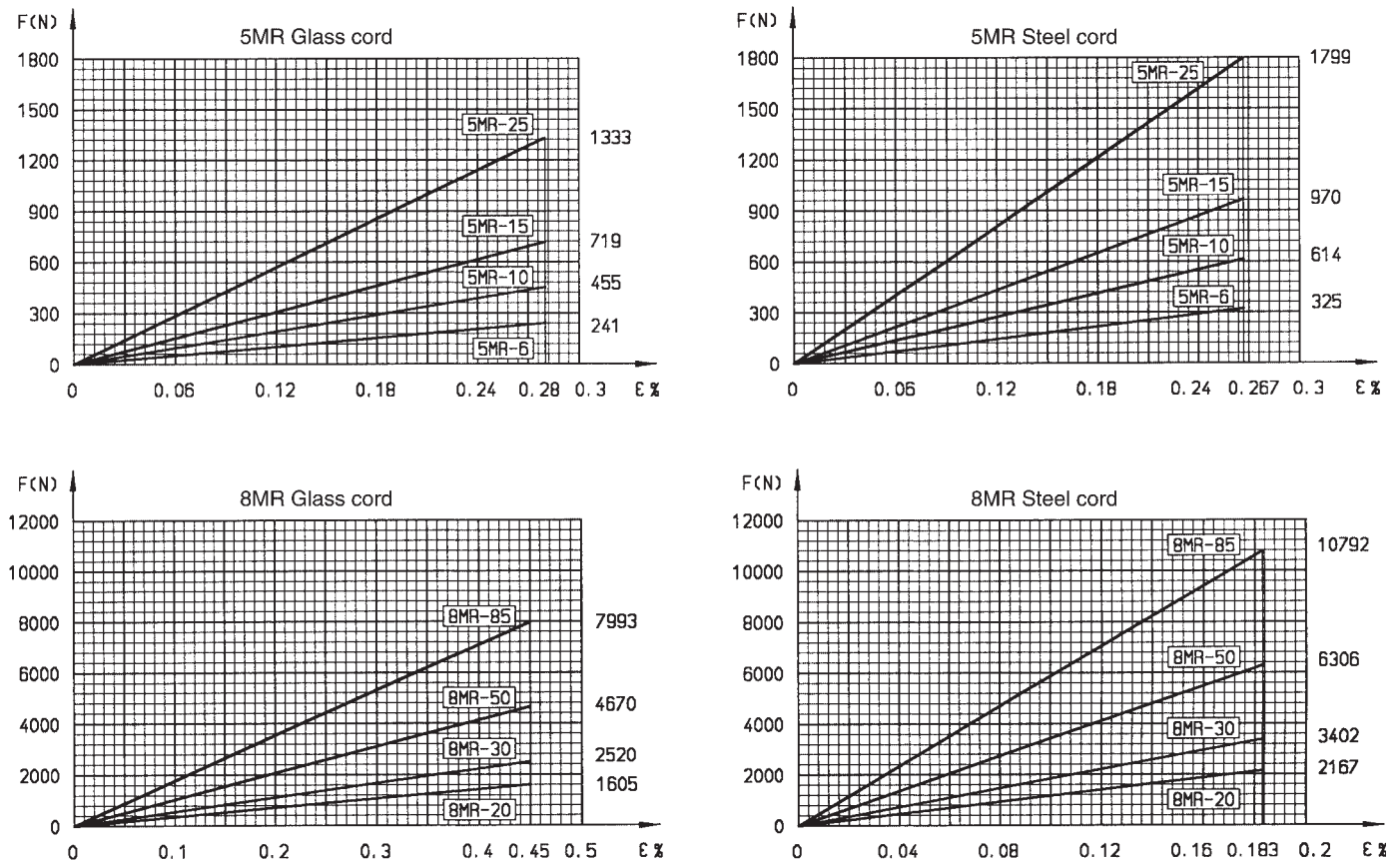


Chart 6: Elongation values for type MR standard synchronous belts

Belt type	Width (mm)	Tensile force (N)	
		Glass cord	Steel cord
5MR	6	86	122
	10	162	230
	15	256	363
	25	475	674
8MR	10	165	545
	15	261	865
	20	358	1185
	30	562	1860
	50	1042	3448

Table 8: Force/elongation values for type MR standard synchronous belts at 0.1% elongation

Based on the force/elongation values given in Table 8 (at $\epsilon = 0.1\%$ elongation), the elongation values for other standard and intermediate values can be interpolated in linear fashion.

d) Sprocket dimensions

XL Sprocket diameter

z	d _w mm	d _a mm	z	d _w mm	d _a mm
10	16.17	15.66	86	139.06	138.55
11	17.79	17.28	87	140.68	140.17
12	19.40	18.89	88	142.30	141.79
13	21.02	20.51	89	143.91	143.40
14	22.64	22.13	90	145.53	145.02
15	24.26	23.75	91	147.15	146.64
16	25.87	25.36	92	148.77	148.26
17	27.49	26.98	93	150.38	149.87
18	29.11	28.60	94	152.00	151.49
19	30.72	30.21	95	153.62	153.11
20	32.34	31.83	96	155.29	154.72
21	33.96	33.45	97	156.85	156.34
22	35.57	35.06	98	158.47	157.96
23	37.19	36.68	99	160.08	159.57
24	38.81	38.30	100	161.70	161.19
25	40.43	39.92	101	163.32	162.81
26	42.04	41.53	102	164.94	164.43
27	43.67	43.16	103	166.55	166.04
28	45.28	44.77	104	168.17	167.66
29	46.89	46.38	105	169.79	169.28
30	48.51	48.00	106	171.40	170.89
31	50.13	49.62	107	173.02	172.51
32	51.74	51.23	108	174.64	174.13
33	53.36	52.85	109	176.25	175.74
34	54.98	54.47	110	177.87	177.36
35	56.60	56.09	111	179.49	178.98
36	58.21	57.70	112	181.11	180.60
37	59.83	59.32	113	182.72	182.21
38	61.45	60.94	114	184.34	183.83
39	63.06	62.55	115	185.96	185.45
40	64.68	64.17	116	187.57	187.06
41	66.30	65.79	117	189.19	188.68
42	67.91	67.40	118	190.81	190.30
43	69.53	69.02	119	192.42	191.91
44	71.15	70.64	120	194.04	193.53
45	72.77	72.26	Belt width		Recommended sprocket width
46	74.38	73.87			
47	76.00	75.49	1/4" 3/8" 1/2"		8.9 mm 14.3 mm 19.0 mm
48	77.62	77.11			
49	79.23	78.72			
50	80.85	80.34			
51	82.47	81.96			
52	84.08	83.57			
53	85.70	85.19			
54	87.32	86.81			
55	88.94	88.43			
56	90.55	90.04			
57	92.17	91.66			
58	93.79	93.28			
59	95.40	94.89			
60	97.02	96.51			
61	98.64	98.13			
62	100.25	99.74			
63	101.87	101.36			
64	103.49	102.98			
65	105.11	104.60			
66	106.72	106.21			
67	108.34	107.83			
68	109.96	109.45			
69	111.57	111.06			
70	113.19	112.68			
71	114.81	114.30			
72	116.43	115.92			
73	118.04	117.53			
74	119.66	119.15			
75	121.28	120.77			
76	122.89	122.38			
77	124.51	124.00			
78	126.13	125.62			
79	127.74	127.23			
80	129.36	128.85			
81	130.98	130.47			
82	132.60	132.09			
83	134.21	133.70			
84	135.83	135.32			
85	137.45	136.94			

L Sprocket diameter

z	d _w mm	d _a mm	z	d _w mm	d _a mm	
10	30.32	29.56	86	260.74	259.98	
11	33.35	32.59	87	263.78	263.02	
12	36.38	35.62	88	266.81	266.05	
13	39.41	38.65	89	269.84	269.08	
14	42.45	41.69	90	272.87	272.11	
15	45.48	44.72	91	275.90	275.14	
16	48.51	47.75	92	278.94	278.18	
17	51.54	50.78	93	281.97	281.21	
18	54.57	53.81	94	285.00	284.24	
19	57.61	56.85	95	288.03	287.27	
20	60.64	59.88	96	291.06	209.30	
21	63.67	62.91	97	294.09	293.33	
22	66.70	65.94	98	297.13	296.37	
23	69.73	68.97	99	300.16	299.40	
24	72.77	72.01	100	303.19	302.43	
25	75.80	75.04	101	306.22	305.46	
26	78.83	78.07	102	309.25	308.49	
27	81.86	81.10	103	312.29	311.53	
28	84.89	84.13	104	315.32	314.56	
29	87.93	87.17	105	318.35	317.59	
30	90.96	90.20	106	321.38	320.62	
31	93.99	93.23	107	324.41	323.65	
32	97.02	96.26	108	327.45	326.69	
33	100.05	99.29	109	330.48	329.72	
34	103.08	102.32	110	333.50	332.74	
35	106.12	105.35	111	336.54	335.78	
36	109.15	108.39	112	339.57	338.81	
37	112.18	111.42	113	342.61	341.85	
38	115.21	114.45	114	345.64	344.88	
39	118.24	117.48	115	348.67	347.91	
40	121.28	120.52	116	351.70	350.94	
41	124.31	123.55	117	354.73	353.97	
42	127.34	126.58	118	357.76	357.00	
43	130.37	129.61	119	360.80	360.04	
44	133.40	132.64	120	363.83	363.07	
45	136.44	135.68	130	394.15	393.39	
46	139.47	138.71	140	424.47	423.71	
47	142.50	141.74	150	454.79	454.03	
48	145.53	144.76	Belt width		Recommended sprocket width	
49	148.56	147.80				
50	151.60	150.84	3/8"		14.3 mm	
51	154.63	153.87				
52	157.66	156.90				
53	160.69	159.93	1/2"		17.0 mm	
54	163.72	162.96				
55	166.75	165.99	3/4"		25.0 mm	
56	169.79	169.03				
57	172.82	172.06				
58	175.85	175.09	Special tooth designs are available to satisfy more stringent requirements for positioning accuracy. Please contact our consulting service.			
59	178.88	178.12				
60	181.91	181.15				
61	184.95	184.19				
62	187.98	187.22				
63	191.01	190.25				
64	194.04	193.28				
65	197.07	196.31				
66	200.11	199.35				
67	203.14	202.38				
68	206.17	205.41				
69	209.20	208.44				
70	212.23	211.47				
71	215.27	214.51				
72	218.30	217.54				
73	221.33	220.57				
74	224.36	223.60				
75	227.39	226.63				
76	230.42	229.66				
77	233.46	232.70				
78	236.49	235.73				
79	239.52	238.76				
80	242.55	241.79				
81	245.58	244.82				
82	248.62	247.86				
83	251.65	250.89				
84	254.68	253.92				
85	257.12	256.95				

Special tooth designs are available to satisfy more stringent requirements for positioning accuracy. Please contact our consulting service.

Backing idler at least 1.5 times the smallest sprocket diameter

H Sprocket diameter

z	d _w mm	d _a mm	z	d _w mm	d _a mm
14	56.60	55.23	90	363.83	362.46
15	60.64	59.27	91	367.87	366.50
16	64.68	63.31	92	371.91	370.54
17	68.72	67.35	93	375.96	374.59
18	72.77	71.40	94	380.00	378.63
19	76.81	75.44	95	384.04	382.67
20	80.85	79.48	96	388.08	386.71
21	84.89	83.52	97	392.13	390.76
22	88.94	87.57	98	396.17	394.80
23	92.98	91.61	99	400.21	398.84
24	97.02	95.65	100	404.25	402.88
25	101.06	99.69	101	408.30	406.93
26	105.11	103.74	102	412.34	410.97
27	109.15	107.78	103	416.38	415.01
28	113.19	111.82	104	420.42	419.05
29	117.23	115.86	105	424.47	423.10
30	121.28	119.91	106	428.51	427.14
31	125.32	123.95	107	432.55	431.18
32	129.36	127.99	108	436.59	435.22
33	133.40	132.03	109	440.64	439.27
34	137.45	136.08	110	444.68	443.31
35	141.49	140.12	111	448.72	447.35
36	145.53	144.16	112	452.76	451.39
37	149.57	148.20	113	456.81	455.44
38	153.62	152.25	114	460.85	459.48
39	157.66	156.29	115	464.89	463.52
40	161.70	160.33	116	468.93	467.56
41	165.74	164.37	117	472.98	471.61
42	169.79	168.42	118	477.02	475.65
43	173.83	172.46	119	481.06	479.69
44	177.87	176.50	120	485.10	483.73
45	181.91	180.54	125	505.32	503.95
46	185.96	184.59	130	525.53	524.16
47	190.00	188.63	135	545.74	544.37
48	194.04	192.67	140	565.96	564.59
49	198.08	196.71	145	586.17	584.80
50	202.13	200.76	150	606.38	605.01
51	206.17	204.80	156	630.64	629.27
52	210.21	208.84	Belt width Recommended sprocket width		
53	214.25	212.88			
54	218.30	216.93			
55	222.34	220.97			
56	226.38	225.01	1/2" 3/4" 1" 17 mm 25 mm 32 mm		
57	230.42	229.05			
58	234.47	233.10			
59	238.51	237.14			
60	242.55	241.18			
61	246.59	245.22			
62	250.64	249.27			
63	254.68	253.31			
64	258.72	257.35			
65	262.77	261.40			
66	266.81	265.44			
67	270.85	269.48			
68	274.89	273.52			
69	278.94	277.57			
70	282.98	281.61			
71	287.02	285.65			
72	291.06	289.69			
73	295.11	293.74			
74	299.15	297.78			
75	303.19	301.82			
76	307.23	305.86			
77	311.28	309.91			
78	315.32	313.95			
79	319.36	317.99			
80	323.40	322.03			
81	327.45	326.08			
82	331.49	330.12			
83	335.53	334.16			
84	339.57	338.20			
85	343.62	342.25			
86	347.66	346.29			
87	351.70	350.33			
88	355.74	354.37			
89	359.79	358.42			

5M Sprocket diameter

z	d _w mm	d _a mm	z	d _w mm	d _a mm
14	22.28	21.14	90	143.24	142.10
15	23.87	22.73	91	144.83	143.69
16	25.46	24.32	92	146.42	145.28
17	27.06	25.91	93	148.01	146.87
18	28.65	27.50	94	149.61	148.46
19	30.24	29.10	95	151.20	150.05
20	31.83	30.69	96	152.79	151.65
21	33.42	32.28	97	154.38	153.24
22	35.01	33.87	98	155.97	154.83
23	36.61	35.46	99	157.56	156.42
24	38.20	37.05	100	159.15	158.01
25	39.79	38.65	101	160.75	159.60
26	41.38	40.24	102	162.34	161.20
27	42.97	41.83	103	163.93	162.79
28	44.56	43.42	104	165.52	164.38
29	46.15	45.01	105	167.11	165.97
30	47.75	46.60	106	168.70	167.56
31	49.34	48.20	107	170.30	169.15
32	50.93	49.79	108	171.89	170.74
33	52.52	51.38	109	173.48	172.34
34	54.11	52.97	110	175.07	173.93
35	55.70	54.56	111	176.66	175.52
36	57.30	56.15	112	178.25	177.11
37	58.89	57.74	113	179.85	178.70
38	60.48	59.34	114	181.44	180.29
39	62.07	60.93	115	183.03	181.89
40	63.66	62.52	116	184.62	183.48
41	65.25	64.11	117	186.21	185.07
42	66.85	65.70	118	187.80	186.66
43	68.44	67.29	119	189.39	188.25
44	70.03	68.89	120	190.99	189.84
45	71.62	70.48	121	192.58	191.43
46	73.21	72.07	122	194.17	193.03
47	74.80	73.66	123	195.76	194.62
48	76.39	75.25	124	197.35	196.21
49	77.99	75.84	125	198.94	197.80
50	79.58	78.43	126	200.54	199.39
51	81.17	80.03	127	202.13	200.98
52	82.76	81.62	128	203.72	202.58
53	84.35	83.21	129	205.31	204.17
54	85.94	84.80	130	206.90	205.76
55	87.54	86.39	131	208.49	207.35
56	89.13	87.98	132	210.08	208.94
57	90.72	89.58	133	211.68	210.53
58	92.31	91.17	134	213.27	212.12
59	93.90	92.76	135	214.86	213.72
60	95.49	94.35	136	216.45	215.31
61	97.08	95.94	137	218.04	216.90
62	98.68	97.53	138	219.63	218.49
63	100.27	99.12	139	221.23	220.08
64	101.86	100.72	140	222.82	221.67
65	103.45	102.31	141	224.41	223.27
66	105.04	103.90	142	226.00	224.86
67	106.63	105.49	143	227.59	226.45
68	108.23	107.08	144	229.18	228.04
69	109.82	108.67	145	230.77	229.63
70	111.41	110.27	146	232.37	231.22
71	113.00	111.86	147	233.96	232.81
72	114.59	113.45	148	235.55	234.41
73	116.18	115.04	149	237.14	236.00
74	117.77	116.63	150	238.73	237.59
75	119.37	118.22	Belt width Recommended sprocket width		
76	120.96	119.81			
77	122.55	121.41			
78	124.14	123.00			
79	125.73	124.59	6 mm	11 mm	
80	127.32	126.18	10 mm	16 mm	
81	128.92	127.77	15 mm	21 mm	
82	130.51	129.36	25 mm	31 mm	
83	132.10	130.96	Special tooth designs are available to satisfy more stringent requirements for positioning accuracy. Please contact our consulting service.		
84	133.69	132.55			
85	135.28	134.14			
86	136.87	135.73			
87	138.46	137.32			
88	140.06	138.91			
89	141.65	140.50			

Backing idler at least 1.5 times the smallest sprocket diameter

8M Sprocket diameter

z	d _w mm	d _a mm	z	d _w mm	d _a mm
22	56.02	54.65	113	287.75	286.38
23	58.57	57.20	114	290.30	288.93
24	61.12	59.75	115	292.85	291.47
25	63.66	62.29	116	295.39	294.02
26	66.21	64.84	117	297.94	296.57
27	68.75	67.38	118	300.48	299.11
28	71.30	70.08	119	303.03	301.66
29	73.85	72.62	120	305.58	304.21
30	76.39	75.13	121	308.12	306.75
31	78.94	77.65	122	310.67	309.30
32	81.49	80.16	123	313.22	311.85
33	84.03	82.68	124	315.76	314.39
34	86.58	85.22	125	318.31	316.94
35	89.13	87.78	126	320.86	319.48
36	91.67	90.30	127	323.41	322.03
37	94.22	92.85	128	325.95	324.58
38	96.77	95.39	129	328.50	327.12
39	99.31	97.94	130	331.04	329.67
40	101.86	100.49	131	333.59	332.22
41	104.41	103.03	132	336.14	334.76
42	106.95	105.58	133	338.68	337.31
43	109.50	108.13	134	341.23	339.86
44	112.05	110.67	135	343.77	342.40
45	114.59	113.22	136	346.32	344.95
46	117.14	115.77	137	348.87	347.50
47	119.68	118.31	138	351.41	350.04
48	122.23	120.86	139	353.96	352.59
49	124.78	123.41	140	356.51	355.14
50	127.32	125.95	141	359.05	357.68
51	129.87	128.50	142	361.60	360.23
52	132.42	131.05	143	364.15	362.77
53	134.96	133.59	144	366.69	365.32
54	137.51	136.14	145	369.24	367.87
55	140.06	138.68	146	371.79	370.41
56	142.60	141.23	147	374.33	372.96
57	145.15	143.78	148	376.88	375.51
58	147.70	146.32	149	379.43	378.05
59	150.24	148.87	150	381.97	380.60
60	152.79	151.42	151	384.52	383.15
61	155.34	153.96	152	387.06	385.70
62	157.88	156.51	153	389.61	388.24
63	160.43	159.06	154	392.16	390.79
64	162.97	161.60	155	394.70	393.33
65	165.52	164.15	156	397.25	395.88
66	168.07	166.70	157	399.80	398.43
67	170.61	169.24	158	402.34	400.97
68	173.16	171.79	159	404.89	403.52
69	175.71	174.34	160	407.44	406.07
70	178.25	176.88	161	409.98	408.61
71	180.80	179.43	162	412.53	411.16
72	183.35	181.97	163	415.08	413.70
73	185.89	184.52	164	417.62	416.25
74	188.44	187.07	165	420.17	418.80
75	190.99	189.61	166	422.72	421.34
76	193.53	192.16	167	425.26	423.89
77	196.08	194.71	168	427.81	426.44
78	198.63	197.25	169	430.35	428.98
79	201.17	199.81	170	432.90	431.53
80	203.72	202.35	171	435.45	434.08
81	206.26	204.89	172	437.99	436.62
82	208.81	207.44	173	440.54	439.17
83	211.36	209.99	174	443.09	441.72
84	213.90	212.53	175	445.63	444.26
85	216.45	215.08	176	448.18	446.81
86	219.00	217.63	177	450.73	449.36
87	221.54	220.17	178	453.27	451.90
88	224.09	222.72	179	455.82	454.45
89	226.63	225.26	180	458.37	456.99
90	229.18	227.81	181	460.91	459.54
91	231.73	230.36	182	463.46	462.09
92	234.28	232.90	183	466.01	464.63
93	236.82	235.45	184	468.55	467.18
94	239.37	238.00	185	471.10	469.73
95	241.92	240.54	186	473.65	472.27
96	244.46	243.09	187	476.19	474.82
97	247.01	245.64	188	478.74	477.37
98	249.55	248.18	189	481.28	479.91
99	252.10	250.73	190	483.83	482.46
100	254.65	253.28	191	486.38	485.01
101	257.19	255.82	192	488.92	487.55
102	259.74	258.37	Belt width		Recommended sprocket width
103	262.29	260.92			
104	264.83	263.46	10 mm	18 mm	
105	267.38	266.01	15 mm	23 mm	
106	269.93	268.56	20 mm	28 mm	
107	272.47	271.10	30 mm	38 mm	
108	275.02	273.65	50 mm	60 mm	
109	277.57	276.19			
110	280.11	278.74			
111	282.66	281.29			
112	285.21	283.83			

14M Sprocket diameter

z	d _w mm	d _a mm	z	d _w mm	d _a mm
28	124.78	122.12	119	530.30	527.51
29	129.23	126.37	120	534.76	531.97
30	133.69	130.99	121	539.22	536.42
31	138.15	135.46	122	543.67	540.88
32	142.60	139.88	123	548.13	545.34
33	147.06	144.35	124	552.59	549.79
34	151.51	148.79	125	557.04	554.25
35	155.98	153.24	126	561.50	558.70
36	160.43	157.68	127	565.95	563.16
37	164.88	162.13	128	570.41	567.62
38	169.34	166.60	129	574.87	572.07
39	173.80	171.02	130	579.32	576.53
40	178.25	175.49	131	583.78	580.99
41	182.71	179.92	132	588.24	585.44
42	187.17	184.37	133	592.69	589.90
43	191.62	188.83	134	597.15	594.35
44	196.08	193.28	135	601.61	598.81
45	200.53	197.74	136	606.06	603.27
46	204.99	202.30	137	610.52	607.72
47	209.15	206.65	138	614.97	612.18
48	213.90	211.11	139	619.43	616.64
49	218.36	215.57	140	623.89	621.09
50	222.82	220.02	141	628.34	625.55
51	227.27	224.48	142	632.80	630.01
52	231.73	228.94	143	637.26	634.46
53	236.19	233.39	144	641.71	638.92
54	240.61	237.85	145	646.17	643.37
55	245.10	242.30	146	650.63	647.83
56	249.55	246.76	147	655.08	652.29
57	254.01	251.92	148	659.54	656.74
58	258.47	255.67	149	663.99	661.20
59	262.92	260.13	150	668.45	665.66
60	267.38	264.59	151	672.91	670.11
61	271.84	269.04	152	677.36	674.57
62	276.29	273.50	153	681.82	679.03
63	280.75	277.95	154	686.28	683.48
64	285.21	282.41	155	690.73	687.94
65	289.66	286.87	156	695.19	692.39
66	294.12	291.32	157	699.64	696.85
67	298.57	295.78	158	704.10	701.31
68	303.03	300.24	159	708.56	705.76
69	307.49	304.69	160	713.01	710.22
70	311.94	309.15	161	717.47	714.68
71	316.40	313.61	162	721.93	719.13
72	320.86	318.06	163	726.38	723.59
73	325.31	322.52	164	730.84	728.05
74	329.77	326.97	165	735.30	732.50
75	334.22	331.43	166	739.75	736.96
76	338.68	335.89	167	744.21	741.41
77	343.14	340.34	168	748.66	745.87
78	347.59	344.80	169	753.12	750.33
79	352.05	349.26	170	757.58	754.78
80	356.51	353.71	171	762.03	759.24
81	360.96	358.17	172	766.49	763.70
82	365.42	362.63	173	770.95	768.15
83	369.88	367.08	174	775.40	772.61
84	374.33	371.54	175	779.86	777.06
85	378.79	375.99	176	784.32	781.52
86	383.24	380.45	177	788.77	785.98
87	387.70	384.91	178	793.23	790.43
88	392.16	389.36	179	797.68	794.89
89	396.61	393.82	180	802.14	799.35
90	401.07	398.28	181	806.60	803.80
91	405.53	402.73	182	811.05	808.26
92	409.98	407.19	183	815.51	812.72
93	414.44	411.64	184	819.97	817.17
94	418.90	416.10	185	824.42	821.63
95	423.35	420.56	186	828.88	826.08
96	427.81	425.01	187	833.33	830.54
97	432.26	429.47	188	837.79	835.00
98	436.72	433.93	189	842.25	839.45
99	441.18	438.38	190	846.70	843.91
100	445.63	442.84	191	851.16	848.37
101	450.09	447.30	192	855.62	852.82
102	454.55	451.75	Belt width		Recommended sprocket width
103	459.00	456.21			
104	463.46	460.66	25 mm	40 mm	
105	467.92	465.12	40 mm	54 mm	
106	472.37	469.58	55 mm	70 mm	
107	476.83	474.03	85 mm	102 mm	
108	481.28	478.49	Special tooth designs are available to satisfy more stringent requirements for positioning accuracy. Please contact our consulting service.		
109	485.74	482.95			
110	490.20	487.40			
111	494.65	491.86			
112	499.11	496.32			
113	503.57	500.77			
114	508.02	505.23			
115	512.48	509.68			
116	516.93	514.14			
117	521.39	518.60			
118	525.85	523.05			

Backing idler at least 1.5 times the smallest sprocket diameter

5MR Sprocket diameter

z	d _w mm	d _a mm	z	d _w mm	d _a mm
14	22.28	21.14	90	143.24	142.10
15	23.87	22.73	91	144.83	143.69
16	25.46	24.32	92	146.42	145.28
17	27.06	25.91	93	148.01	146.87
18	28.65	27.50	94	149.61	148.46
19	30.24	29.10	95	151.20	150.05
20	31.83	30.69	96	152.79	151.65
21	33.42	32.28	97	154.38	153.24
22	35.01	33.87	98	155.97	154.83
23	36.61	35.46	99	157.56	156.42
24	38.20	37.05	100	159.15	158.01
25	39.79	38.65	101	160.75	159.60
26	41.38	40.24	102	162.34	161.20
27	42.97	41.83	103	163.93	162.79
28	44.56	43.42	104	165.52	164.38
29	46.15	45.01	105	167.11	165.97
30	47.75	46.60	106	168.70	167.56
31	49.34	48.20	107	170.30	169.15
32	50.93	49.79	108	171.89	170.74
33	52.52	51.38	109	173.48	172.34
34	54.11	52.97	110	175.07	173.93
35	55.70	54.56	111	176.66	175.52
36	57.30	56.15	112	178.25	177.11
37	58.89	57.74	113	179.85	178.70
38	60.48	59.34	114	181.44	180.29
39	62.07	60.93	115	183.03	181.89
40	63.66	62.52	116	184.62	183.48
41	65.25	64.11	117	186.21	185.07
42	66.85	65.70	118	187.80	186.66
43	68.44	67.29	119	189.39	188.25
44	70.03	68.89	120	190.99	189.84
45	71.62	70.48	121	192.58	191.43
46	73.21	72.07	122	194.17	193.03
47	74.80	73.66	123	195.76	194.62
48	76.39	75.25	124	197.35	196.21
49	77.99	76.84	125	198.94	197.80
50	79.58	78.43	126	200.54	199.39
51	81.17	80.03	127	202.13	200.98
52	82.76	81.62	128	203.72	202.58
53	84.35	83.21	129	205.31	204.17
54	85.94	84.80	130	206.90	205.76
55	87.54	86.39	131	208.49	207.35
56	89.13	87.98	132	210.08	208.94
57	90.72	89.58	133	211.68	210.53
58	92.31	91.17	134	213.27	212.12
59	93.90	92.76	135	214.86	213.72
60	95.49	94.35	136	216.45	215.31
61	97.08	95.94	137	218.04	216.90
62	98.68	97.53	138	219.63	218.49
63	100.27	99.12	139	221.23	220.08
64	101.86	100.72	140	222.82	221.67
65	103.45	102.31	141	224.41	223.27
66	105.04	103.90	142	226.00	224.86
67	106.63	105.49	143	227.59	226.45
68	108.23	107.08	144	229.18	228.04
69	109.82	108.67	145	230.77	229.63
70	111.41	110.27	146	232.37	231.22
71	113.00	111.86	147	233.96	232.81
72	114.59	113.45	148	235.55	234.41
73	116.18	115.04	149	237.14	236.00
74	117.77	116.63	150	238.73	237.59
75	119.37	118.22	Belt width Recommended sprocket width 6 mm11 mm 10 mm16 mm 15 mm21 mm 25 mm30 mm		
76	120.96	119.81			
77	122.55	121.41			
78	124.14	123.00			
79	125.73	124.59			
80	127.32	126.18	Special tooth designs are available to satisfy more stringent requirements for positioning accuracy. Please contact our consulting service.		
81	128.92	127.77			
82	130.51	129.36			
83	132.10	130.96			
84	133.69	132.55			
85	135.28	134.14			
86	136.87	135.73			
87	138.46	137.32			
88	140.06	138.91			
89	141.65	140.50			

8MR Sprocket diameter

z	d _w mm	d _a mm	z	d _w mm	d _a mm
22	56.02	54.42	113	287.75	286.15
23	58.57	56.97	114	290.30	288.70
24	61.12	59.52	115	292.85	291.24
25	63.66	62.06	116	295.39	293.79
26	66.21	64.61	117	297.94	296.34
27	68.75	67.15	118	300.48	298.88
28	71.30	69.70	119	303.03	301.43
29	73.85	72.25	120	305.58	303.98
30	76.39	74.79	121	308.12	306.52
31	78.94	77.34	122	310.67	309.07
32	81.49	79.89	123	313.22	311.62
33	84.03	82.43	124	315.76	314.16
34	86.58	84.98	125	318.31	316.71
35	89.13	87.53	126	320.86	319.26
36	91.67	90.07	127	323.40	321.80
37	94.22	92.62	128	325.95	324.35
38	96.77	95.17	129	328.50	326.90
39	99.31	97.71	130	331.04	329.44
40	101.86	100.26	131	333.59	331.99
41	104.41	102.81	132	336.14	334.54
42	106.95	105.35	133	338.68	337.08
43	109.50	107.90	134	341.23	339.63
44	112.05	110.44	135	343.77	342.17
45	114.59	112.99	136	346.32	344.72
46	117.14	115.54	137	348.87	347.27
47	119.68	118.08	138	351.41	349.81
48	122.23	120.63	139	353.96	352.36
49	124.79	123.18	140	356.51	354.91
50	127.32	125.72	141	359.05	357.45
51	129.87	128.27	142	361.60	360.00
52	132.42	130.82	143	364.15	362.25
53	134.96	133.36	144	366.69	365.09
54	137.51	135.91	145	369.24	367.64
55	140.06	138.46	146	371.79	370.19
56	142.60	141.00	147	374.33	372.73
57	145.15	143.55	148	376.88	375.28
58	147.70	146.10	149	379.43	377.83
59	150.24	148.64	150	381.97	380.37
60	152.79	151.19	151	384.52	382.92
61	155.34	153.74	152	387.06	385.46
62	157.88	156.28	153	389.61	388.01
63	160.43	158.83	154	392.16	390.56
64	162.97	161.37	155	394.70	393.10
65	165.52	163.92	156	397.25	395.65
66	168.07	166.47	157	399.80	398.20
67	170.61	169.01	158	402.34	400.74
68	173.16	171.56	159	404.89	403.29
69	175.71	174.11	160	407.44	405.84
70	178.25	176.65	161	409.98	408.38
71	180.80	179.20	162	412.53	410.93
72	183.35	181.75	163	415.08	413.48
73	185.89	184.29	164	417.62	416.02
74	188.44	186.84	165	420.17	418.57
75	190.99	189.39	166	422.72	421.12
76	193.53	191.93	167	425.26	423.66
77	196.08	194.48	168	427.81	426.21
78	198.63	197.03	169	430.35	428.75
79	201.17	199.57	170	432.90	431.30
80	203.72	202.12	171	435.45	433.85
81	206.26	204.66	172	437.99	436.39
82	208.81	207.21	173	440.54	438.94
83	211.36	209.76	174	443.09	441.49
84	213.90	212.30	175	445.63	444.03
85	216.45	214.85	176	448.18	446.58
86	219.00	217.40	177	450.73	449.13
87	221.54	219.94	178	453.27	451.67
88	224.09	222.49	179	455.82	454.22
89	226.64	225.04	180	458.37	456.77
90	229.18	227.58	181	460.91	459.31
91	231.73	230.13	182	463.46	461.86
92	234.28	232.68	183	466.01	464.41
93	236.82	235.22	184	468.55	466.95
94	239.37	237.77	185	471.10	469.50
95	241.92	240.32	186	473.65	472.04
96	244.46	242.86	187	476.19	474.59
97	247.01	245.41	188	478.74	477.14
98	249.55	247.95	189	481.28	479.68
99	252.10	250.50	190	483.83	482.23
100	254.65	253.05	191	486.38	484.78
101	257.19	255.59	192	488.92	487.32
102	259.74	258.14	Belt width Recommended sprocket width 10 mm18 mm 15 mm23 mm 20 mm28 mm 30 mm38 mm 50 mm60 mm		
103	262.29	260.69			
104	264.83	263.23			
105	267.38	265.78			
106	269.93	268.33			
107	272.47	270.87			
108	275.02	273.42			
109	277.57	275.97			
110	280.11	278.51			
111	282.66	281.06			
112	285.21	283.61			

Backing idler at least 1.5 times the smallest sprocket diameter

Note: The specifications given in this catalog are without warranty.
Subject to technical modification without prior notice; errors and omissions excepted.



WALTHER FLENDER GMBH
P.O. Box 130280
D-40552 Düsseldorf
GERMANY
Phone: +49 (0)2 11 / 70 07 - 00
Fax: +49 (0)2 11 / 70 07 - 227
E-Mail: info@walther-flender.de
Internet: www.walther-flender.de



4 BIT SYNCHRONOUS UP/DOWN COUNTERS

- **HIGH SPEED**
 $f_{MAX} = 48 \text{ MHz (TYP.) AT } V_{CC} = 5 \text{ V}$
- **LOW POWER DISSIPATION**
 $I_{CC} = 4 \mu\text{A (MAX.) AT } T_A = 25^\circ\text{C}$
- **HIGH NOISE IMMUNITY**
 $V_{NIH} = V_{NIL} = 28 \% V_{CC} \text{ (MIN.)}$
- **OUTPUT DRIVE CAPABILITY**
10 LSTTL LOADS
- **SYMMETRICAL OUTPUT IMPEDANCE**
 $|I_{OH}| = I_{OL} = 4 \text{ mA (MIN.)}$
- **BALANCED PROPAGATION DELAYS**
 $t_{PLH} = t_{PHL}$
- **WIDE OPERATING VOLTAGE RANGE**
 $V_{CC} \text{ (OPR)} = 2 \text{ V TO } 6 \text{ V}$
- **PIN AND FUNCTION COMPATIBLE**
WITH 54/74LS190/191

DESCRIPTION

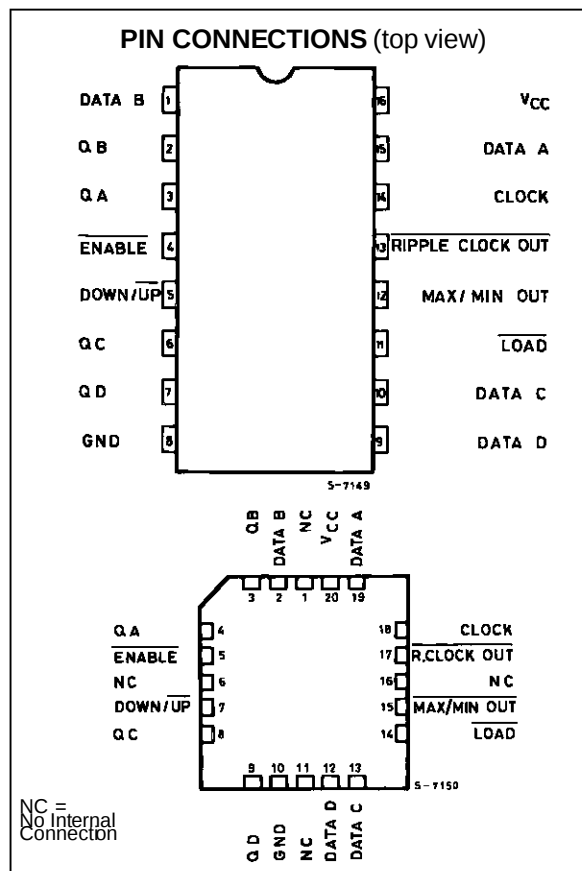
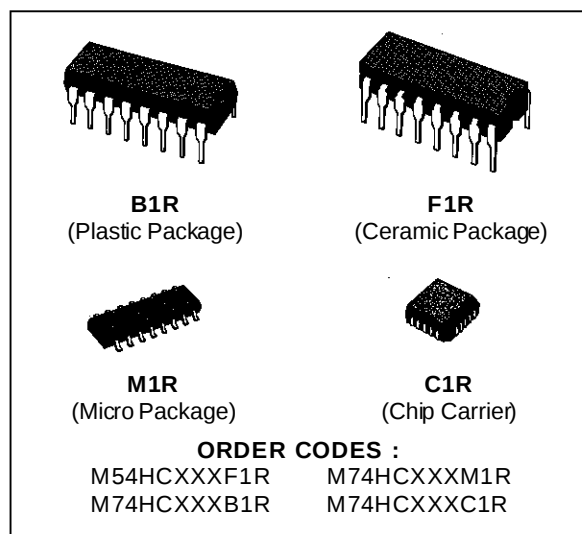
The M54/74HC190/191 are high speed CMOS 4-BIT SYNCHRONOUS UP/DOWN COUNTERS fabricated in silicon gate C²MOS technology.

They have the same high speed performance of LSTTL combined with true CMOS low power consumption.

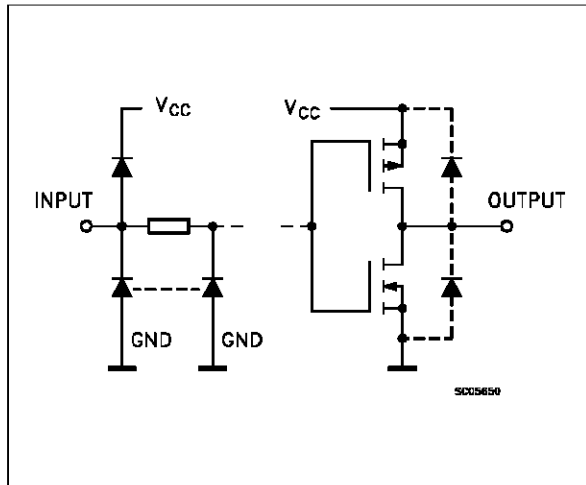
State changes of the counter are synchronous with the LOW-to-HIGH transition of the Clock Pulse input.

An asynchronous parallel load input overrides counting and loads the data present on the DATA inputs into the flip-flops, which makes it possible to use the circuits as programmable counters. A countenable input serves as the carry/borrow input in multi-stage counters. Control input, Down/Up, determines whether a circuit counts up or down. A MAX/MIN output and a Ripple Clock output provide overflow/underflow indication and make possible a variety of methods for generating carry/borrow signals in multi-stage counter applications.

All inputs are equipped with protection circuits against static discharge and transient excess voltage.



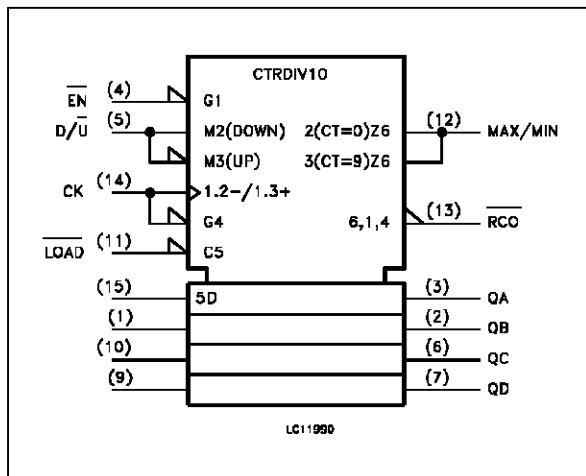
INPUT AND OUTPUT EQUIVALENT CIRCUIT



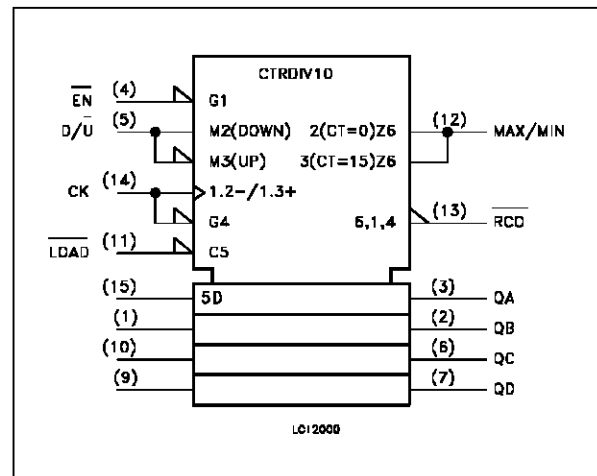
PIN DESCRIPTION

PIN No	SYMBOL	NAME AND FUNCTION
3, 2, 6, 7	QA to QD	Flip-Flop Outputs
4	$\overline{\text{ENABLE}}$	Count Enable Input (Active LOW)
5	$\overline{\text{U/D}}$	Parallel Data Input
11	LOAD	Load Input (Active LOW)
12	MA/MI OUT	Terminal Count Output
13	$\overline{\text{RC}}$	Ripple Clock Output (Active LOW)
14	CLOCK	Clock Input (LOW to HIGH, Edge-triggered)
15, 1, 10, 9	DA to DD	Data Inputs
8	GND	Ground (0V)
16	Vcc	Positive Supply Voltage

IEC LOGIC SYMBOL (HC190)



IEC LOGIC SYMBOL (HC191)



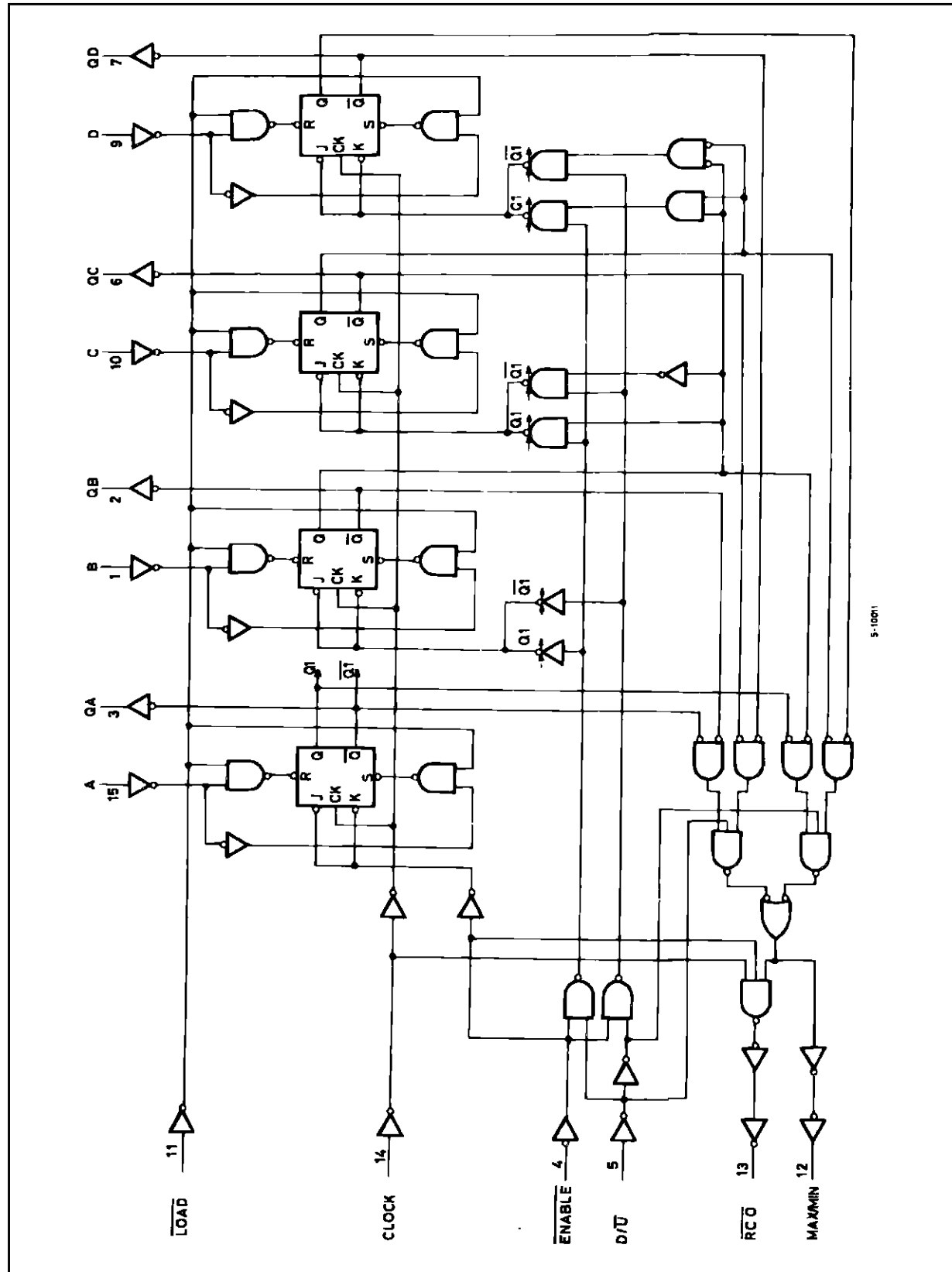
TRUTH TABLE

INPUTS				OUTPUTS				FUNCTION
LOAD	ENABLE	D/U	CLOCK	QA	QB	QC	QD	
L	X	X	X	a	b	c	d	PRESET DATA
H	L	L	$\downarrow$	UP COUNT				UP COUNT
H	L	H	$\downarrow$	DOWN COUNT				DOWN COUNT
H	H	X	$\downarrow$	NO CHANGE				NO COUNT
H	X	X	$\downarrow$	NO CHANGE				NO COUNT

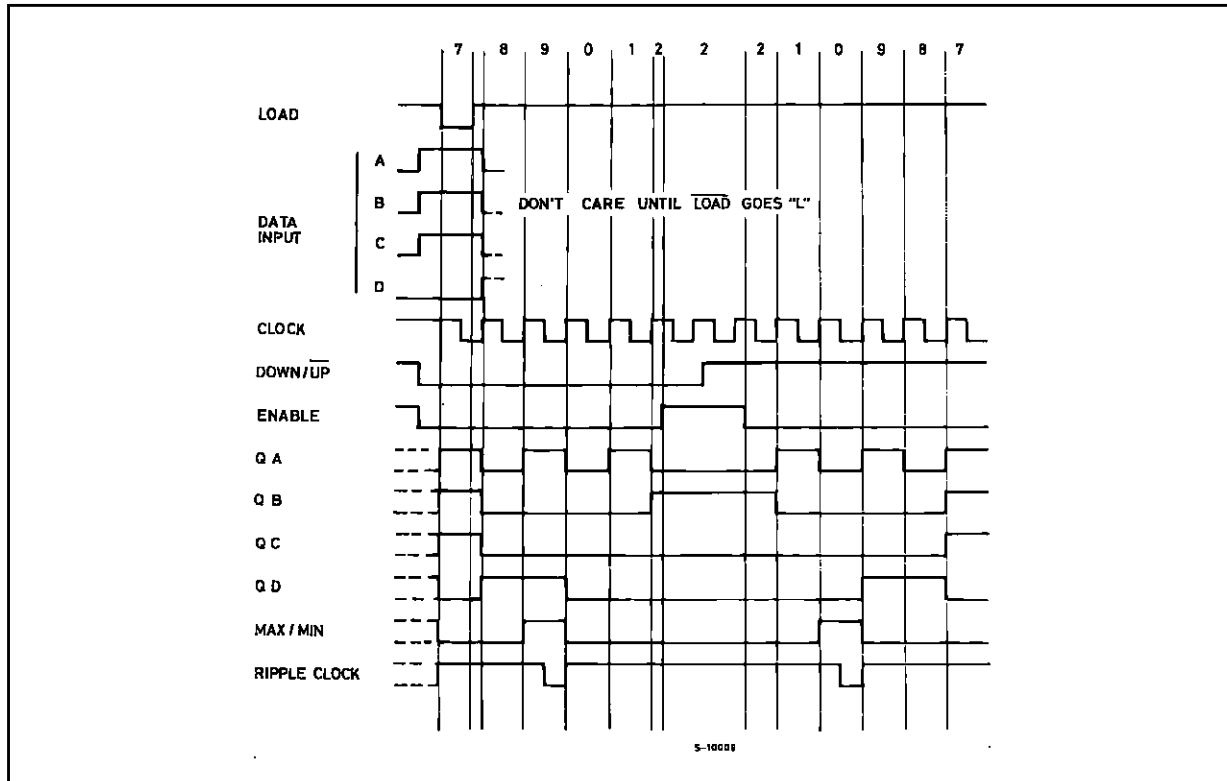
X: Don't Care

a - d: The level of steady state inputs at inputs a through d respectively

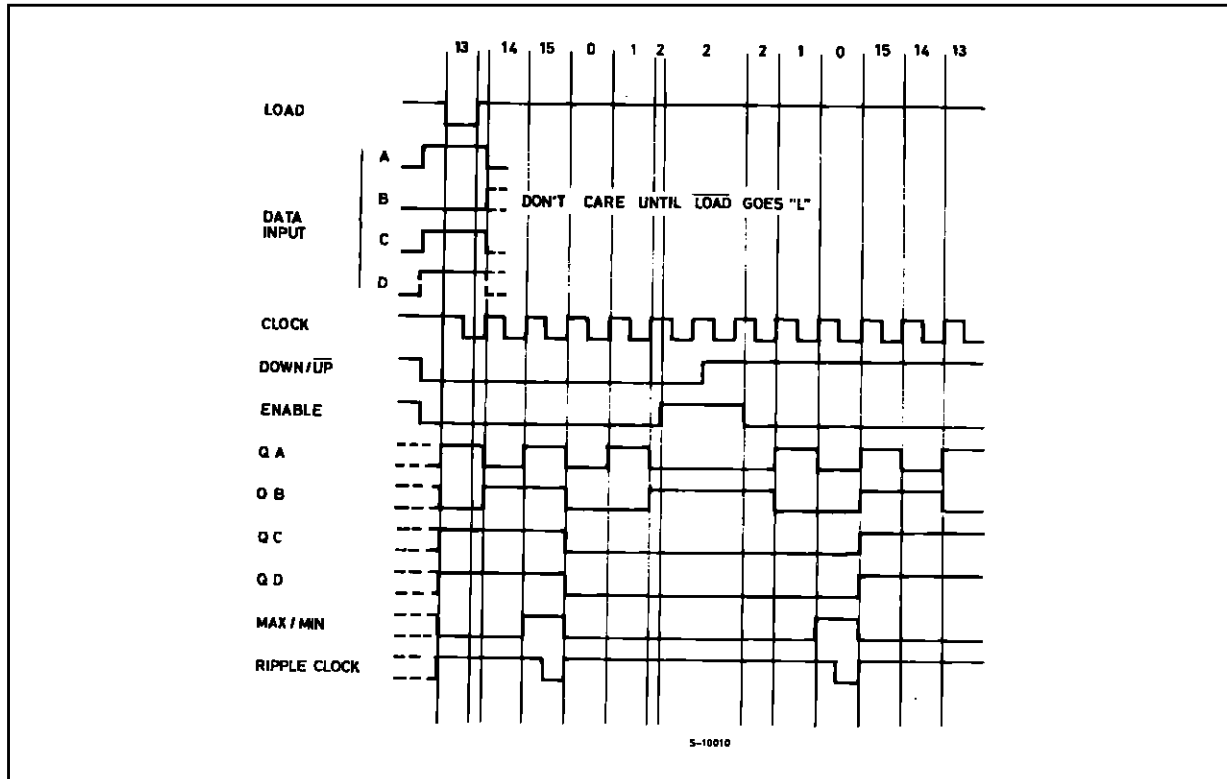
LOGIC DIAGRAM (HC191)



TIMING CHART (HC190)



TIMING CHART (HC191)



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V _{CC}	Supply Voltage	-0.5 to +7	V
V _I	DC Input Voltage	-0.5 to V _{CC} + 0.5	V
V _O	DC Output Voltage	-0.5 to V _{CC} + 0.5	V
I _{IK}	DC Input Diode Current	± 20	mA
I _{OK}	DC Output Diode Current	± 20	mA
I _O	DC Output Source Sink Current Per Output Pin	± 25	mA
I _{CC} or I _{GND}	DC V _{CC} or Ground Current	± 50	mA
P _D	Power Dissipation	500 (*)	mW
T _{stg}	Storage Temperature	-65 to +150	°C
T _L	Lead Temperature (10 sec)	300	°C

Absolute Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur. Functional operation under these condition is not implied.

(*) 500 mW: ≡ 65 °C derate to 300 mW by 10mW/°C: 65 °C to 85 °C

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

Symbol	Parameter		Value	Unit
V _{CC}	Supply Voltage		2 to 6	V
V _I	Input Voltage		0 to V _{CC}	V
V _O	Output Voltage		0 to V _{CC}	V
T _{op}	Operating Temperature: M54HC Series M74HC Series		-55 to +125 -40 to +85	°C °C
t _r , t _f	Input Rise and Fall Time	V _{CC} = 2 V	0 to 1000	ns
		V _{CC} = 4.5 V	0 to 500	
		V _{CC} = 6 V	0 to 400	

DC SPECIFICATIONS

Symbol	Parameter	Test Conditions		Value								Unit
		V _{CC} (V)		T _A = 25 °C 54HC and 74HC			-40 to 85 °C 74HC		-55 to 125 °C 54HC			
				Min.	Typ.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.		
V _{IH}	High Level Input Voltage	2.0		1.5			1.5		1.5		V	
		4.5		3.15			3.15		3.15			
		6.0		4.2			4.2		4.2			
V _{IL}	Low Level Input Voltage	2.0				0.5		0.5		0.5	V	
		4.5				1.35		1.35		1.35		
		6.0				1.8		1.8		1.8		
V _{OH}	High Level Output Voltage	2.0	V _I = V _{IH} or V _{IL}	I _O =-20 μA	1.9	2.0		1.9		1.9		V
		4.5			4.4	4.5		4.4		4.4		
		6.0			5.9	6.0		5.9		5.9		
		4.5		I _O =-4.0 mA	4.18	4.31		4.13		4.10		
		6.0		I _O =-5.2 mA	5.68	5.8		5.63		5.60		
V _{OL}	Low Level Output Voltage	2.0	V _I = V _{IH} or V _{IL}	I _O = 20 μA		0.0	0.1		0.1		0.1	V
		4.5				0.0	0.1		0.1		0.1	
		6.0				0.0	0.1		0.1		0.1	
		4.5		I _O = 4.0 mA		0.17	0.26		0.33		0.40	
		6.0		I _O = 5.2 mA		0.18	0.26		0.33		0.40	
I _I	Input Leakage Current	6.0	V _I = V _{CC} or GND			±0.1		±1		±1	μA	
I _{CC}	Quiescent Supply Current	6.0	V _I = V _{CC} or GND			4		40		80	μA	

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (C_L = 50 pF, Input t_r = t_f = 6 ns)

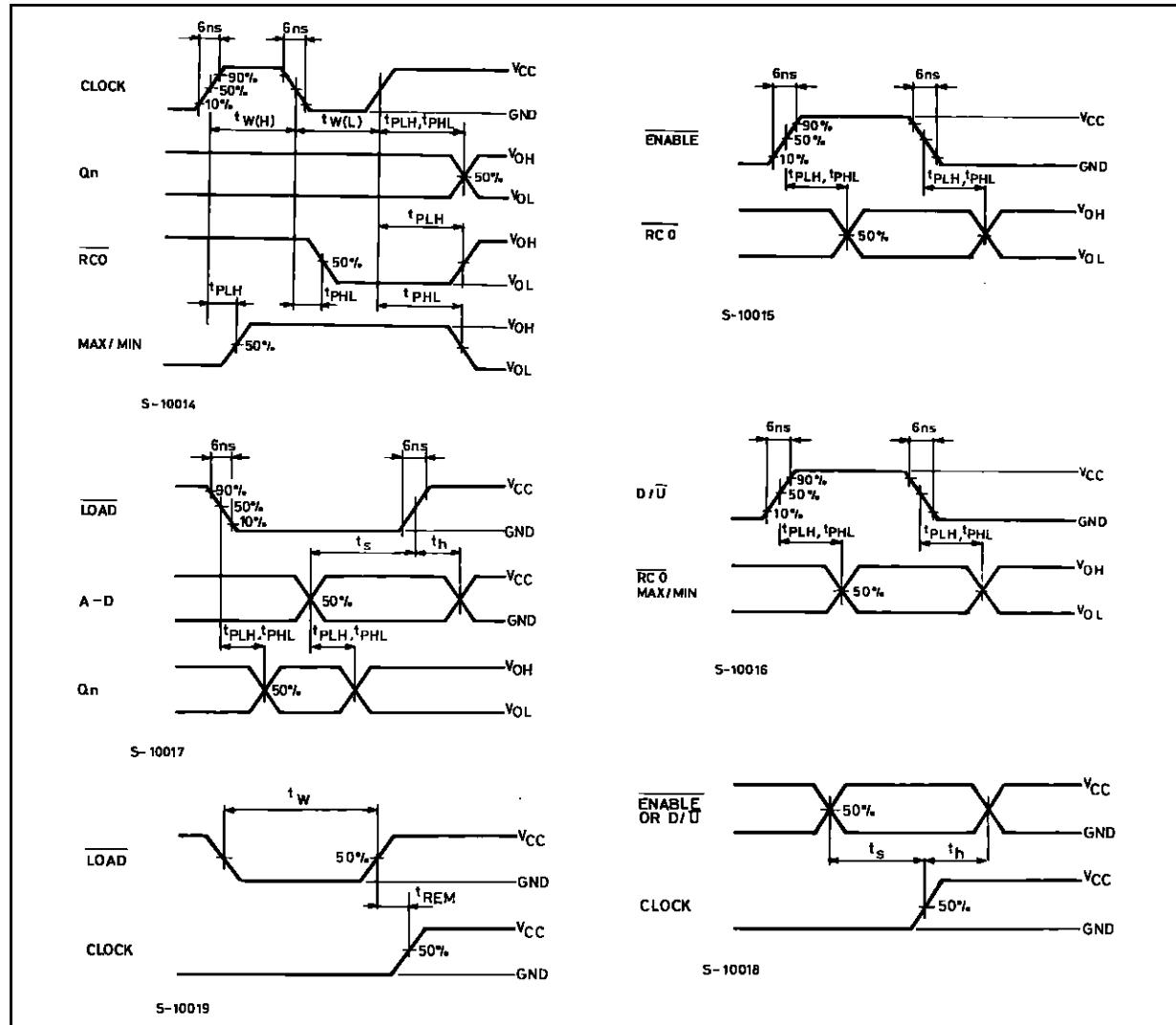
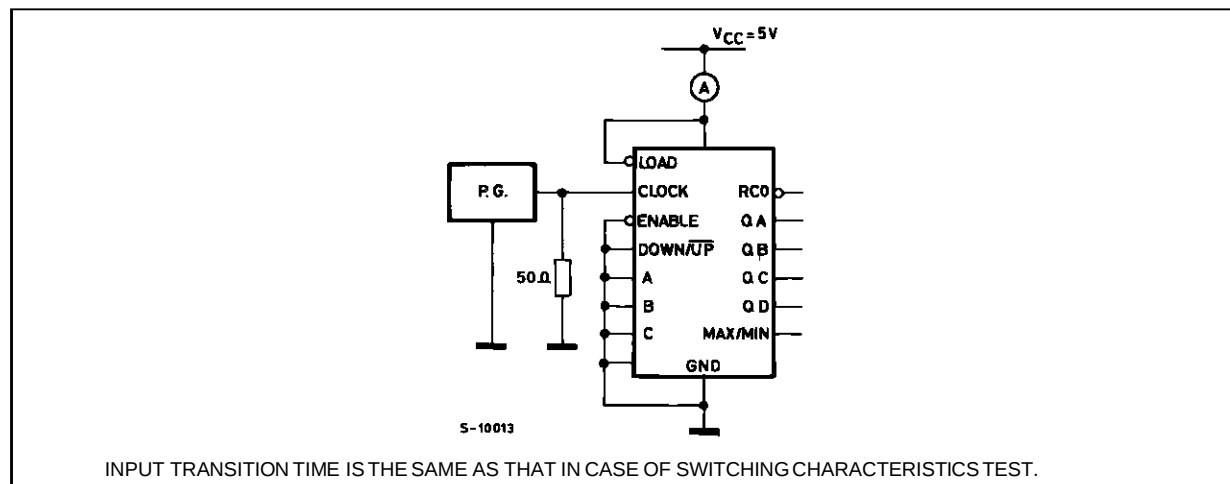
Symbol	Parameter	Test Conditions		Value						Unit	
		V _{CC} (V)		T _A = 25 °C 54HC and 74HC			-40 to 85 °C 74HC		-55 to 125 °C 54HC		
				Min.	Typ.	Max.	Min.	Max.	Min.		Max.
t _{TLH} t _{THL}	Output Transition Time	2.0			30	75		95		110	ns
		4.5			8	15		19		22	
		6.0			7	13		16		19	
t _{PLH} t _{PHL}	Propagation Delay Time (CLOCK - Q)	2.0			92	180		225		270	ns
		4.5			23	36		45		54	
		6.0			20	31		38		46	
t _{PLH} t _{PHL}	Propagation Delay Time (CLOCK - RCO)	2.0			39	120		150		180	ns
		4.5			13	24		30		36	
		6.0			11	20		26		31	
t _{PLH} t _{PHL}	Propagation Delay Time (CLOCK - MAX/MIN)	2.0			120	240		300		360	ns
		4.5			30	48		60		72	
		6.0			26	41		51		61	
t _{PLH} t _{PHL}	Propagation Delay Time (LOAD - Q)	2.0			108	205		255		310	ns
		4.5			27	41		51		62	
		6.0			23	35		43		53	

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($C_L = 50 \text{ pF}$, Input $t_r = t_f = 6 \text{ ns}$)

Symbol	Parameter	Test Conditions		Value						Unit	
		V _{CC} (V)		T _A = 25 °C 54HC and 74HC			-40 to 85 °C 74HC		-55 to 125 °C 54HC		
				Min.	Typ.	Max.	Min.	Max.	Min.		Max.
t _{PLH} t _{PHL}	Propagation Delay Time (DATA - Q)	2.0			84	175		220		265	ns
		4.5			21	35		44		53	
		6.0			18	30		37		45	
t _{PLH} t _{PHL}	Propagation Delay Time (ENABLE - RCO)	2.0			39	105		130		160	ns
		4.5			13	21		26		32	
		6.0			11	18		22		27	
t _{PLH} t _{PHL}	Propagation Delay Time (D/U - RCO)	2.0			63	180		225		270	ns
		4.5			21	36		45		54	
		6.0			18	31		38		46	
t _{PLH} t _{PHL}	Propagation Delay Time (D/U - MAX/MIN)	2.0			64	160		200		240	ns
		4.5			18	32		40		48	
		6.0			15	27		34		41	
f _{MAX}	Maximum Clock Frequency	2.0		5	9		4		3.4		MHz
		4.5		25	37		20		17		
		6.0		30	44		24		20		
t _{w(H)} t _{w(L)}	Minimum Pulse Width (CLOCK)	2.0			40	100		125		150	ns
		4.5			10	20		25		30	
		6.0			9	17		21		26	
t _{w(L)}	Minimum Pulse Width (LOAD)	2.0			36	75		95		110	ns
		4.5			9	15		19		22	
		6.0			8	13		16		19	
t _s	Minimum Set-up Time (SI, PI - CK)	2.0			80	175		220		265	ns
		4.5			20	35		44		53	
		6.0			17	30		37		45	
t _s	Minimum Set-up Time (S0, S1 - CK)	2.0			16	50		60		75	ns
		4.5			4	10		12		15	
		6.0			3	9		11		13	
t _h	Minimum Hold Time	2.0				0		0		0	ns
		4.5				0		0		0	
		6.0				0		0		0	
t _{REM}	Minimum Removal Time	2.0			12	50		60		5	ns
		4.5			3	10		12		15	
		6.0			3	9		11		13	
C _{IN}	Input Capacitance				5	10		10		10	pF
C _{PD} (*)	Power Dissipation Capacitance		for HC190 for HC191		111 112						pF

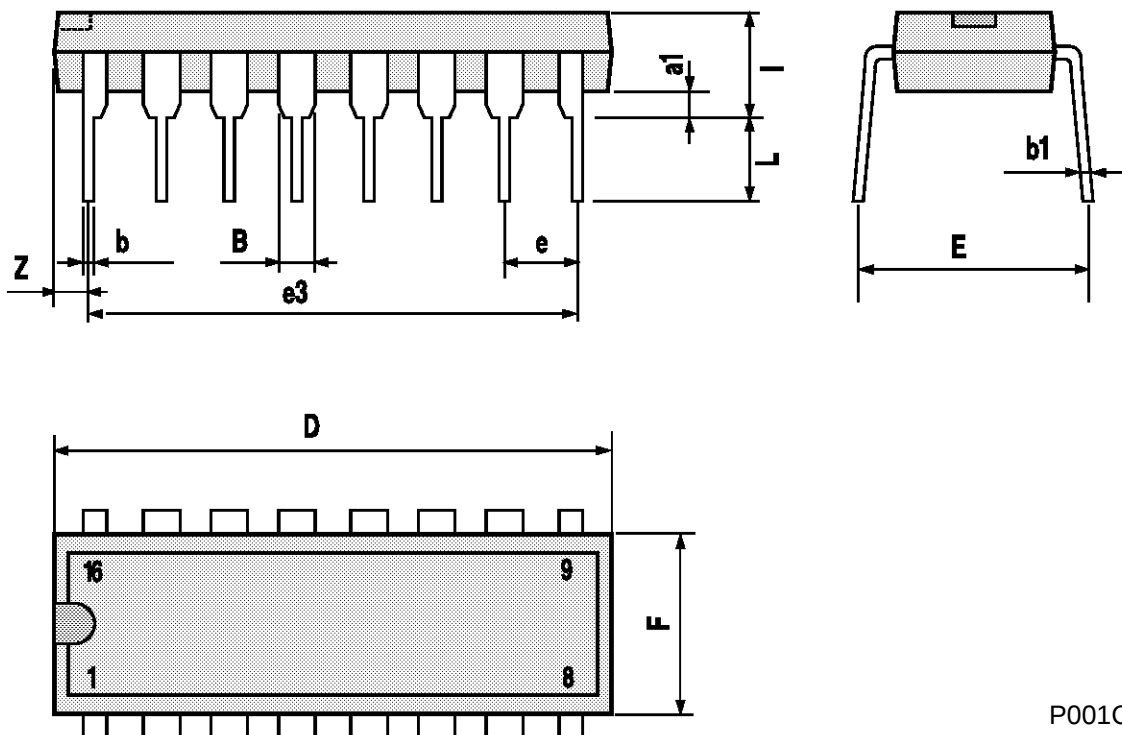
(*) C_{PD} is defined as the value of the IC's internal equivalent capacitance which is calculated from the operating current consumption without load. (Refer to Test Circuit). Average operating current can be obtained by the following equation. $I_{CC(opr)} = C_{PD} \cdot V_{CC} \cdot f_{IN} + I_{CC}$

SWITCHING CHARACTERISTICS TEST WAVEFORM

TEST CIRCUIT I_{cc} (Opr.)

Plastic DIP16 (0.25) MECHANICAL DATA

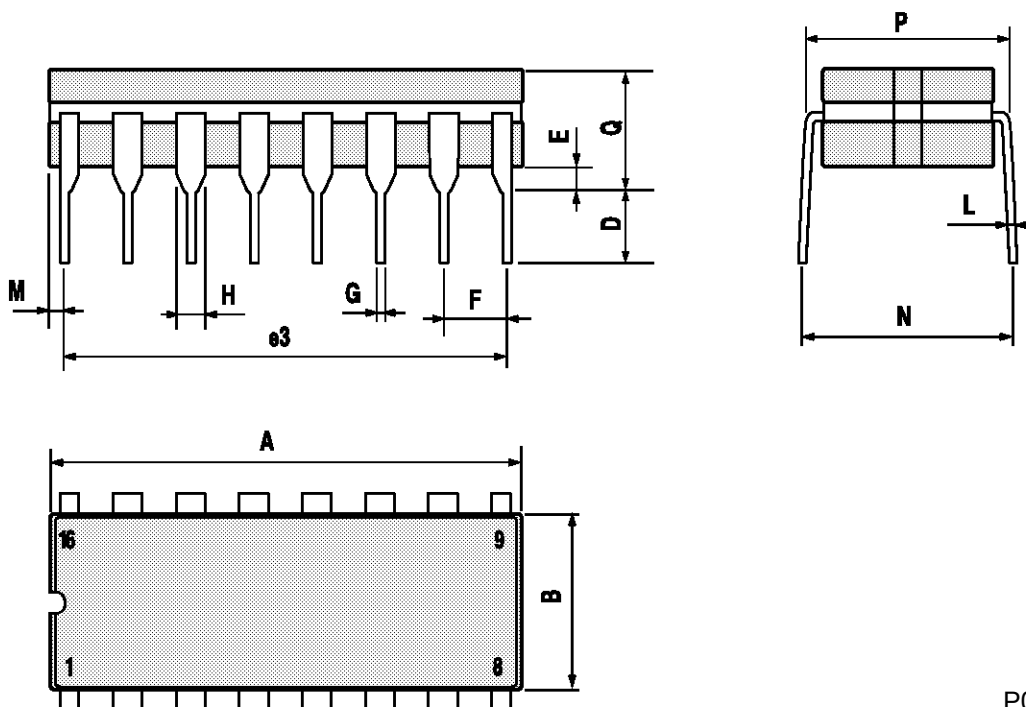
DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
a1	0.51			0.020		
B	0.77		1.65	0.030		0.065
b		0.5			0.020	
b1		0.25			0.010	
D			20			0.787
E		8.5			0.335	
e		2.54			0.100	
e3		17.78			0.700	
F			7.1			0.280
I			5.1			0.201
L		3.3			0.130	
Z			1.27			0.050



P001C

Ceramic DIP16/1 MECHANICAL DATA

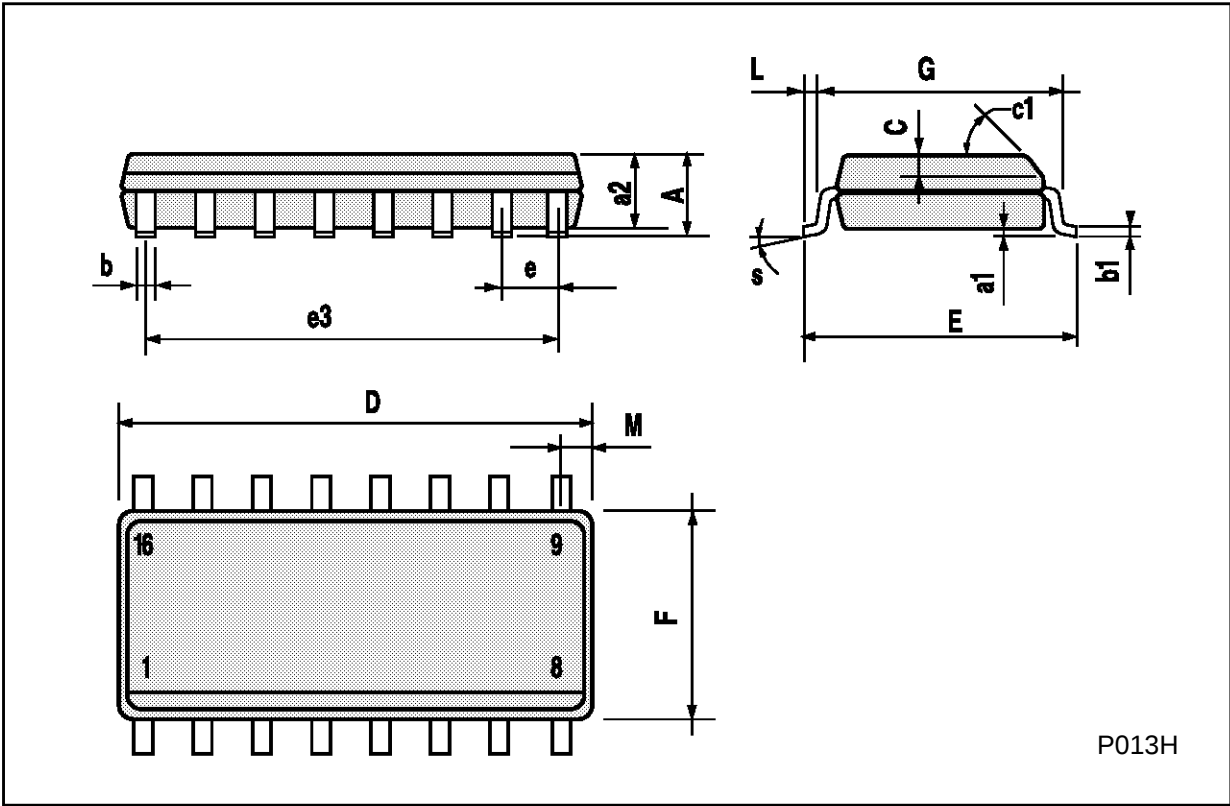
DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			20			0.787
B			7			0.276
D		3.3			0.130	
E	0.38			0.015		
e3		17.78			0.700	
F	2.29		2.79	0.090		0.110
G	0.4		0.55	0.016		0.022
H	1.17		1.52	0.046		0.060
L	0.22		0.31	0.009		0.012
M	0.51		1.27	0.020		0.050
N			10.3			0.406
P	7.8		8.05	0.307		0.317
Q			5.08			0.200



P053D

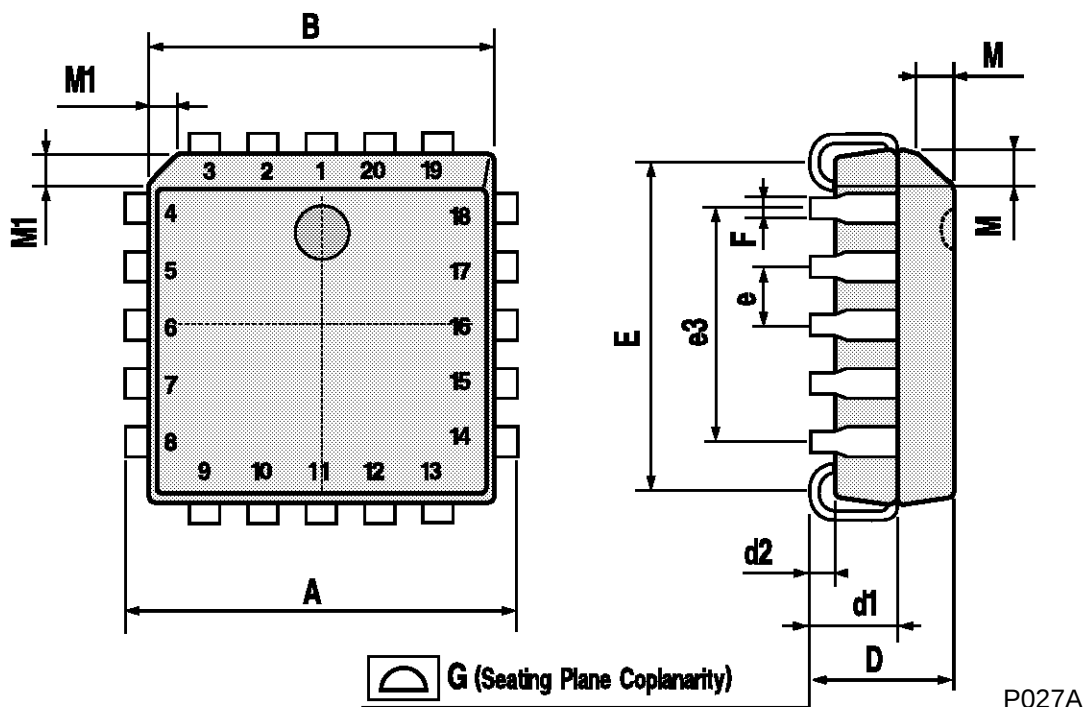
SO16 (Narrow) MECHANICAL DATA

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			1.75			0.068
a1	0.1		0.2	0.004		0.007
a2			1.65			0.064
b	0.35		0.46	0.013		0.018
b1	0.19		0.25	0.007		0.010
C		0.5			0.019	
c1	45° (typ.)					
D	9.8		10	0.385		0.393
E	5.8		6.2	0.228		0.244
e		1.27			0.050	
e3		8.89			0.350	
F	3.8		4.0	0.149		0.157
G	4.6		5.3	0.181		0.208
L	0.5		1.27	0.019		0.050
M			0.62			0.024
S	8° (max.)					



PLCC20 MECHANICAL DATA

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A	9.78		10.03	0.385		0.395
B	8.89		9.04	0.350		0.356
D	4.2		4.57	0.165		0.180
d1		2.54			0.100	
d2		0.56			0.022	
E	7.37		8.38	0.290		0.330
e		1.27			0.050	
e3		5.08			0.200	
F		0.38			0.015	
G			0.101			0.004
M		1.27			0.050	
M1		1.14			0.045	



P027A

Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, SGS-THOMSON Microelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of SGS-THOMSON Microelectronics. Specifications mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. SGS-THOMSON Microelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of SGS-THOMSON Microelectronics.

© 1994 SGS-THOMSON Microelectronics - All Rights Reserved

SGS-THOMSON Microelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - France - Germany - Hong Kong - Italy - Japan - Korea - Malaysia - Malta - Morocco - The Netherlands -
Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - Taiwan - Thailand - United Kingdom - U.S.A

USER GUIDE AND SPECIFICATIONS

NI USB-6008/6009

Bus-Powered Multifunction DAQ USB Device

Français Deutsch 日本語 한국어 简体中文
ni.com/manuals

This user guide describes how to use the National Instruments USB-6008 and National Instruments USB-6009 data acquisition (DAQ) devices and lists specifications.

The NI USB-6008/6009 provides connection to eight single-ended analog input (AI) channels, two analog output (AO) channels, 12 digital input/output (DIO) channels, and a 32-bit counter with a full-speed USB interface. Table 1 compares the devices.

Table 1. NI USB-6008 and NI USB-6009 Comparison

Feature	NI USB-6008	NI USB-6009
AI resolution	12 bits differential, 11 bits single-ended	14 bits differential, 13 bits single-ended
Maximum AI sample rate, single channel*	10 kS/s	48 kS/s
Maximum AI sample rate, multiple channels (aggregate)*	10 kS/s	48 kS/s
DIO configuration	Open collector [†]	Each channel individually programmable as open collector or active drive [†]
* System-dependent. [†] This document uses NI-DAQmx naming conventions. Open-drain is called open collector and push-pull is called active drive.		

Figure 1 shows key functional components of the NI USB-6008/6009.

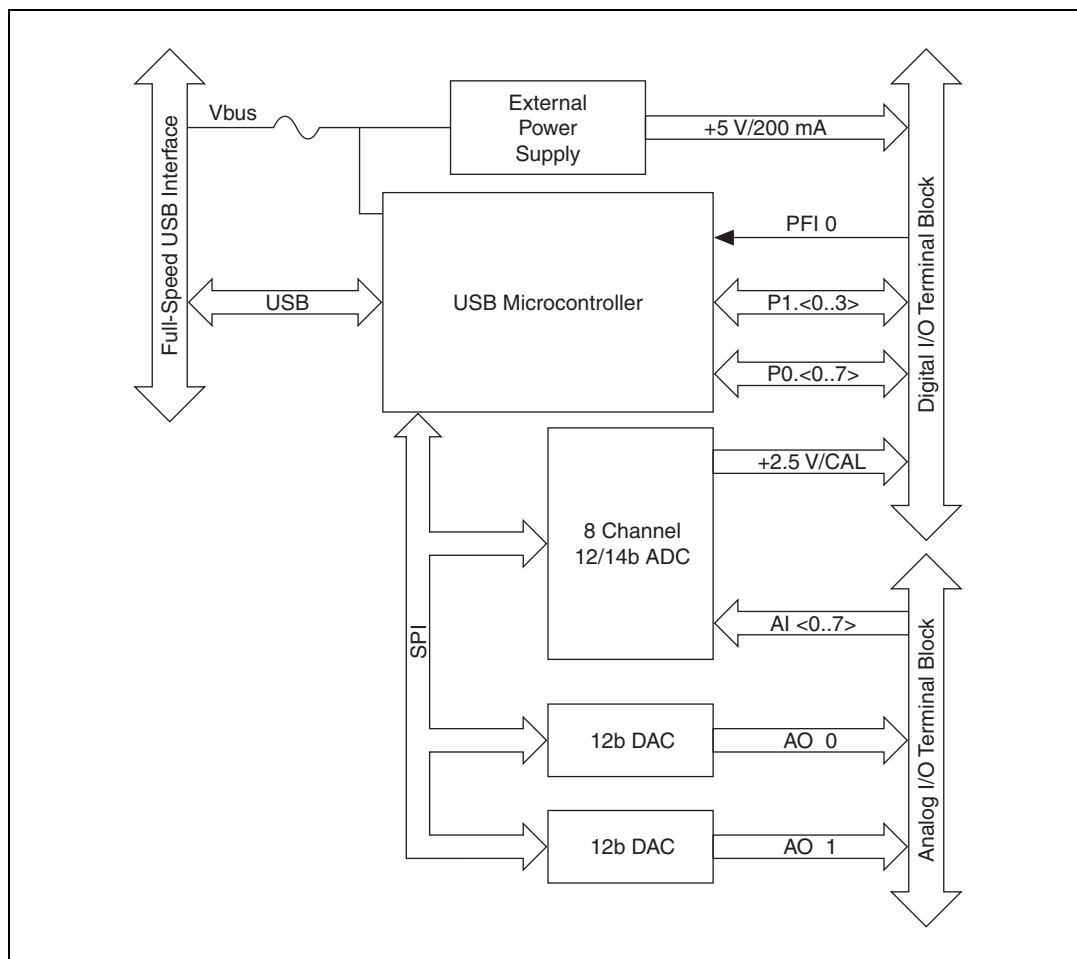


Figure 1. NI USB-6008/6009 Block Diagram

Contents

Safety Guidelines	3
Electromagnetic Compatibility Guidelines.....	3
Unpacking	4
Setting Up the NI USB-6008/6009	4
Using the NI USB-6008/6009 in an Application	6
Features.....	7
USB Connector and USB Cable Strain Relief.....	7
LED Indicator	8
Screw Terminal Connector Plugs	8
Firmware.....	8
Cables and Accessories.....	9
Pinout and Signal Descriptions.....	9

Analog Input	11
Analog Input Modes and Signal Sources.....	11
Floating Signal Sources	12
Ground-Referenced Signal Sources.....	13
Taking Differential Measurements	14
Taking Referenced Single-Ended Measurements.....	15
Digital Trigger	15
Analog Output.....	16
Connecting Analog Output Loads	16
Minimizing Glitches on the Output Signal	16
Digital I/O	17
Source/Sink Information	18
I/O Protection.....	19
Power-On States	19
Static DIO	19
PFI 0.....	19
Using PFI 0 as a Digital Trigger	19
Using PFI 0 as an Event Counter.....	19
External Reference and Power Source.....	20
+2.5 V External Reference.....	20
+5 V Power Source	20
Specifications.....	20
Where to Go from Here	27
Example Programs	27
Related Documentation.....	27
Where to Go for Support	30

Safety Guidelines

Operate the NI USB-6008/6009 device only as described in this user guide.



Caution Do *not* operate the NI USB-6008/6009 in a manner not specified in this document. Misuse of the device can result in a hazard. You can compromise the safety protection built into the device if the device is damaged in any way. If the device is damaged, contact National Instruments for repair.



Caution Do *not* substitute parts or modify the device except as described in this document. Use the device only with the chassis, modules, accessories, and cables specified in the installation instructions. You must have all covers and filler panels installed during operation of the device.



Caution Do *not* operate the device in an explosive atmosphere or where there may be flammable gases or fumes. If you must operate the device in such an environment, it must be in a suitably rated enclosure.

Electromagnetic Compatibility Guidelines

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

This product is intended for use in industrial locations. There is no guarantee that harmful interference will not occur in a particular installation, when the product is connected to a test object, or if the product is used in residential areas. To minimize the potential for the product to cause interference to radio and

television reception or to experience unacceptable performance degradation, install and use this product in strict accordance with the instructions in the product documentation.

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



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



Caution This product may become more sensitive to electromagnetic disturbances in the operational environment when test leads are attached or when connected to a test object.



Caution Emissions that exceed the regulatory requirements may occur when this product is connected to a test object.



Caution Changes or modifications not expressly approved by National Instruments could void the user's authority to operate the hardware under the local regulatory rules.

Unpacking

The NI USB-6008/6009 device ships in an antistatic package to prevent electrostatic discharge (ESD). ESD can damage several components on the device.



Caution *Never* touch the exposed pins of connectors.

To avoid ESD damage in handling the device, take the following precautions:

- Ground yourself with a grounding strap or by touching a grounded object.
- Touch the antistatic package to a metal part of your computer chassis before removing the device from the package.

Remove the device from the package and inspect it for loose components or any other signs of damage. Notify NI if the device appears damaged in any way. Do not install a damaged device in your computer or chassis.

Store the device in the antistatic package when the device is not in use.

Setting Up the NI USB-6008/6009

Complete the following steps to get started with the NI USB-6008/6009.



Note For information about non-Windows operating system support, refer to the *Getting Started with NI-DAQmx Base for Linux and Mac OS X Users* document available from ni.com/manuals.

1. Install the application software (if applicable), as described in the installation instructions that accompany your software.
2. Install NI-DAQmx¹.



Note The NI-DAQmx software is included on the disk shipped with your kit and is available for download at ni.com/support. The documentation for NI-DAQmx is available after installation from **Start»All Programs»National Instruments»NI-DAQ**. Other NI documentation is available from ni.com/manuals.

¹ NI USB-6008/6009 devices are supported by NI-DAQmx 7.5 and later.

3. Install the 16-position screw terminal connector plugs by inserting them into the connector jacks as shown in Figure 2.

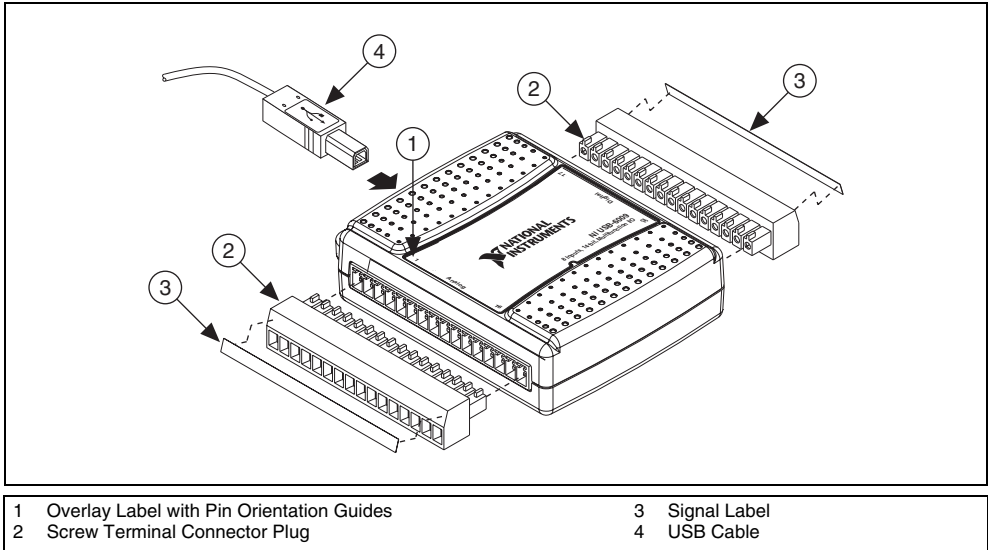


Figure 2. Signal Label Application Diagram

4. Affix the provided signal labels to the screw terminal connector plugs. You can choose labels with pin numbers, signal names, or blank labels, as shown in Figure 3. Choose one of the labels, align the correct label with the terminals printed on the top panel of your device and apply the label, as shown in Figure 2.

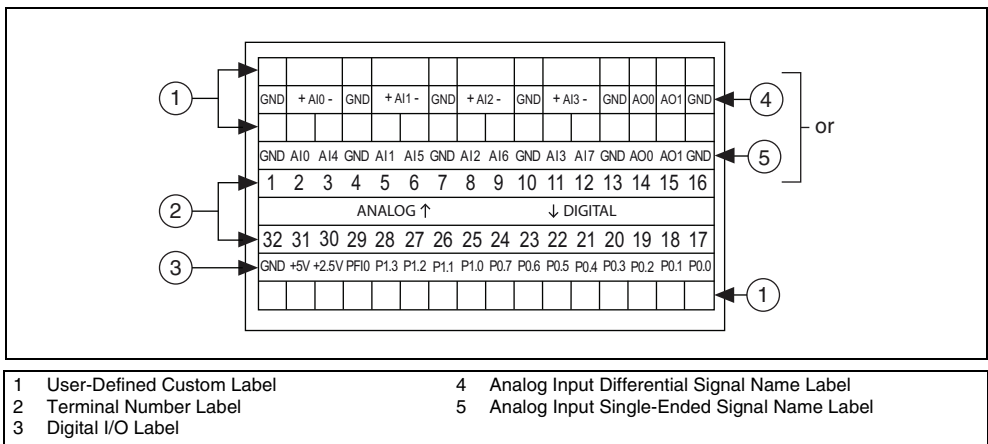


Figure 3. NI USB-6008/6009 Signal Labels



Note After you label the screw terminal connector plugs, you must only insert them into the matching connector jack, as indicated by the overlay label on the device.

5. Plug one end of the USB cable into the NI USB-6008/6009 and the other end into an available USB port on the computer.



6. Double-click the **Measurement & Automation** icon, shown at left, on the desktop to open Measurement & Automation Explorer (MAX).
7. Expand **My System»Devices and Interfaces** and verify that the NI USB-6008/6009 is listed. If your device does not appear, press <F5> to refresh the view in MAX. If your device is still not recognized, refer to ni.com/support/daqmx for troubleshooting information.
8. Self-test your device in MAX by right-clicking **NI USB-600x** and selecting **Self-Test**. Self-test performs a brief test to determine successful device installation. When the self-test finishes, a message indicates successful verification or if an error occurred. If an error occurs, refer to ni.com/support/daqmx.



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

9. Connect the wires (16 to 28 AWG) of a shielded, multiconductor cable to the screw terminals by stripping 6.35 mm (0.25 in.) of insulation, inserting the wires into the screw terminals, and securely tightening the screws with the flathead screwdriver to a torque of 0.22–0.25 N · m (2.0–2.2 lb · in.). Refer to Figure 6 for the NI USB-6008/6009 pinout.

If using a shielded cable, connect the cable shield to a nearby GND terminal.



Note For information about sensors, go to ni.com/sensors. For information about IEEE 1451.4 TEDS smart sensors, go to ni.com/teds.

10. Run a Test Panel in MAX by right-clicking **NI USB-600x** and selecting **Test Panels**.
Click **Start** to test the device functions, or **Help** for operating instructions. Click **Close** to exit the test panel.

Using the NI USB-6008/6009 in an Application

You can use the DAQ Assistant through many NI application software programs to configure virtual and measurement channels. Table 2 lists DAQ Assistant tutorial locations for NI applications.

Table 2. DAQ Assistant Tutorial Locations

NI Application	Tutorial Location
LabVIEW	Go to Help»LabVIEW Help . Next, go to Getting Started with LabVIEW»Getting Started with DAQ»Taking an NI-DAQmx Measurement in LabVIEW .
LabWindows™/CVI™	Go to Help»Contents . Next, go to Using LabWindows/CVI»Data Acquisition»Taking an NI-DAQmx Measurement in LabWindows/CVI .
Measurement Studio	Go to NI Measurement Studio Help»Getting Started with the Measurement Studio Class Libraries»Measurement Studio Walkthroughs»Walkthrough: Creating a Measurement Studio NI-DAQmx Application .
LabVIEW SignalExpress	Go to Help»Taking an NI-DAQmx Measurement in SignalExpress .

Refer to the [Where to Go from Here](#) section for information about programming examples for NI-DAQmx and NI-DAQmx Base.

Features

The NI USB-6008/6009 features a USB connector, USB cable strain relief, two screw terminal connector plugs for I/O, and an LED indicator, as shown in Figure 4.

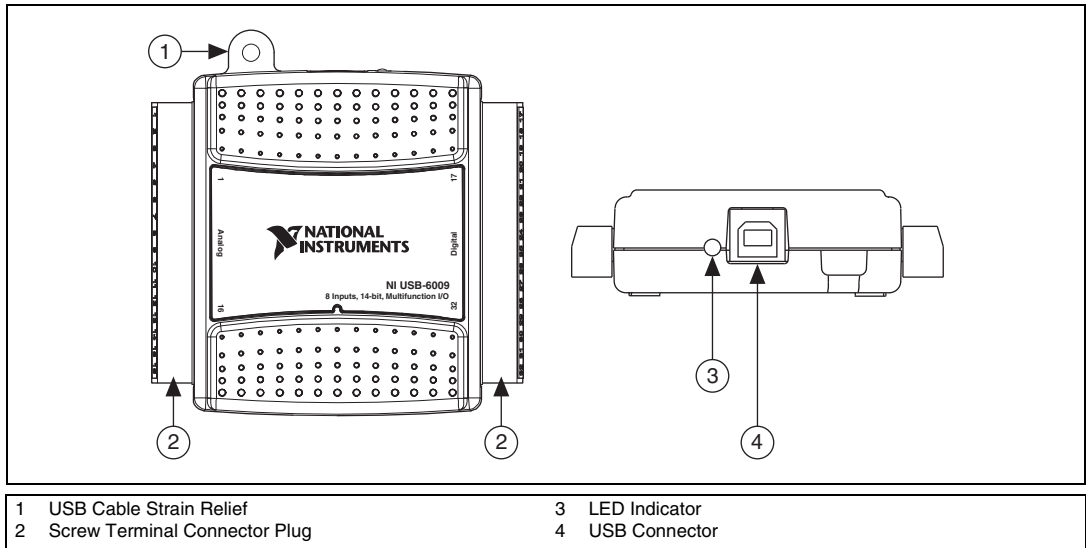


Figure 4. NI USB-6008/6009 Top and Back Views

USB Connector and USB Cable Strain Relief

The NI USB-6008/6009 features a USB connector for full-speed USB interface. You can provide strain relief for the USB cable by threading a zip tie through the USB cable strain relief ring and tightening around a looped USB cable, as shown in Figure 5.

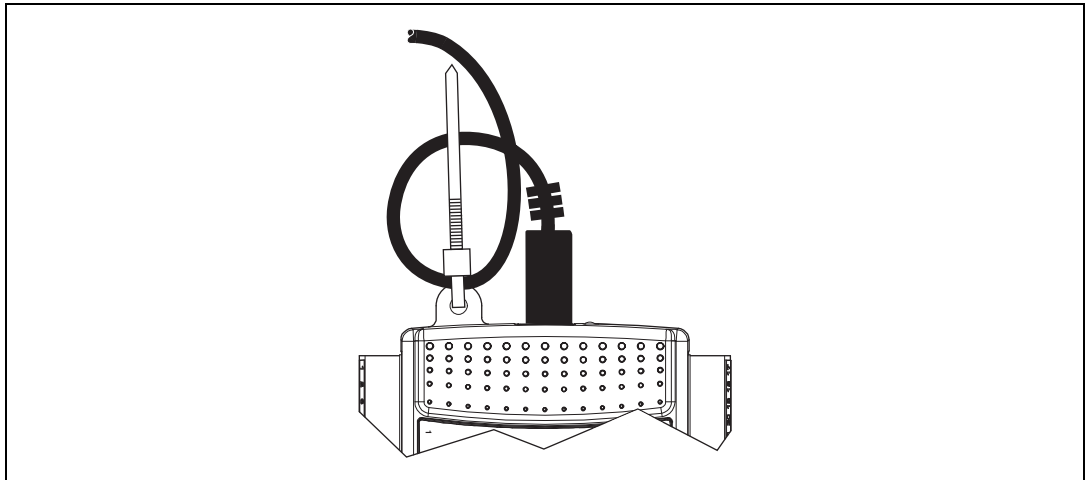


Figure 5. NI USB-6008/6009 Strain Relief

LED Indicator

The NI USB-6008/6009 device has a green LED indicator that indicates device status, as listed in Table 3. When the device is connected to a USB port, the LED blinks steadily to indicate that the device is initialized and is receiving power from the connection.

Table 3. LED State/Device Status

LED State	Device Status
Not lit	Device not connected or in suspend
On, not blinking	Device connected but not initialized, or the computer is in standby mode. In order for the device to be recognized, the device must be connected to a computer that has NI-DAQmx installed on it.
Single-blink	Operating normally

Screw Terminal Connector Plugs

The NI USB-6008/6009 ships with one detachable screw terminal connector plug for analog signals and one detachable screw terminal connector plug for digital signals. These screw terminal connectors provide 16 connections that use 16–28 AWG wire. Refer to step 4 of the [Setting Up the NI USB-6008/6009](#) section for information about selecting labels for the screw terminal connector plugs. Refer to the [Pinout and Signal Descriptions](#) section for the device pinout and signal descriptions.

You can order additional connectors and labels for your device. Refer to the [Cables and Accessories](#) section for ordering information.

Firmware

The firmware on the NI USB-6008/6009 refreshes whenever the device is connected to a computer with NI-DAQmx. NI-DAQmx automatically uploads the compatible firmware version to the device. The firmware version may be upgraded when new versions of NI-DAQmx release.

Cables and Accessories

Table 4 contains information about cables and accessories available for the NI USB-6008/6009. For a complete list of accessories and ordering information, refer to the pricing section of the NI USB-6008 or NI USB-6009 product page at ni.com.

Table 4. NI USB-6008/6009 Cables and Accessories

Accessory	Part Number	Description
USB-6008/6009 Accessory Kit	779371-01	Four additional screw-terminal connectors, connector labels, and a screwdriver
USB-6000 Series Prototyping Accessory	779511-01	Unshielded breadboarding accessory for custom-defined signal conditioning and prototyping. You can use up to two accessories per device.
Hi-Speed USB Cable	184125-01 184125-02	1 m and 2 m lengths
Caution: For compliance with Electromagnetic Compatibility (EMC) requirements, this product must be operated with shielded cables and accessories. If unshielded cables or accessories are used, the EMC specifications are no longer guaranteed unless all unshielded cables and/or accessories are installed in a shielded enclosure with properly designed and shielded input/output ports.		

Pinout and Signal Descriptions

Figure 6 shows the pinout of the NI USB-6008/6009. Analog input signal names are listed as single-ended analog input name, AI x , and then differential analog input name, (AI x +/-). Refer to Table 5 for a detailed description of each signal.

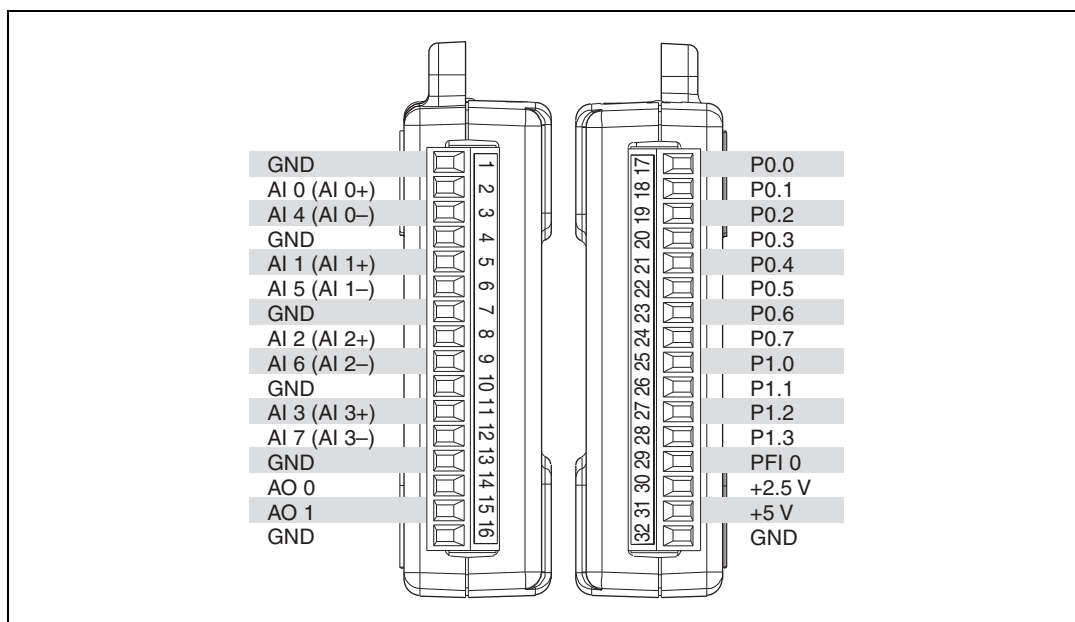


Figure 6. NI USB-6008/6009 Pinout

Table 5. Signal Descriptions

Signal Name	Reference	Direction	Description
GND	—	—	Ground —The reference point for the single-ended analog input measurements, analog output voltages, digital signals, +5 VDC supply, and +2.5 VDC at the I/O connector, and the bias current return point for differential mode measurements.
AI <0..7>	Varies	Input	Analog Input Channels 0 to 7 —For single-ended measurements, each signal is an analog input voltage channel. For differential measurements, AI 0 and AI 4 are the positive and negative inputs of differential analog input channel 0. The following signal pairs also form differential input channels: AI<1, 5>, AI<2, 6>, and AI<3, 7>. Refer to the Analog Input section for more information.
AO <0, 1>	GND	Output	Analog Output Channels 0 and 1 —Supplies the voltage output of AO channel 0 or AO channel 1. Refer to the Analog Output section for more information.
P0.<0..7>	GND	Input or Output	Port 0 Digital I/O Channels 0 to 7 —You can individually configure each signal as an input or output. Refer to the Digital I/O section for more information.
P1.<0..3>	GND	Input or Output	Port 1 Digital I/O Channels 0 to 3 —You can individually configure each signal as an input or output. Refer to the Digital I/O section for more information.
PFI 0	GND	Input	PFI 0 —This pin is configurable as either a digital trigger or an event counter input. Refer to the PFI 0 section for more information.
+2.5 V	GND	Output	+2.5 V External Reference —Provides a reference for wrap-back testing. Refer to the +2.5 V External Reference section for more information.
+5 V	GND	Output	+5 V Power Source —Provides +5 V power up to 200 mA. Refer to the +5 V Power Source section for more information.

Analog Input

The NI USB-6008/6009 has eight analog input channels that you can use for four differential analog input measurements or eight single-ended analog input measurements.

Figure 7 shows the analog input circuitry of the NI USB-6008/6009.

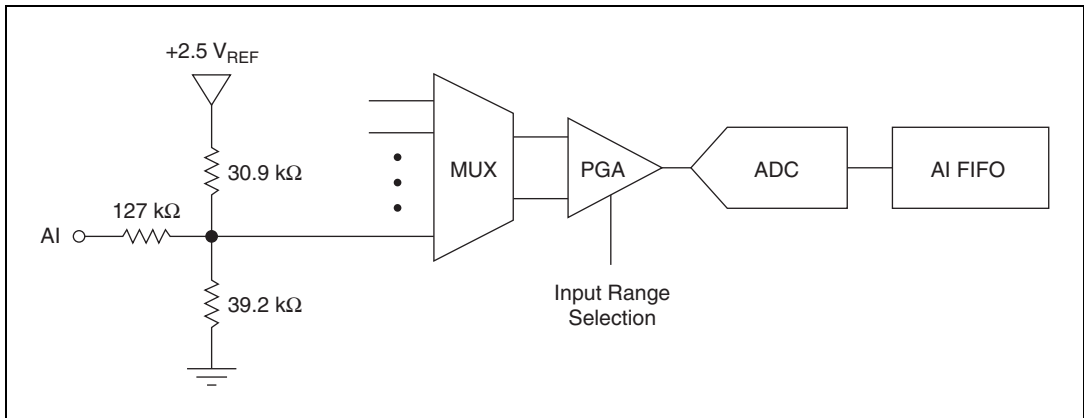


Figure 7. NI USB-6008/6009 Analog Input Circuitry

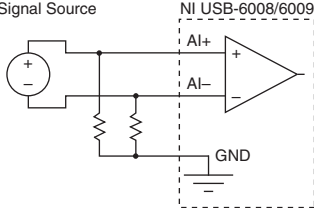
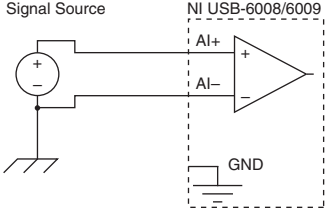
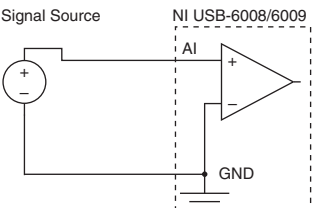
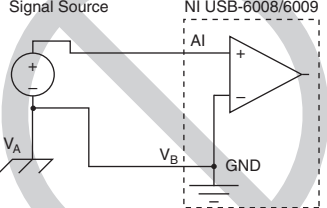
The main blocks featured in the NI USB-6008/6009 analog input circuitry are as follows:

- **MUX**—The NI USB-6008/6009 has one analog-to-digital converter (ADC). The multiplexer (MUX) routes one AI channel at a time to the PGA.
- **PGA**—The programmable-gain amplifier provides input gains of 1, 2, 4, 5, 8, 10, 16, or 20 when configured for differential measurements and gain of 1 when configured for single-ended measurements. The PGA gain is automatically calculated based on the voltage range selected in the measurement application.
- **ADC**—The analog-to-digital converter (ADC) digitizes the AI signal by converting the analog voltage into digital code.
- **AI FIFO**—The NI USB-6008/6009 can perform both single and multiple analog-to-digital conversions of a fixed or infinite number of samples. A first-in-first-out (FIFO) buffer holds data during AI acquisitions to ensure that no data is lost.

Analog Input Modes and Signal Sources

You can configure the AI channels on the NI USB-6008/6009 to take differential or referenced single-ended (RSE) measurements. Table 6 summarizes the recommended analog input mode(s) for floating signal sources and ground-referenced signal sources. Refer to Table 5 for more information about I/O connections for single-ended or differential measurements.

Table 6. Analog Input Configurations

Analog Input Mode	Floating Signal Sources (Not Connected to Building Ground) Examples: • Ungrounded thermocouples • Signal conditioning with isolated outputs • Battery devices	Ground-Referenced Signal Sources Example: • Plug-in instruments with non-isolated outputs
Differential (DIFF)	Signal Source 	Signal Source 
Referenced Single-Ended (RSE)	Signal Source 	NOT RECOMMENDED  Ground-loop potential ($V_A - V_B$) are added to measured signal.

Floating Signal Sources

A floating signal source is not connected to the building ground system, but has an isolated ground-reference point. Some examples of floating signal sources are outputs of transformers, thermocouples, battery-powered devices, optical isolators, and isolation amplifiers. An instrument or device that has an isolated output is a floating signal source.

Refer to the NI Developer Zone document, *Field Wiring and Noise Considerations for Analog Signals*, for more information. To access this document, go to ni.com/info and enter the Info Code `rdfwn3`.

When to Use Differential Connections with Floating Signal Sources

Use DIFF input connections for any channel that meets any of the following conditions:

- Your application requires input ranges other than ± 10 V.
- The input signal is low level and requires greater accuracy.
- The leads connecting the signal to the device are greater than 3 m (10 ft).
- The input signal requires a separate ground-reference point or return signal.

- The signal leads travel through noisy environments.
- Two analog input channels, AI+ and AI–, are available for the signal.

DIFF signal connections reduce noise pickup and increase common-mode noise rejection. DIFF signal connections also allow input signals to float within the working voltage of the device.

Refer to the [Taking Differential Measurements](#) section for more information about differential connections.

When to Use Referenced Single-Ended (RSE) Connections with Floating Signal Sources

Only use RSE input connections if the input signal meets all of the following conditions:

- The input signal can share a common reference point, GND, with other signals that use RSE.
- Your application permits the use of the ± 10 V input range.
- The leads connecting the signal to the device are less than 3 m (10 ft).

DIFF input connections are recommended for greater signal integrity for any input signal that does not meet the preceding conditions.

In the single-ended modes, more electrostatic and magnetic noise couples into the signal connections than in DIFF configurations. The coupling is the result of differences in the signal path. Magnetic coupling is proportional to the area between the two signal conductors. Electrical coupling is a function of how much the electric field differs between the two conductors.

With this type of connection, the PGA rejects both the common-mode noise in the signal and the ground potential difference between the signal source and the device ground.

Refer to the [Taking Referenced Single-Ended Measurements](#) section for more information about RSE connections.

Ground-Referenced Signal Sources

A ground-referenced signal source is a signal source connected to the building system ground. It is already connected to a common ground point with respect to the device, assuming that the computer is plugged into the same power system as the source. Non-isolated outputs of instruments and devices that plug into the building power system fall into this category.

The difference in ground potential between two instruments connected to the same building power system is typically between 1 and 100 mV, but the difference can be much higher if power distribution circuits are improperly connected. If a grounded signal source is incorrectly measured, this difference can appear as measurement error. Follow the connection instructions for grounded signal sources to eliminate this ground potential difference from the measured signal.

Refer to the NI Developer Zone document, *Field Wiring and Noise Considerations for Analog Signals*, for more information. To access this document, go to ni.com/info and enter the Info Code `rdfwn3`.

When to Use Differential Connections with Ground-Referenced Signal Sources

Use DIFF input connections for any channel that meets any of the following conditions:

- Your application requires input ranges other than ± 10 V.
- The input signal is low level and requires greater accuracy.
- The leads connecting the signal to the device are greater than 3 m (10 ft).
- The input signal requires a separate ground-reference point or return signal.
- The signal leads travel through noisy environments.
- Two analog input channels, AI+ and AI–, are available for the signal.

DIFF signal connections reduce noise pickup and increase common-mode noise rejection. DIFF signal connections also allow input signals to float within the working voltage of the device.

Refer to the *Taking Differential Measurements* section for more information about differential connections.

When to Use Referenced Single-Ended (RSE) Connections with Ground-Referenced Signal Sources

Do *not* use RSE connections with ground-referenced signal sources. Use differential connections instead.

As shown in the bottom-rightmost cell of Table 6, there can be a potential difference between GND and the ground of the sensor. In RSE mode, this ground loop causes measurement errors.

Taking Differential Measurements

For differential signals, connect the positive lead of the signal to the AI+ terminal, and the negative lead to the AI- terminal.

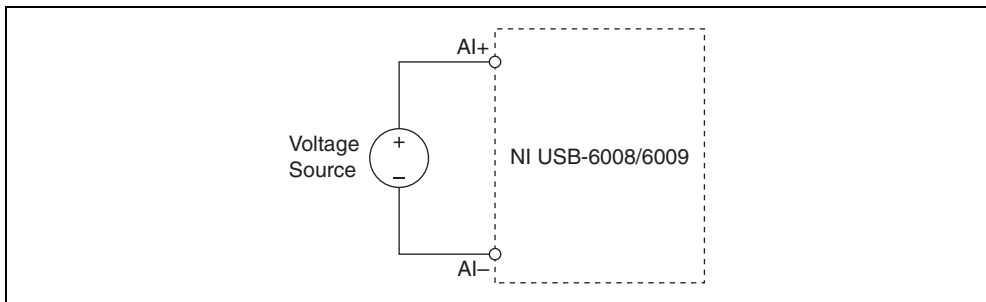


Figure 8. Connecting a Differential Voltage Signal

The differential input mode can measure ± 20 V signals in the ± 20 V range. However, the maximum voltage on any one pin is ± 10 V with respect to GND. For example, if AI 1 is +10 V and AI 5 is -10 V, then the measurement returned from the device is +20 V.

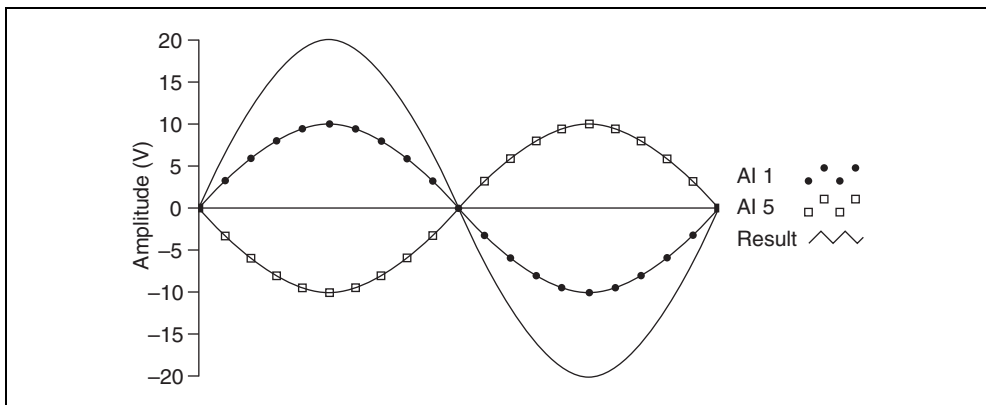


Figure 9. Example of a Differential 20 V Measurement

Connecting a signal greater than ± 10 V on either pin results in a clipped output.

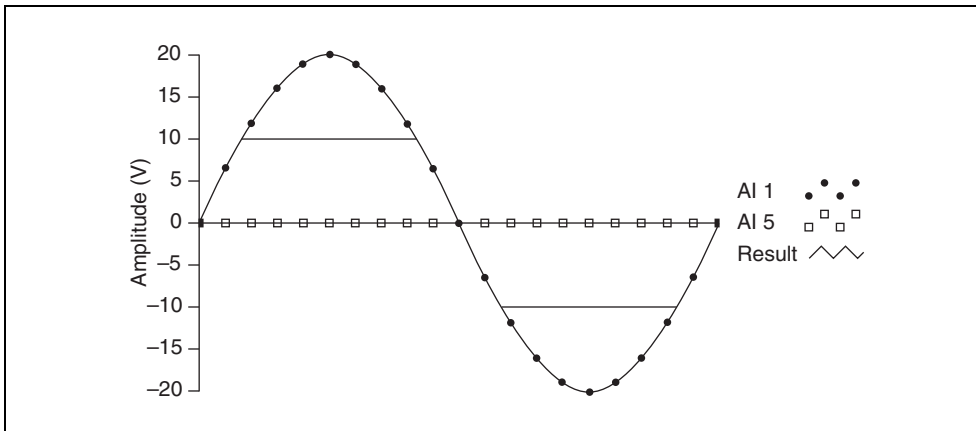


Figure 10. Exceeding ± 10 V on AI Returns Clipped Output

Taking Referenced Single-Ended Measurements

To connect referenced single-ended (RSE) voltage signals to the NI USB-6008/6009, connect the positive voltage signal to an AI terminal, and the ground signal to a GND terminal, as shown in Figure 11.

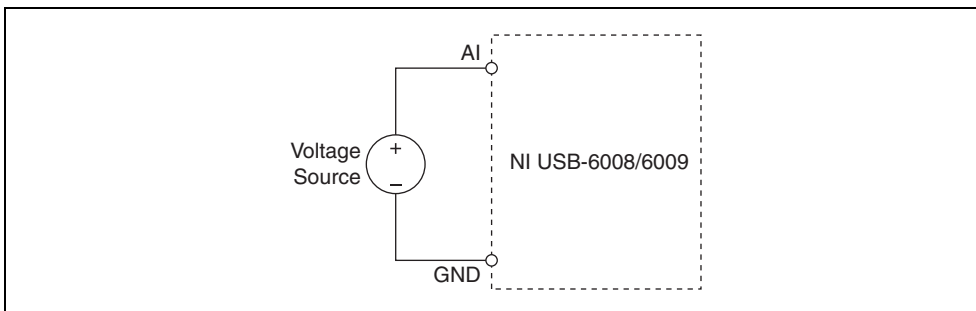


Figure 11. Connecting a Referenced Single-Ended Voltage Signal

When no signals are connected to the analog input terminal, the internal resistor divider may cause the terminal to float to approximately 1.4 V when the analog input terminal is configured as RSE. This behavior is normal and does not affect the measurement when a signal is connected.

Digital Trigger

You can configure PFI 0 as a digital trigger input for analog input tasks. Refer to the [Using PFI 0 as a Digital Trigger](#) section for more information.

Analog Output

The NI USB-6008/6009 has two independent analog output channels that can generate outputs from 0 to 5 V. All updates of analog output channels are software-timed. GND is the ground-reference signal for the analog output channels.

Figure 12 shows the circuitry of one analog output channel on the NI USB-6008/6009.

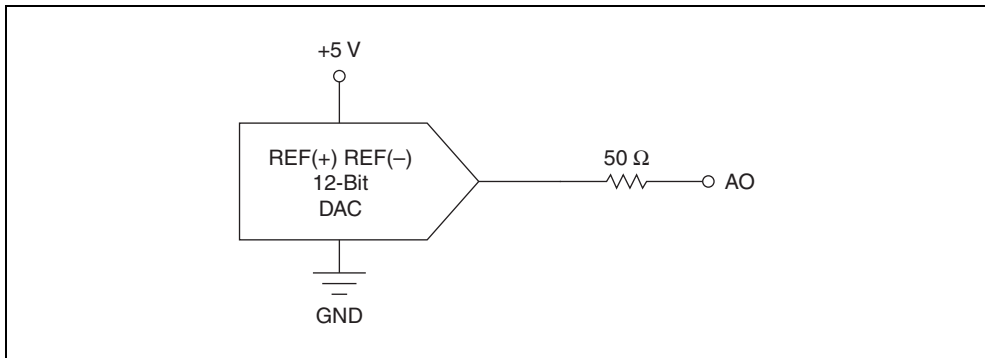


Figure 12. Circuitry of One Analog Output Channel

The main block featured in the NI USB-6008/6009 analog output circuitry is the digital-to-analog converter (DAC), which converts digital codes to analog voltages. There is one DAC for each analog output line.

Connecting Analog Output Loads

To connect loads to the NI USB-6008/6009, connect the positive lead of the load to the AO terminal, and connect the ground of the load to a GND terminal, as shown in Figure 13.

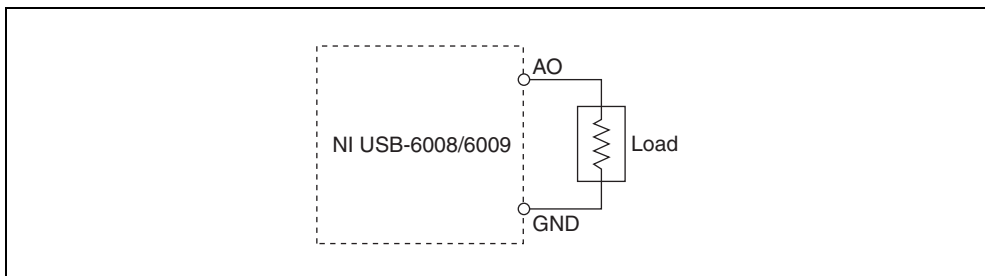


Figure 13. Connecting a Load

Minimizing Glitches on the Output Signal

When you use a DAC to generate a waveform, you may observe glitches in the output signal. These glitches are normal; when a DAC switches from one voltage to another, it produces glitches due to released charges. The largest glitches occur when the most significant bit of the DAC code changes. You can build a lowpass deglitching filter to remove some of these glitches, depending on the frequency and nature of the output signal. For more information about minimizing glitches, refer to the KnowledgeBase document, *Reducing Glitches on the Analog Output of MIO DAQ Devices*. To access this document, go to ni.com/info and enter the Info Code `exszek`.

Digital I/O

The NI USB-6008/6009 has 12 digital lines on two ports, Port 0 has eight lines, P0.<0..7>, and Port 1 has four lines, P1.<0..3>. GND is the ground-reference signal for the digital I/O ports. You can individually program all lines as inputs or outputs.

Figure 14 shows P0.<0..7> connected to example signals configured as digital inputs and digital outputs. You can configure P1.<0..3> similarly.

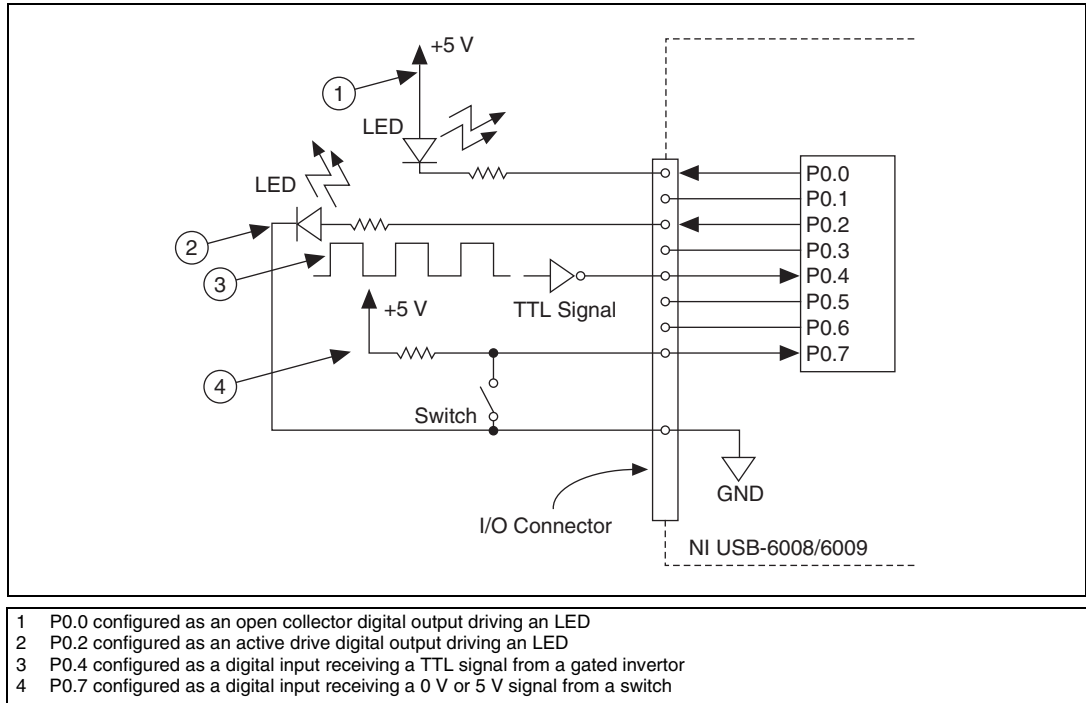


Figure 14. Example of Connecting a Load



Caution Exceeding the maximum input voltage ratings or maximum output ratings, which are listed in the [Specifications](#) section, can damage the device and the computer. National Instruments is *not* liable for any damage resulting from such signal connections.

Source/Sink Information

The default configuration of the NI USB-6008/6009 digital I/O ports is open collector, allowing 5 V operation, with an onboard 4.7 k Ω pull-up resistor. An external user-provided pull-up resistor can be added to increase the source current drive up to a 8.5 mA limit per line as shown in Figure 15.¹

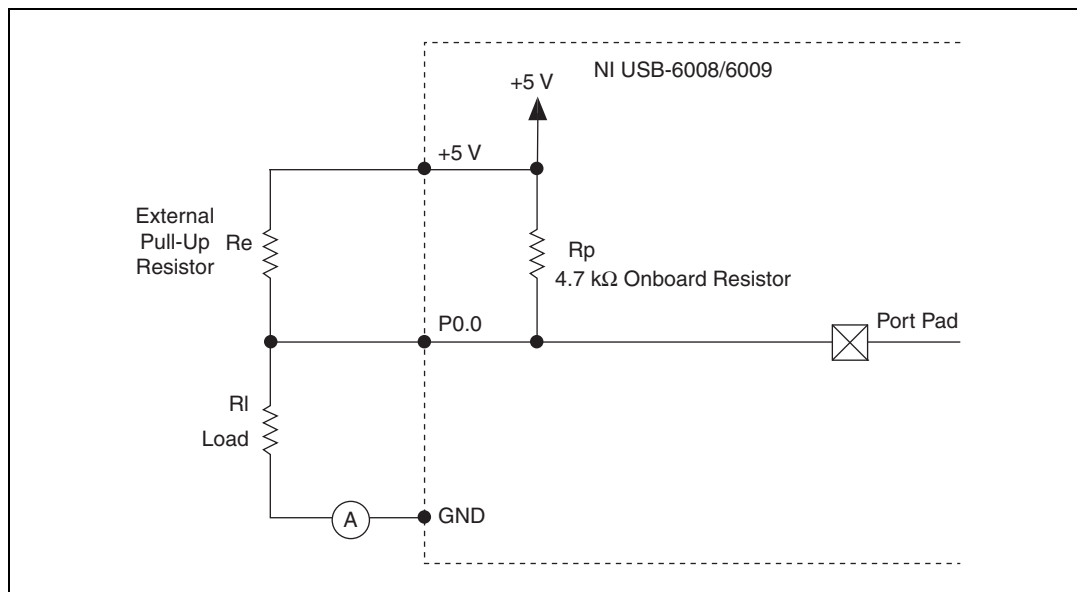


Figure 15. Example of Connecting an External User-Provided Resistor

The NI USB-6009 ports can also be configured as active drive using the NI-DAQmx API, allowing 3.3 V operation with a source/sink current limit of ± 8.5 mA. For more information about how to set the DIO configuration, refer to the KnowledgeBase document, *Configuring NI Devices to be Open-Drain (Open Collector) or Push-Pull (Active Drive)*. To access this document, go to ni.com/info and enter the Info Code `ex52sp`.

Complete the following steps to determine the value of the user-provided pull-up resistor:

1. Place an ammeter in series with the load.
2. Place a variable resistor between the digital output line and the +5 V supply.
3. Set P0.0 to high.
4. Adjust the variable resistor until the ammeter current reads as the intended current. The intended current must be less than 8.5 mA.
5. Remove the ammeter and variable resistor from your circuit.
6. Measure the resistance of the variable resistor. The measured resistance is the ideal value of the pull-up resistor.
7. Select a static resistor value for your pull-up resistor that is greater than or equal to the ideal resistance.
8. Reconnect the load circuit and the pull-up resistor.

¹ This document uses NI-DAQmx naming conventions. Open-drain is called open collector and push-pull is called active drive.

I/O Protection

To protect the NI USB-6008/6009 against overvoltage, undervoltage, and overcurrent conditions, as well as ESD events, you should avoid these fault conditions by using the following guidelines:

- If you configure a DIO line as an output, do *not* connect it to any external signal source, ground signal, or power supply.
- If you configure a DIO line as an output, understand the current requirements of the load connected to these signals. Do *not* exceed the specified current output limits of the DAQ device.

National Instruments has several signal conditioning solutions for digital applications requiring high current drive.

- If you configure a DIO line as an input, do *not* drive the line with voltages outside of its normal operating range. The DIO lines have a smaller operating range than the AI signals.
- Treat the DAQ device as you would treat any static-sensitive device. Always properly ground yourself and the equipment when handling the DAQ device or connecting to it.

Power-On States

At system startup and reset, the hardware sets all DIO lines to high-impedance inputs. The DAQ device does not drive the signal high or low. Each line has a weak pull-up resistor connected to it.

Static DIO

Each of the NI USB-6008/6009 DIO lines can be used as a static DI or DO line. You can use static DIO lines to monitor or control digital signals. All samples of static DI lines and updates of DO lines are software-timed.

PFI 0

PFI 0 is configurable as either a digital trigger input or an event counter input.

Using PFI 0 as a Digital Trigger

When an analog input task is defined, you can configure PFI 0 as a digital trigger input. When the digital trigger is enabled, the AI task waits for a rising or falling edge on PFI 0 before starting the acquisition. To use AI Start Trigger (ai/StartTrigger) with a digital source, specify PFI 0 as the source and select a rising or falling edge.

Using PFI 0 as an Event Counter

You can configure PFI 0 as a source for counting digital edges. In this mode, falling-edge events are counted using a 32-bit counter. For more information about event timing requirements, refer to the [Specifications](#) section.

External Reference and Power Source

The NI USB-6008/6009 creates an external reference and supplies a power source. All voltages are relative to ground (GND).

+2.5 V External Reference

The NI USB-6008/6009 creates a high-purity reference voltage supply for the ADC using a multi-state regulator, amplifier, and filter circuit. You can use the resulting +2.5 V reference voltage as a signal for self-test.

+5 V Power Source

The NI USB-6008/6009 supplies a 5 V, 200 mA output. You can use this source to power external components.



Note When the device is in USB suspend, the output is disabled.

Specifications

The following specifications are typical at 25 °C, unless otherwise noted.

Analog Input

Analog inputs	
Differential.....	4
Single-ended	8, software-selectable
Input resolution	
NI USB-6008	
Differential.....	12 bits
Single-ended	11 bits
NI USB-6009	
Differential.....	14 bits
Single-ended	13 bits
Max sample rate (aggregate) ¹	
NI USB-6008	10 kS/s
NI USB-6009	48 kS/s
Converter type	Successive approximation
AI FIFO.....	512 bytes
Timing resolution.....	41.67 ns (24 MHz timebase)
Timing accuracy.....	100 ppm of actual sample rate
Input range	
Differential.....	±20 V ² , ±10 V, ±5 V, ±4 V, ±2.5 V, ±2 V, ±1.25 V, ±1 V
Single-ended	±10 V

¹ System-dependent.

² ±20 V means that $|AI+ - (AI-)| \leq 20$ V. However, AI+ and AI- must both be within ±10 V of GND. Refer to the [Taking Differential Measurements](#) section for more information.

Working voltage..... ± 10 V

Input impedance.....144 k Ω

Overvoltage protection..... ± 35 V

Trigger sourceSoftware or external digital trigger

System noise¹

 Differential

± 20 V range5 mVrms

± 1 V range0.5 mVrms

 Single-ended

± 10 V range5 mVrms

Absolute accuracy at full scale, differential²

Range (V)	Typical at 25 °C (mV)	Maximum over Temperature (mV)
± 20	14.7	138
± 10	7.73	84.8
± 5	4.28	58.4
± 4	3.59	53.1
± 2.5	2.56	45.1
± 2	2.21	42.5
± 1.25	1.70	38.9
± 1	1.53	37.5

Absolute accuracy at full scale, single-ended

Range (V)	Typical at 25 °C (mV)	Maximum over Temperature (mV)
± 10	14.7	138

Analog Output

Analog outputs2

Output resolution12 bits

Maximum update rate150 Hz, software-timed

Output range0 to +5 V

Output impedance50 Ω

Output current drive5 mA

Power-on state0 V

¹ System noise measured at maximum sample rate.

² Input voltages may not exceed the working voltage range.

Digital I/O

Event Counter

Number of counters	1
Resolution	32 bits
Counter measurements.....	Edge counting (falling-edge)
Counter direction	Count up
Pull-up resistor	4.7 k Ω to 5 V
Maximum input frequency.....	5 MHz
Minimum high pulse width.....	100 ns
Minimum low pulse width.....	100 ns
Input high voltage	2.0 V
Input low voltage	0.8 V

Bus Interface

USB specification	USB 2.0 full-speed
USB bus speed	12 Mb/s

Power Requirements

USB	
4.10 to 5.25 VDC	
Typical.....	80 mA
Maximum.....	500 mA
USB suspend	
Typical.....	300 μ A
Maximum.....	500 μ A

Physical Characteristics

Dimensions	Refer to Figure 16.
Without connectors	63.5 mm $\times$ 85.1 mm $\times$ 23.2 mm (2.50 in. $\times$ 3.35 in. $\times$ 0.91 in.)
With connectors	81.8 mm $\times$ 85.1 mm $\times$ 23.2 mm (3.22 in. $\times$ 3.35 in. $\times$ 0.91 in.)

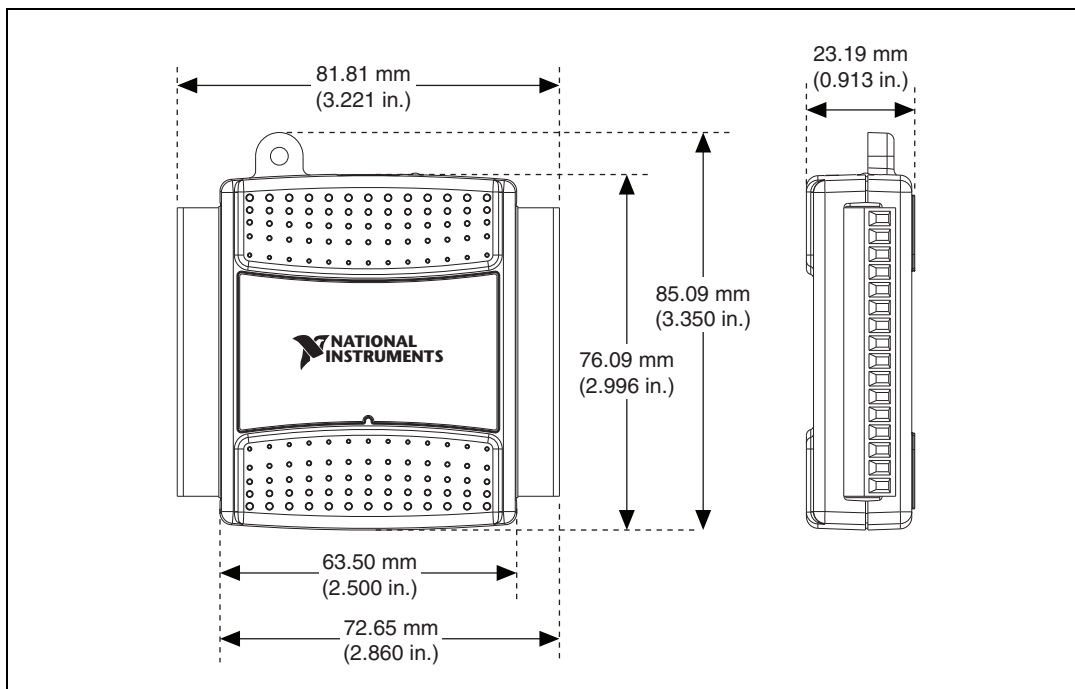


Figure 16. NI USB-6008/6009 Dimensions

Weight

Without connectors54 g (1.9 oz)

With connectors84 g (3 oz)

I/O connectors.....USB series B receptacle,
(2) 16 position screw terminal plugs

Screw-terminal wiring16 to 28 AWG

Torque for screw terminals0.22–0.25 N · m (2.0–2.2 lb · in.)

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

Safety Voltages

Connect only voltages that are within these limits.

Channel-to-GND.....±30 V max, Measurement Category I

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



Caution Do *not* use this module for connection to signals or for measurements within Measurement Categories II, III, or IV.

Environmental

Temperature (IEC 60068-2-1 and IEC 60068-2-2)

Operating0 to 55 °C

Storage–40 to 85 °C

Humidity (IEC 60068-2-56)

Operating5 to 95% RH, noncondensing

Storage5 to 90% RH, noncondensing

Pollution Degree (IEC 60664)2

Maximum altitude.....2,000 m

Indoor use only.

Safety

This product meets the requirements of the following standards of safety for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 61010-1, CSA 61010-1



Note For UL and other safety certifications, refer to the product label or the [Online Product Certification](#) section.

Electromagnetic Compatibility

This product meets the requirements of the following EMC standards for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- EN 61326-1 (IEC 61326-1): Class A emissions; Basic immunity
- EN 55011 (CISPR 11): Group 1, Class A emissions
- AS/NZS CISPR 11: Group 1, Class A emissions
- FCC 47 CFR Part 15B: Class A emissions
- ICES-001: Class A emissions



Note In the United States (per FCC 47 CFR), Class A equipment is intended for use in commercial, light-industrial, and heavy-industrial locations. In Europe, Canada, Australia and New Zealand (per CISPR 11) Class A equipment is intended for use only in heavy-industrial locations.



Note Group 1 equipment (per CISPR 11) is any industrial, scientific, or medical equipment that does not intentionally generates radio frequency energy for the treatment of material or inspection/analysis purposes.



Note For EMC declarations and certifications, and additional information, refer to the [Environmental Management](#) section.

CE Compliance

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

- 2006/95/EC; Low-Voltage Directive (safety)
- 2004/108/EC; Electromagnetic Compatibility Directive (EMC)

Online Product Certification

To obtain product certifications and the Declaration of Conformity (DoC) for this product, visit ni.com/certification, search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

Environmental Management

NI is committed to designing and manufacturing products in an environmentally responsible manner. NI recognizes that eliminating certain hazardous substances from our products is beneficial to the environment and to NI customers.

For additional environmental information, refer to the *NI and the Environment* Web page at ni.com/environment. This page contains the environmental regulations and directives with which NI complies, as well as other environmental information not included in this document.



Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)

EU Customers The symbol indicates that the waste products should be disposed of separately from municipal household waste according to Directive 2002/96/EC of the European Parliament and the Council on waste electrical and electronic equipment (WEEE). At the end of the product life cycle, all products must be sent to a WEEE collection and recycling center. Proper disposal of WEEE reduces the environmental impact and risk to human health due to potentially hazardous substances that are generally used in such equipment. Your cooperation in the correct disposal of the products will contribute to the effective usage of natural resources. For information about the available collection and recycling scheme in a particular country, refer to ni.com/citizenship/weee.

电子信息产品污染控制管理办法（中国 RoHS）



中国客户 National Instruments 符合中国电子信息产品中限制使用某些有害物质指令 (RoHS)。关于 National Instruments 中国 RoHS 合规性信息，请登录 ni.com/environment/rohs_china。(For information about China RoHS compliance, go to ni.com/environment/rohs_china.)

Where to Go from Here

This section lists where you can find example programs for the NI USB-6008/6009 and relevant documentation.

Example Programs

NI-DAQmx and NI-DAQmx software include example programs to help you get started programming with the NI USB-6008/6009. Modify example code and save it in an application, or use examples to develop a new application, or add example code to an existing application.

NI-DAQmx

To locate NI software examples, go to ni.com/info and enter the Info Code `daqmxexp`. For additional examples, refer to zone.ni.com.

To run examples without the device installed, use an NI-DAQmx simulated device. For more information, in Measurement & Automation Explorer (MAX), select **Help»Help Topics»NI-DAQmx»MAX Help for NI-DAQmx** and search for simulated devices.

NI-DAQmx Base

NI-DAQmx Base examples are accessible from **Start»All Programs»National Instruments»NI-DAQmx Base»Examples**.

Related Documentation

Each application software package and driver includes information about writing applications for taking measurements and controlling measurement devices. The following references to documents assume you have NI-DAQmx 9.3 or later, and where applicable, version 8.5 or later of the NI application software.

NI-DAQmx

The *NI USB-6008/6009 Quick Start* packaged with the NI USB-6008/6009 describes how to install NI-DAQmx software, install the device, and confirm that your device is operating properly.

The *NI-DAQ Readme* lists which devices, ADEs, and NI application software are supported by this version of NI-DAQ. Select **Start»All Programs»National Instruments»NI-DAQ»NI-DAQ Readme**.

The *NI-DAQmx Help* contains API overviews, general information about measurement concepts, key NI-DAQmx concepts, and common applications that are applicable to all programming environments. Select **Start»All Programs»National Instruments»NI-DAQ»NI-DAQmx Help**.

NI-DAQmx Base (Linux/Mac OS X/LabVIEW PDA 8.x)

The *NI-DAQmx Base Getting Started Guide* describes how to install your NI-DAQmx Base software, your NI-DAQmx Base-supported DAQ device, and how to confirm that your device is operating properly. In Windows, select **Start»All Programs»National Instruments»NI-DAQmx Base»Documentation»NI-DAQmx Base Getting Started Guide**.

The *Getting Started with NI-DAQmx Base for Linux and Mac OS X Users* document describes how to install your NI-DAQmx Base software, your NI-DAQmx Base-supported DAQ device, and how to confirm that your device is operating properly on your Linux or Mac machine.

The *NI-DAQmx Base Readme* lists which devices are supported by a version of NI-DAQmx Base. In Windows, select **Start»All Programs»National Instruments»NI-DAQmx Base»DAQmx Base Readme**.

The *NI-DAQmx Base VI Reference Help* contains VI reference and general information about measurement concepts. In LabVIEW, select **Help»NI-DAQmx Base VI Reference Help**.

The *NI-DAQmx Base C Function Reference Help* contains C reference and general information about measurement concepts. In Windows, select **Start»All Programs»National Instruments»NI-DAQmx Base»Documentation»C Function Reference Help**.



Note All NI-DAQmx Base documentation for Linux is installed at `/usr/local/natinst/nidaqmxbase/documentation`.



Note All NI-DAQmx Base documentation for Mac OS X is installed at `/Applications/National Instruments/NI-DAQmx Base/documentation`.

LabVIEW

If you are a new user, use the *Getting Started with LabVIEW* manual to familiarize yourself with the LabVIEW graphical programming environment and the basic LabVIEW features you use to build data acquisition and instrument control applications. Open the *Getting Started with LabVIEW* manual by selecting **Start»All Programs»National Instruments»LabVIEW»LabVIEW Manuals** or by navigating to the `labview\manuals` directory and opening `LV_Getting_Started.pdf`.

Use the *LabVIEW Help*, available by selecting **Help»LabVIEW Help** in LabVIEW, to access information about LabVIEW programming concepts, step-by-step instructions for using LabVIEW, and reference information about LabVIEW VIs, functions, palettes, menus, and tools. Refer to the following locations on the **Contents** tab of the *LabVIEW Help* for information about NI-DAQmx:

- **Getting Started with LabVIEW»Getting Started with DAQ**—Includes overview information and a tutorial to learn how to take an NI-DAQmx measurement in LabVIEW using the DAQ Assistant.
- **VI and Function Reference»Measurement I/O VIs and Functions» DAQmx - Data Acquisition VIs and Functions**—Describes the LabVIEW NI-DAQmx VIs and functions.
- **Property and Method Reference»NI-DAQmx Properties** contains the property reference.
- **Taking Measurements**—Contains the conceptual and how-to information you need to acquire and analyze measurement data in LabVIEW, including common measurements, measurement fundamentals, NI-DAQmx key concepts, and device considerations.

LabWindows/CVI

The **Data Acquisition** book of the *LabWindows/CVI Help* contains *Taking an NI-DAQmx Measurement in LabWindows/CVI*, which includes step-by-step instructions about creating a measurement task using the DAQ Assistant. In LabWindows™/CVI™, select **Help»Contents**, then select **Using LabWindows/CVI»Data Acquisition**. This book also contains information about accessing detailed information through the *NI-DAQmx Help*.

The **NI-DAQmx Library** book of the *LabWindows/CVI Help* contains API overviews and function reference for NI-DAQmx. Select **Library Reference»NI-DAQmx Library** in the *LabWindows/CVI Help*.

Measurement Studio

If you program your NI-DAQmx-supported device in Measurement Studio using Visual C# or Visual Basic .NET, you can interactively create channels and tasks by launching the DAQ Assistant from MAX or from within Visual Studio. You can use Measurement Studio to generate the configuration code based on your task or channel. Refer to the *DAQ Assistant Help* for additional information about generating code.

The *NI Measurement Studio Help* is fully integrated with the Microsoft Visual Studio help. To view this help file in Visual Studio, select **Measurement Studio»NI Measurement Studio Help**. For information related to developing with NI-DAQmx, refer to the following topics within the *NI Measurement Studio Help*:

- For step-by-step instructions on how to create an NI-DAQmx application using the Measurement Studio Application Wizard and the DAQ Assistant, refer to *Walkthrough: Creating a Measurement Studio NI-DAQmx Application*.
- For help with NI-DAQmx methods and properties, refer to *NationalInstruments.DAQmx Namespace* and *NationalInstruments.DAQmx.ComponentModel Namespace*.
- For conceptual help with NI-DAQmx, refer to *Using the Measurement Studio NI-DAQmx .NET Library* and *Developing with Measurement Studio NI-DAQmx*.
- For general help with programming in Measurement Studio, refer to *Getting Started with the Measurement Studio Class Libraries*.

To create an application in Visual Basic .NET or Visual C#, follow these general steps:

1. In Visual Studio, select **File»New»Project** to launch the New Project dialog box.
2. In the Project types pane, expand the **Visual Basic** or **Visual C#** node, depending on which language you want to create the project in, and select **Measurement Studio**.
3. Choose a project type. You add DAQ tasks as a part of this step.

ANSI C without NI Application Software

The *NI-DAQmx Help* contains API overviews and general information about measurement concepts. Select **Start»All Programs»National Instruments»NI-DAQ»NI-DAQmx Help**.

The *NI-DAQmx C Reference Help* describes the NI-DAQmx Library functions, which you can use with National Instruments data acquisition devices to develop instrumentation, acquisition, and control applications. Select **Start»All Programs»National Instruments»NI-DAQ»Text-Based Code Support»NI-DAQmx C Reference Help**.

.NET Languages without NI Application Software

With the Microsoft .NET Framework version 2.0 or later, you can use NI-DAQmx to create applications using Visual C# and Visual Basic .NET without Measurement Studio. You need Microsoft Visual Studio .NET 2005 or later for the API documentation to be installed.

The installed documentation contains the NI-DAQmx API overview, measurement tasks and concepts, and function reference. This help is fully integrated into the Visual Studio documentation. To view the NI-DAQmx .NET documentation, go to **Start»All Programs»National Instruments»NI-DAQ»Text-Based Code Support**. For function reference, refer to the *NationalInstruments.DAQmx Namespace* and *NationalInstruments.DAQmx.ComponentModel Namespace* topics. For conceptual help, refer to the *Using the Measurement Studio NI-DAQmx .NET Library* and *Developing with Measurement Studio NI-DAQmx* sections.

To get to the same help topics from within Visual Studio 2005 or 2008, go to **Help»Contents** and select **Measurement Studio** from the **Filtered By** drop-down list. To get to the same help topics from within

Visual Studio 2010, go to **Help»View Help** and select **NI Measurement Studio Help** from the **Related Links** section.

Training Courses

If you need more help getting started developing an application with NI products, NI offers training courses. To enroll in a course or obtain a detailed course outline, refer to ni.com/training.

Technical Support on the Web

For additional support, refer to ni.com/support or zone.ni.com.



Note You can download these documents at ni.com/manuals.

DAQ specifications and some DAQ manuals are available as PDFs. You must have Adobe Acrobat Reader with Search and Accessibility 5.0.5 or later installed to view the PDFs. Refer to the Adobe Systems Incorporated Web site at www.adobe.com to download Acrobat Reader. Refer to the National Instruments Product Manuals Library at ni.com/manuals for updated documentation resources.

Where to Go for Support

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

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

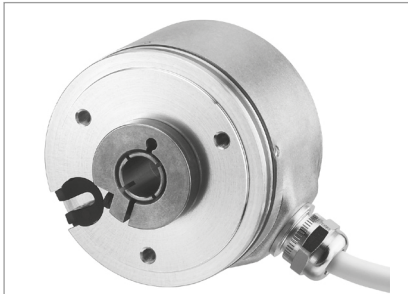
National Instruments corporate headquarters is located at 11500 North Mopac Expressway, Austin, Texas, 78759-3504. National Instruments also has offices located around the world to help address your support needs. For telephone support in the United States, create your service request at ni.com/support and follow the calling instructions or dial 512 795 8248. For telephone support outside the United States, visit the Worldwide Offices section of ni.com/niglobal to access the branch office Web sites, which provide up-to-date contact information, support phone numbers, email addresses, and current events.

CVI, LabVIEW, National Instruments, NI, ni.com, the National Instruments corporate logo, and the Eagle logo are trademarks of National Instruments Corporation. Refer to the *Trademark Information* at ni.com/trademarks for other National Instruments trademarks. The mark LabWindows is used under a license from Microsoft Corporation. Windows is a registered trademark of Microsoft Corporation in the United States and other countries. Other product and company names mentioned herein are trademarks or trade names of their respective companies. For patents covering National Instruments products/technology, refer to the appropriate location: **Help»Patents** in your software, the `patents.txt` file on your media, or the *National Instruments Patent Notice* at ni.com/patents. Refer to the *Export Compliance Information* at ni.com/legal/export-compliance for the National Instruments global trade compliance policy and how to obtain relevant HTS codes, ECCNs, and other import/export data.

Standard Industrial types RI 58-D / RI 58TD

Incremental

Hollow shaft



Clamping shaft



Blind shaft

- Direct mounting without coupling
- Flexible hollow shaft design up to diameter 14 mm
- Through hollow shaft or as end shaft (blind shaft)
- Easy installation by means of clamping shaft or blind shaft
- Short overall length of 33 mm
- Fixing of flange by means of a stator coupling or set screw
- Various shaft versions
- Applications: actuators, motors
- Operating temperature up to 100 °C (RI 58TD)



NUMBER OF PULSES

RI 58-D

1 / 2 / 3 / 4 / 5 / 10 / 20 / 25 / 30 / 35 / 40 / 45 / 50 / 60 / 64 / 70 / 72 / 80 / **100** / 125 / 128 / 144 / 150 / 180 / 200 / **250** / 256 / 300 / 314 / 350 / 360 / 375 / 400 / 460 / 480 / **500** / 512 / 600 / 625 / 720 / 900 / **1000** / **1024** / **1250** / 1500 / 1600 / 1800 / 2000 / 2048 / **2500** / 3000 / 3480 / **3600** / 4000 / **4096** / **5000**

Other number of pulses on request

Preferably available versions are printed in bold type.

NUMBER OF PULSES

RI 58TD

4 / 5 / 10 / 20 / 25 / 30 / 35 / 40 / 45 / 50 / 60 / 64 / 70 / 72 / 80 / **100** / 125 / 128 / 144 / 150 / 180 / 200 / **250** / 256 / 300 / 314 / 350 / 360 / 375 / 400 / 460 / 480 / **500** / 512 / 600 / 625 / 720 / 900 / **1000** / **1024** / **1250** / 1500 / 1600 / 1800 / 2000 / 2048 / **2500**

Other number of pulses on request

Preferably available versions are printed in bold type.

TECHNICAL DATA mechanical

Housing diameter	58 mm
Shaft diameter ¹	10 mm / 12 mm (Through hollow shaft) 10 mm / 12 mm / 14 mm (Hubshaft)
Flange (Mounting of housing)	Synchro flange
Mounting of shaft	RI 58-D: Front clamping ring, Center bolt RI 58TD: Front clamping ring, Rear clamping ring, Center bolt
Protection class shaft input (EN 60529)	IP64
Protection class housing (EN 60529)	Through hollow shaft - D: IP64 Hubshaft - E,F: IP65

Standard Industrial types RI 58-D / RI 58TD

Incremental

Hollow shaft

TECHNICAL DATA mechanical (continued)

Shaft tolerance	Ø 10 mm, tolerance g8 (-0.005 ... -0.027 mm), Ø 12/ 14 mm, tolerance g8 (-0.006 ... -0.033 mm)
Max. speed	Hub shaft - E,F: max. 6000 rpm Through hollow shaft - D: max. 4000 rpm
Starting torque typ.	≤ 1 Ncm (Hub shaft - E,F) ≤ 2 Ncm (Through hollow shaft - D)
Moment of inertia	approx. 35 gcm ² (Hub shaft with clamping ring front - F) approx. 20 gcm ² (Hub shaft, mounting with set screw - E) approx. 60 gcm ² (Through hollow shaft with clamping ring front - D)
Vibration resistance (DIN EN 60068-2-6)	10 g = 100 m/s ² (10 ... 2000 Hz)
Shock resistance (DIN EN 60068-2-27)	100 g = 1000 m/s ² (6 ms)
Operating temperature	RI 58-D: -10 °C ... +70 °C RI 58TD: -25 °C ... +100 °C
Storage temperature	-25 °C ... +85 °C
Material housing	Aluminum
Weight	approx. 170 g with hubshaft (E,F), approx. 190 g with through hollow shaft (D)
Connection ²	Cable, axial or radial M23 connector (Conin), radial

¹ Other shaft diameters on request

² Standard cable length: 1.5 m cable, other cable length on request (only RI 58TD)

TECHNICAL DATA electrical

General design	as per DIN VDE 0160, protection class III, contamination level 2, overvoltage class II
Supply voltage ¹	RS422 + Sense (T): DC 5 V ±10 % RS422 + Alarm (R): ± 10% DC 5 V or DC 10 - 30 V Push-pull (K), Push-pull antivalent (I): DC 10-30 V
Current w/o load typ.	40 mA (DC 5 V), 60 mA (DC 10 V), 30 mA (DC 24 V)
Max. pulse frequency	RS422: 300 kHz Push-pull: 200 kHz
Standard output versions ²	RS422 + Alarm (R): A, B, N, $\overline{A}$, $\overline{B}$, $\overline{N}$, $\overline{Alarm}$ RS422 + Sense (T): A, B, N, $\overline{A}$, $\overline{B}$, $\overline{N}$, Sense Push-pull (K): A, B, N, $\overline{Alarm}$ Push-pull complementary (I): A, B, N, $\overline{A}$, $\overline{B}$, $\overline{N}$, $\overline{Alarm}$
Pulse width error	± max. 25° electrical
Number of pulses	1 ... 5000
Alarm output	NPN-O.C., max. 5 mA
Pulse shape	Square wave
Pulse duty factor	1:1

¹ With push-pull (K): pole protection

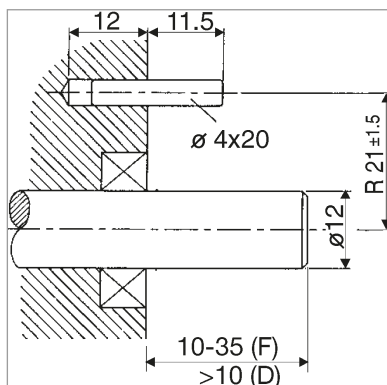
² Output description and technical data see chapter "Technical basics"

Incremental

Hollow shaft

MOUNTING NECESSITIES

In order to be able to compensate an axial and radial misalignment of the shaft, the encoder flange must not be fixed rigidly. Fix the flanges by means of a stator coupling (e.g. hubshaft with tether) as torque support (see "Accessories") or by means of a cylindrical pin:



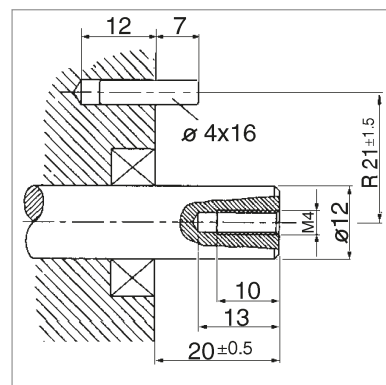
Dimensions in mm
also apply for shaft-Ø 10 or 14
Mounting = D, F (Clamping ring)
Preparation of the machine flange¹

(all mounting versions):

In the machine flange a straight pin must be installed (diameter 4x16 resp. 4x20, DIN 6325).

This pin is required as a torque support.

1 Or as an option: stator coupling as torque support



Dimensions in mm
also apply for shaft-Ø 10 or 14
Mounting = E (mounting with center screw)
Preparation of the drive shaft

(only in mounting = E):

The drive shaft must be provided with a threaded bore M 4 x 10:

This bore accepts the fastening screw of the shaft encoder.

ELECTRICAL CONNECTIONS

Cable PVC

Cable PVC Colour	Output circuit RS422 + Sense (T)	RS422 + Alarm (R)	push-pull (K)	push-pull complementary (I)
white	Channel A	Channel A	Channel A	Channel A
white/brown	Channel $\bar{A}$	Channel $\bar{A}$		Channel $\bar{A}$
green	Channel B	Channel B	Channel B	Channel B
green/brown	Channel $\bar{B}$	Channel $\bar{B}$		Channel $\bar{B}$
yellow	Channel N	Channel N	Channel N	Channel N
yellow/brown	Channel $\bar{N}$	Channel $\bar{N}$		Channel $\bar{N}$
yellow/black	Sense GND	Alarm	Alarm	Alarm
yellow/red	Sense V _{CC}	Sense V _{CC}		Sense V _{CC}
red	DC 5 V	DC 5 / 10 - 30 V	DC 10 - 30 V	DC 10 - 30 V
black	GND	GND	GND	GND
Cable screen ¹	Cable screen ¹	Cable screen ¹	Cable screen ¹	Cable screen ¹

¹ connected with encoder housing

Standard Industrial types RI 58-D / RI 58TD

Incremental

Hollow shaft

ELECTRICAL CONNECTIONS

Cable TPE

Cable TPE Colour	Output circuit			
	RS422 + Sense (T)	RS422 + Alarm (R)	push-pull (K)	push-pull complementary (I)
brown	Channel A	Channel A	Channel A	Channel A
green	Channel $\bar{A}$	Channel $\bar{A}$		Channel $\bar{A}$
grey	Channel B	Channel B	Channel B	Channel B
pink	Channel $\bar{B}$	Channel $\bar{B}$		Channel $\bar{B}$
red	Channel N	Channel N	Channel N	Channel N
black	Channel $\bar{N}$	Channel $\bar{N}$		Channel $\bar{N}$
violet (white) ¹	Sense GND	Alarm	Alarm	Alarm
blue	Sense V _{CC}	Sense V _{CC}		Sense V _{CC}
brown/green	DC 5 V	DC 5 / 10 - 30 V	DC 10 - 30 V	DC 10 - 30 V
white/green	GND	GND	GND	GND
Cable screen ²	Cable screen ²	Cable screen ²	Cable screen ²	Cable screen ²

¹ white with RS422 + Sense (T)

² connected with encoder housing

ELECTRICAL CONNECTIONS

M23 connector (Conin), 12 pole

Pin	RS422 + Sense (T)	RS422 + Alarm (R)	push-pull (K)	push-pull complementary (I)
1	Channel $\bar{B}$	Channel $\bar{B}$	N.C.	Channel $\bar{B}$
2	Sense V _{CC}	Sense V _{CC}	N.C.	Sense V _{CC}
3	Channel N	Channel N	Channel N	Channel N
4	Channel $\bar{N}$	Channel $\bar{N}$	N.C.	Channel $\bar{N}$
5	Channel A	Channel A	Channel A	Channel A
6	Channel $\bar{A}$	Channel $\bar{A}$	N.C.	Channel $\bar{A}$
7	N.C.	Alarm	Alarm	Alarm
8	Channel B	Channel B	Channel B	Channel B
9	N.C. ¹	N.C. ¹	N.C. ¹	N.C. ¹
10	GND	GND	GND	GND
11	Sense GND	N.C.	N.C.	N.C.
12	DC 5 V	DC 5/10 - 30 V	DC 10 - 30 V	DC 10 - 30 V

¹ screen for cable with CONIN connector

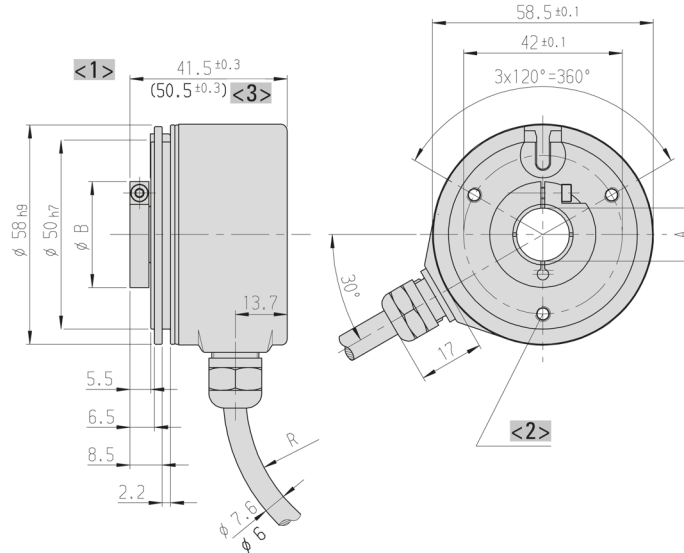
Standard Industrial types RI 58-D / RI 58TD

Incremental

Hollow shaft

DIMENSIONED DRAWINGS (continued)

Mounting D: Through hollow shaft with clamping ring front



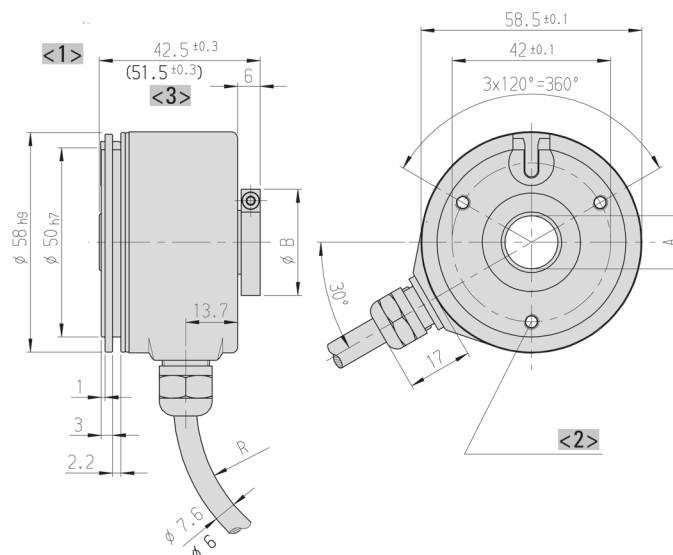
Dim.	Hollow shaft Ø		Unit
A	10 ^{H7}	12 ^{H7}	mm
A*	10 _{g8}	12 _{g8}	mm
B	26	28	mm

A* = diameter of connection shaft

- <1> View turned 60°
 <2> mounting thread M4x5
 <3> value in brackets with version DC 10 - 30 V, RS422
 Cable bending radius R for flexible installation ≥ 100 mm
 Cable bending radius R for fixed installation ≥ 40 mm

Dimensions in mm

Mounting H optional: Through hollow shaft with clamping ring rear on request



Dim.	Hollow shaft Ø		Unit
A	10 ^{H7}	12 ^{H7}	mm
A*	10 _{g8}	12 _{g8}	mm
B	26	28	mm

A* = diameter of connection shaft

- <1> View turned 60°
 <2> mounting thread M4x5
 <3> value in brackets with version DC 10 - 30 V, RS422
 Cable bending radius R for flexible installation ≥ 100 mm
 Cable bending radius R for fixed installation ≥ 40 mm

Dimensions in mm

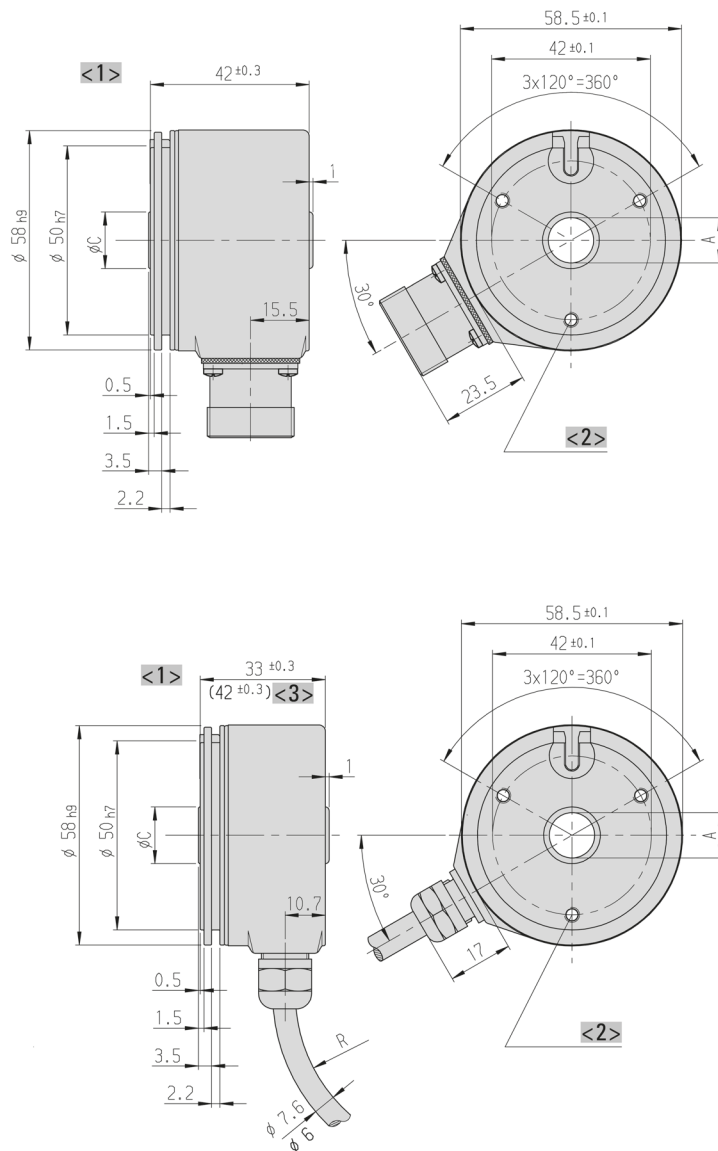
Standard Industrial types RI 58-D / RI 58TD

Incremental

Hollow shaft

DIMENSIONED DRAWINGS (continued)

Mounting E: Hubshaft, mounting with center screw



Dim.	Hollow shaft Ø			Unit
A	10 ^{H7}	12 ^{H7}	14 ^{H7}	mm
A*	10 ^{g8}	12 ^{g8}	14 ^{g8}	mm
C	15	15	17	mm
T	18±0.5	18±0.5	18±0.5	mm

A* = diameter of connection shaft
T = length of custom shaft in encoder

<1> View turned 60°
 <2> mounting thread M4x5
 <3> value in brackets with version DC 10 - 30 V, RS422
 Cable bending radius R for flexible installation ≥ 100 mm
 Cable bending radius R for fixed installation ≥ 40 mm

Dimensions in mm

Standard Industrial types RI 58-D / RI 58TD

Incremental Hollow shaft

ORDERING INFORMATION

Type	Number of pulses	Supply voltage	Flange, Protection, Shaft ³	Output	Connection
☐	☐	☐	☐	☐	☐
RI58-D RI58TD	1 ... 5000	A DC 5 V ¹ E DC 10 - 30 V ²	D.32 Through hollow shaft with clamping ring front, IP64, 10 mm D.37 Through hollow shaft with clamping ring front, IP64, 12 mm E.42 Hubshaft, mounting with set screw, IP64, 10 mm E.47 Hubshaft, mounting with set screw, IP64, 12 mm E.49 Hubshaft, mounting with set screw, IP64, 14 mm F.42 Hubshaft, mounting with clamping ring front, IP64, 10 mm F.47 Hubshaft, mounting with clamping ring front, IP64, 12 mm F.49 Hubshaft, mounting with clamping ring front, IP64, 14 mm	R RS422 +Alarm T RS422 +Sense K Push-pull I Push-pull complementary	B PVC cable, radial F TPE cable, radial D M23 connector (Conin), 12 pole, radial, cw H M23 connector (Conin), 12 pole, radial, ccw

¹ DC 5 V: only with output "T", "R" available

² DC 10 - 30 V: only with output "K", "I", "R" available

³ Mounting (flange) code "D" only with connection code "B", "F" (cable)

ORDERING INFORMATION

Selection of cable length

Versions with cable outlet (connection A, B, E or F) are available with various lengths of cable. To order your desired cable length, please add the respective code to the end of your ordering code. For variants with connector on cable end please add cable length code in between. Further cable lengths on request.

Code	Cable length
without code	1.5 m
-D0	3 m
-F0	5 m
-K0	10 m
-P0	15 m
-U0	20 m
-V0	25 m

Example:

Cable 3 m length: ... B - D0

Cable mit 3 m length and M23 connector, cw: ... B - D0 - I

ACCESSORIES

see chapter "Accessories"

DM74LS14

Hex Inverter with Schmitt Trigger Inputs

General Description

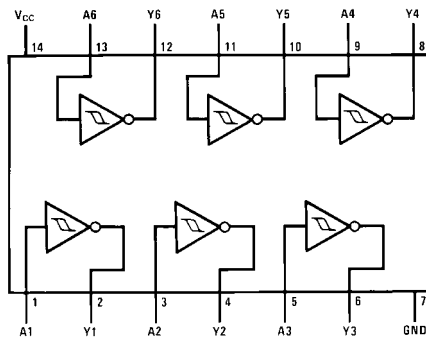
This device contains six independent gates each of which performs the logic INVERT function. Each input has hysteresis which increases the noise immunity and transforms a slowly changing input signal to a fast changing, jitter free output.

Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
DM74LS14M	M14A	14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-120, 0.150 Narrow
DM74LS14SJ	M14D	14-Lead Small Outline Package (SOP), EIAJ TYPE II, 5.3mm Wide
DM74LS14N	N14A	14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300 Wide

Devices also available in Tape and Reel. Specify by appending the suffix letter "X" to the ordering code.

Connection Diagram



Function Table

$$Y = \overline{A}$$

Input	Output
A	Y
L	H
H	L

H = HIGH Logic Level
L = LOW Logic Level

Absolute Maximum Ratings(Note 1)

Supply Voltage	7V
Input Voltage	7V
Operating Free Air Temperature Range	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	–65°C to +150°C

Note 1: The "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. The device should not be operated at these limits. The parametric values defined in the Electrical Characteristics tables are not guaranteed at the absolute maximum ratings. The "Recommended Operating Conditions" table will define the conditions for actual device operation.

Recommended Operating Conditions

Symbol	Parameter	Min	Nom	Max	Units
V_{CC}	Supply Voltage	4.75	5	5.25	V
V_{T+}	Positive-Going Input Threshold Voltage (Note 2)	1.4	1.6	1.9	V
V_{T-}	Negative-Going Input Threshold Voltage (Note 2)	0.5	0.8	1	V
HYS	Input Hysteresis (Note 2)	0.4	0.8		V
I_{OH}	HIGH Level Output Current			–0.4	mA
I_{OL}	LOW Level Output Current			8	mA
T_A	Free Air Operating Temperature	0		70	°C

Note 2: $V_{CC} = 5V$.

Electrical Characteristics

over recommended operating free air temperature range (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ (Note 3)	Max	Units
V_I	Input Clamp Voltage	$V_{CC} = \text{Min}, I_I = -18 \text{ mA}$			–1.5	V
V_{OH}	HIGH Level Output Voltage	$V_{CC} = \text{Min}, I_{OH} = \text{Max}$ $V_{IL} = \text{Max}$	2.7	3.4		V
V_{OL}	LOW Level Output Voltage	$V_{CC} = \text{Min}, I_{OL} = \text{Max}$ $V_{IH} = \text{Min}$ $V_{CC} = \text{Min}, I_{OL} = 4 \text{ mA}$		0.35 0.25	0.5 0.4	V
I_{T+}	Input Current at Positive-Going Threshold	$V_{CC} = 5V, V_I = V_{T+}$		–0.14		mA
I_{T-}	Input Current at Negative-Going Threshold	$V_{CC} = 5V, V_I = V_{T-}$		–0.18		mA
I_I	Input Current @ Max Input Voltage	$V_{CC} = \text{Max}, V_I = 7V$			0.1	mA
I_{IH}	HIGH Level Input Current	$V_{CC} = \text{Max}, V_I = 2.7V$			20	μA
I_{IL}	LOW Level Input Current	$V_{CC} = \text{Max}, V_I = 0.4V$			–0.4	mA
I_{OS}	Short Circuit Output Current	$V_{CC} = \text{Max}$ (Note 4)	–20		–100	mA
I_{CCH}	Supply Current with Outputs HIGH	$V_{CC} = \text{Max}$		8.6	16	mA
I_{CCL}	Supply Current with Outputs LOW	$V_{CC} = \text{Max}$		12	21	mA

Note 3: All typicals are at $V_{CC} = 5V, T_A = 25^\circ\text{C}$.

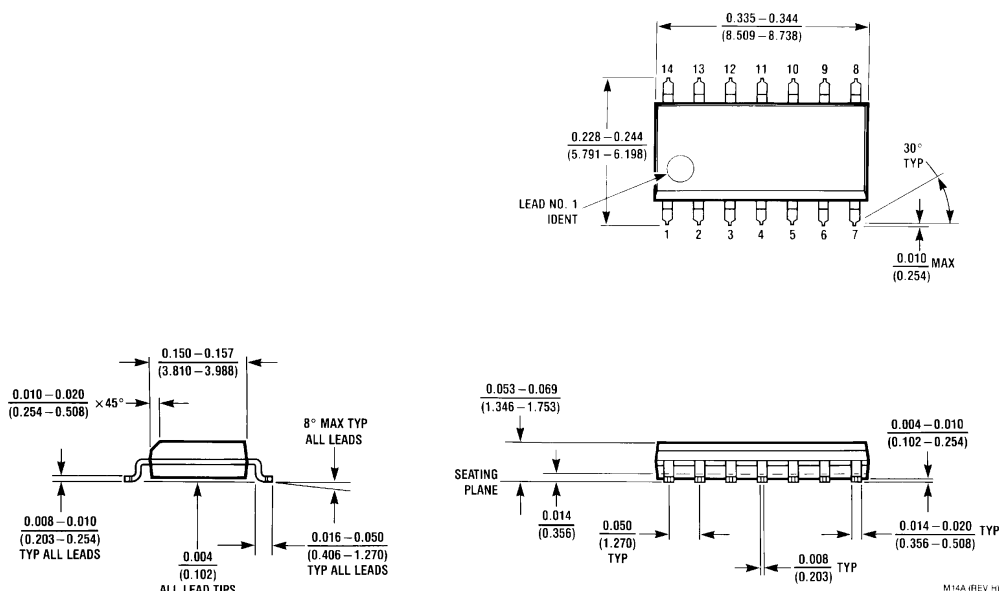
Note 4: Not more than one output should be shorted at a time, and the duration should not exceed one second.

Switching Characteristics

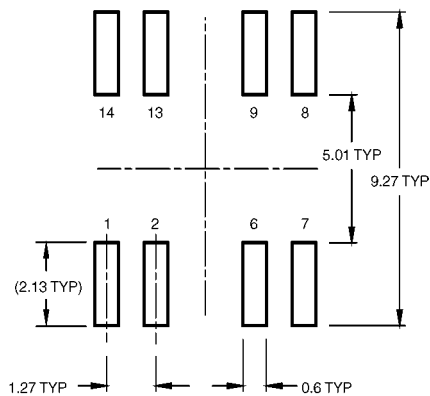
at $V_{CC} = 5V$ and $T_A = 25^\circ\text{C}$

Symbol	Parameter	R _L = 2 kΩ				Units
		C _L = 15 pF		C _L = 50 pF		
		Min	Max	Min	Max	
t _{PLH}	Propagation Delay Time LOW-to-HIGH Level Output	5	22	8	25	ns
t _{PHL}	Propagation Delay Time HIGH-to-LOW Level Output	5	22	10	33	ns

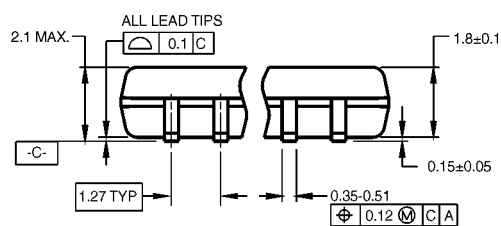
Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



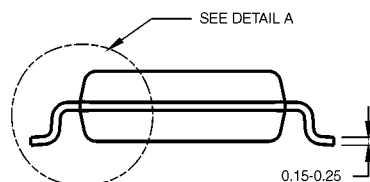
14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-120, 0.150 Narrow Package Number M14A



LAND PATTERN RECOMMENDATION



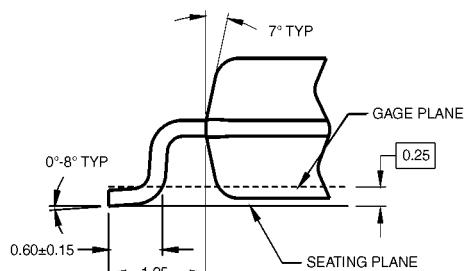
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS



NOTES:

- A. CONFORMS TO EIAJ EDR-7320 REGISTRATION,
ESTABLISHED IN DECEMBER, 1998.
- B. DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS.
- C. DIMENSIONS ARE EXCLUSIVE OF BURRS, MOLD
FLASH, AND TIE BAR EXTRUSIONS.

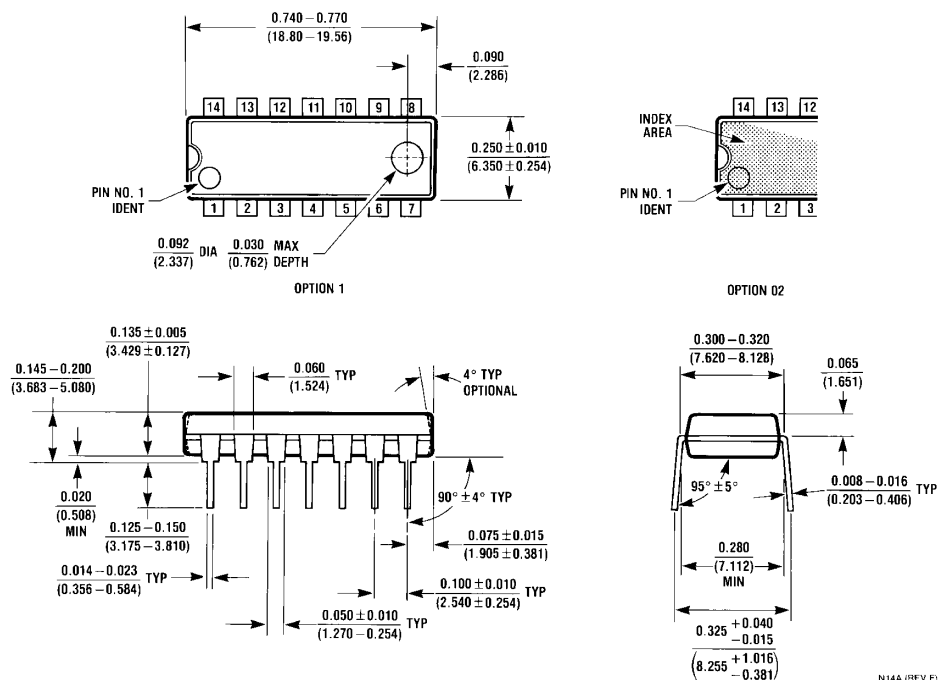
M14DRevB1



DETAIL A

**14-Lead Small Outline Package (SOP), EIAJ TYPE II, 5.3mm Wide
Package Number M14D**

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300 Wide Package Number N14A

Fairchild does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and Fairchild reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component in any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

www.fairchildsemi.com

This datasheet has been downloaded from:

www.DatasheetCatalog.com

Datasheets for electronic components.

MD22 - Dual 24Volt 5Amp H Bridge Motor Drive

Overview

The MD22 is a robust low/medium power motor driver, designed to supply power for two motors. Main features are:

1. Drives two motors with independent control.
2. Ease of use and flexibility.
3. The 15v MOSFET drive voltage is generated onboard with a charge pump, so the module requires only two supply voltages;
 - a) A standard 5V supply for the control logic, only 50mA maximum is required.
 - b) The H-Bridge has a rating of 60v allowing Motor voltages up to 24vdc.
4. Steering feature, motors can be commanded to turn by I2C register or input (Analogue + Servo).
5. Control of the module can be any of;
 - a) I2C bus, up to 8 MD22 modules, switch selectable addresses and 4 modes of operation including steering..
 - b) 2 independent 0v-2.5v-5v analog inputs. 0v full reverse, 2.5v center stop, 5v full forward.
 - c) 0v-2.5v-5v analog input for speed ,with the other channel for steering.
 - d) independent channel RC mode. Motors are individually Controlled directly from the RC receiver output.
 - e) RC mode with steering, allows speed control with one stick of radio control, and steering with the other.
6. Uses high current MOSFETs, making a very robust module.

MD22 Connections

Note -
There is
no fuse
on the
PCB.
You
should
provide
a 10A
fuse in
line with
the +v
battery
terminal

Don't
Ignore
this,
High
currents
can be
dangero
us!



The Motor Ground and the Logic Ground are internally connected on the Module. Be sure to use cable rated for at least 10A for the Battery, Fuse and Motor leads.

Motor Noise Suppression

Please note that using motors with the MD22 as with any other electronic device requires suppression of noise. This is easily achieved by the addition of a 10nF snubbing capacitor across the motors. The capacitor should also be capable of handling a voltage of twice the drive voltage to the motor.

Mode Switches

Mode	Switch 1	Switch 2	Switch 3	Switch 4
I2C Bus - address 0xB0	On	On	On	On
I2C Bus - address 0xB2	Off	On	On	On
I2C Bus - address 0xB4	On	Off	On	On
I2C Bus - address 0xB6	Off	Off	On	On
I2C Bus - address 0xB8	On	On	Off	On
I2C Bus - address 0xBA	Off	On	Off	On
I2C Bus - address 0xBC	On	Off	Off	On
I2C Bus - address 0xBE	Off	Off	Off	On
0v - 2.5v - 5v Analog	On	On	On	Off
0v - 2.5v - 5v Analog + Turn	Off	On	On	Off
RC Servo	On	Off	On	Off
RC Servo + Turn	Off	Off	On	Off

The 4 mode switches set the operating mode of the MD22. They are read once only when the module is powered up. You cannot switch modes while the unit is on.

New modes from version 3(Dec 2004)

RC Servo, timeout on	On	On	Off	Off
RC Servo + turn, timeout on	Off	On	Off	Off

New modes from version 9(Mar 2006)

Analogue turn mode 2	On	Off	Off	Off
RC Servo, turn mode 2, timeout on	Off	Off	Off	Off

Note that I2C addresses are the upper 7 bits. Bit 0 the the read/write bit, so addresses 0xB0/0xB1 are write/read respectively to the same address.

This range of I2C addresses is the same as those used by the MD03.

Analog Mode - 0v-2.5v-5v

In this mode the motors are controlled independently by two 0v to 5v analog signal on the SCL (Motor1) and SDA (Motor2) lines.

0v is maximum reverse power

2.5v is the center stop position

5v is full forward power

There is a small (2.7%) dead band around 2.5v to provide a stable off position.

Analog Mode - 0v-2.5v-5v with Differential drive

Both Motors speed is now controlled by the analogue voltage level on the SCL line. The SDA line is now responsible for offsetting the two speeds and thus controlling the degree of turn.

The voltage levels are the same as above but turn degree is:

0v is hard turn left

2.5v is the straight position

5v is hard turn right

There is the same dead band (2.7%) on the speed and the turn. .

RC Servo Mode

This mode allows direct connection to standard model radio control receivers. Most receivers work from a 4.8v-6v battery pack and can be powered by 5v supply that powers the MD22 logic. The control pulses (Yellow) from the receiver should be connected to the SCL (Motor1) and SDA (Motor2) terminals. Connect the receiver supply (Red) to +5v logic supply and the receiver 0v ground (Black) to the MD22 logic ground. The output from an RC receiver is a high pulse 1.5mS wide when the joystick is central. The MD22 provides full control in the range 1mS to 2mS with 1.5mS being the center off position. There is a 7uS dead zone centered on 1.5mS for the off position. The Radio Transmitter centering control should be adjusted so that the motor is off when the joystick is released.

RC Servo Mode with Differential drive

Again uses a standard radio control receiver module output to determine speed with the addition of the extremely useful steering function. the receivers Forward and Reverse channel should be wired to the SCL connection. And the steering (turn) through the SDA channel. Again fine adjustment to the transmitters offset may possibly be needed.

RC Modes with timeout feature (from version 3)

An extra couple of modes have been added and operate in much the same way as the normal servo control. The difference is the addition of a new timeout feature. If the RC pulse is not detected on a channel 1 (SCL) for a period in excess of 200ms, then both of the motors will be stop being driven until a valid RC signal is received on channel 1.

I2C Mode

I2C mode allows the MD22 to be connected to popular controllers such as the PICAXE, OOPic and BS2p, and a wide range of micro-controllers like PIC's, AVR's, 8051's etc.

I2C communication protocol with the MD22 module is the same as popular eeprom's such as the 24C04. To read one or more of the MD22 registers, first send a start bit, the module address (0XB0 for example - see mode switches) with the read/write bit low, then the register number you wish to read. This is followed by a repeated start and the module address again with the read/write bit high (0XB1 in this example). You are now able to read one or more registers. The MD22 has 8 registers numbered 0 to 7 as follows;

Register Address	Name	Read/Write	Description
0	Mode	R/W	Mode of operation (see below)
1	Speed	R/W	Left motor speed (mode 0,1) or speed (mode 2,3)
2	Speed2/Turn	R/W	Right motor speed (mode 0,1) or turn (mode 2,3)
3	Acceleration	R/W	Acceleration for i2c (mode 0,1)
4	Unused	Read only	Read as zero
5	Unused	Read only	Read as zero
6	Unused	Read only	Read as zero
7	Software Revision	Read only	Software Revision Number

The mode register defaults to 0, as does the acceleration register (slowest acceleration). No motor will move until directly after speed or speed2/turn registers are changed.

Mode Register

The mode register selects which mode of operation and I2C data input type the user requires. The options being:

0, (Default Setting) If a value of 0 is written to the mode register then the meaning of the speed registers is literal speeds in the range of:
0 (Full Reverse) 128 (Stop) 255 (Full Forward).

1, Mode 1 is similar to Mode 0, except that the speed registers are interpreted as signed values. The meaning of the speed registers is literal speeds in the range of:
-128 (Full Reverse) 0 (Stop) 127 (Full Forward).

2, Writing a value of 2 to the mode register will make speed control both motors speed. Speed2 then becomes the turn value (type 1).
Data is in the range of 0 (Full Reverse) 128 (Stop) 255 (Full Forward).
note - version 8+ speed controls the total power, the turn (speed 2) value is now with reference to this.

3, Mode 3 is similar to Mode 2, except that the speed registers are interpreted as signed values.
Data is in the range of -128 (Full Reverse) 0 (Stop) 127 (Full Forward)
note - version 8+ speed controls the total power, the turn (speed 2) value is now with reference to this.

4, (New from version 9) Alternate method of turning (type 2), the turn value being able to introduce power to the system.
Data is in the range of 0 (Full Reverse) 128 (Stop) 255 (Full Forward).

5, (New from version 9) Alternate method of turning (type 2), the turn value being able to introduce power to the system.

Data is in the range of -128 (Full Reverse) 0 (Stop) 127 (Full Forward)

Speed Register

Depending on what mode you are in, this register can affect the speed of one motor or both motors. If you are in mode 0 or 1 it will Set the speed of the motor 1. The larger the number written to this register, the more power is applied to the motor. If mode is set to a turn mode it controls the speed and direction of both motors (subject to effect of turn register).

Speed2/Turn Register

Again when in mode 0 or 1 this register operates the same as speed but controls the operation of the motor 2. When a turn mode is selected Speed2 becomes a Turn register, and any value in speed 1 is combined with the contents of this register to steer the device.

Turn mode (up to version 7)

In software versions up to 7, the turn modes look at the speed channel or register to decide if the direction is forward or reverse. They then apply a subtraction or addition of the turn value on either motor.

so if the direction is forward
motor speed1 = speed - turn
motor speed2 = speed + turn

else the direction is reverse so
motor speed1 = speed + turn
motor speed2 = speed - turn

If the either motor is not able to achieve the required speed for the turn (beyond the maximum output), then the other motor is automatically changed by the program to meet the required difference.

Turn Mode (Version 8+)

In turn mode 1 the power supplied to the motors is always with reference to the speed. Turn values are only applied with respect to the speed. The turn factor is determined by the equation below, where speed_max is a program constant equating to the maximum possible motor speed.

turn factor = turn * (speed/speed_max)

And now the power to the motors can be calculated, remembering that a turn in either direction in a forward direction is the inverse in the reverse direction so:

if we are moving forwards and require a turn then

motor speed1 = speed - turn factor

motor speed2 = speed + turn factor

else if we are moving in reverse and require a turn then
motor speed1 = speed + turn factor
motor speed2 = speed - turn factor

If the either motor is not able to achieve the required speed for the turn (beyond the maximum output), then the other motor is automatically changed by the program to meet the required difference.

Turn Mode 2 (Version 9+)

In turn mode 2 there is no link between the turn factor and the speed, this means when speed is at zero you can still turn. With this method is the backwards turns are inverted (left is right). The turn factor is now just :

turn factor = turn

And the power to the motor is now :

motor speed1 = speed - turn factor
motor speed2 = speed + turn factor

If the either motor is not able to achieve the required speed for the turn (beyond the maximum output), then the other motor is automatically changed by the program to meet the required difference.

Acceleration Register (in direct motor control)

If you require a controlled acceleration period for the attached motors to reach there ultimate speed, the MD22 has a register to provide this. It works by inputting a value into the acceleration register which acts as a delay in the power stepping. The amount of steps is the difference between the current speed of the motors and the new speed (from speed 1 and 2 registers). So if the motors were traveling at full speed in the forward direction (255) and were instructed to move at full speed in reverse (0), there would be 255 steps.

The acceleration register contains the rate at which the motor board moves through the steps. At 0 (default) the board changes the power (accelerates) at its fastest rate, each step taking 64us. When the acceleration register is loaded with the Slowest setting of 255, the board will change the power output every 16.4ms.

So to calculate the time (in seconds) for the acceleration to complete :
time = accel reg value * 64us * steps.

For example :

Accel reg	Time/step	Current speed	New speed	Steps	Acceleration time
0	0	0	255	255	0
20	1.28ms	127	255	128	164ms
50	3.2ms	80	0	80	256ms
100	6.4ms	45	7	38	243ms
150	9.6ms	255	5	250	2.4s
200	12.8ms	127	0	127	1.63s
255	16.32ms	65	150	85	1.39s

Software Revision number

This register contains the revision number of the software in the modules PIC16F873 controller - currently 7 at the time of writing.

Using the MD22 with popular controllers

One the easiest ways of connecting the MD22 to a standard controller, such as the BS2 Stamp, is to use RC Servo mode. Select normal (independent) or differential mode on the switches before powering the module. Now you can use the PULSOUT command to simulate the servo pulse and control the motors. The pulse needs to vary between 1mS (full reverse) to 2mS (full forwards) with 1.5mS being the center off position. Unlike servo's, which require the pulse to be repeated every 20mS or so, the MD22 need only be sent a new pulse when you want to change speed. With no pulses being sent it simply continues at the current speed. The timing parameter will vary depending on the controller. Here are some popular examples - all tested by us.

Controller	Pulsout Resolution	Full reverse	Center off	Full Forwards	Command example for Stop
BS2	2uS	500	750	1000	pulsout mot1, 750
BS2e	2uS	500	750	1000	pulsout mot1, 750
BS2sx	0.8uS	1250	1875	2500	pulsout mot1, 1875
BS2p	0.8uS *	1250	1875	2500	pulsout mot1, 1875
Atom	1uS	1000	1500	2000	pulsout mot1, 1500
BX-24	1.085uS	922	1382	1843	call pulseout(mot1, 1382, 1)

* BS2p resolution is 0.8uS - rather than 0.75uS or 1.18uS as specified in earlier BS2p documentation. Parallax have confirmed this to us.

Dec 2004 (from software version 3)

Pulse time in RC mode is now verified to assure it is within specified time period of 800us to 2.2ms. Pulses outside of this timing will act to stop the motor. There is also the addition of an extra two RC servo modes which will stop the motors if a valid pulse is not received on channel 1 for a period of 200ms.

Mar 2006 (from Version 9)

The MD22 now includes two ways to implement the turn, the first uses the forward and backwards channel to control the power with channel two offsetting the power levels to turn. The second method allows channel two to introduce turn without any forward or backwards movement.

The latest (Version 10) md22.hex for the PIC16F873A is [here](#)

MD22 schematics are [md22sch1](#) and [md22sch2](#)

mit permanentem Magnetfeld

[illegible]

Motor-Typ	Maß L
GNM 3125	96,5
GNM 3150	121,5
GNM 3175	147,5

Typ		GNM 3125			GNM 3150			GNM 3175		
Serie		3000	3000	4000	3000	3000	4000	3000	3000	4000
Nenndrehzahl	min ⁻¹	24	42	24	24	42	24	24	42	4000
Nennspannung	V	2	1,15	2,5	3,1	42	3,9	4,1	2,4	24
Nennstrom	A	30	30	38	55	55	70	75	75	4,8
Nennleistung	W		S1			S1			S1	90
Betriebsart nach VDE 0530			IP 41			IP 41			IP 41	
Schutzart nach VDE 0530			frei Anschlusslitzen reversibel			frei Anschlusslitzen reversibel			frei Anschlusslitzen reversibel	
Anschlußart			B 14			B 14			B 14	
Drehrichtung										
Bauform										
Mechanische Daten:										
Massenträgheitsmoment	kgm ²	0,096	0,096	0,091	0,175	0,175	0,167	0,239	0,239	0,0421*10 ⁻³
Nenndrehmoment	Nm	0,4	0,39	0,48	0,96	0,96	1,1	1,5	1,52	0,215
Anlaufmoment	Nm	0,105	0,105	0,105	0,2	0,2	0,2	0,27	0,27	1,9
Drehzahländerung im Stillstand	Nm	83	86	87	33	31	36	19	20	0,27
Drehzahländerung pro Moment	N ¹ cm ⁻¹ min ⁻¹	15,4	16	16,1	10,1	9,5	11,2	8,4	9	20
Mechanische Zeitkonstante	ms	0,02	0,02	0,025	0,025	0,025	0,03	0,035	0,035	0,035
Reibungsmoment	Nm									
Ankergewicht	kg		0,19			0,3				
Motorgewicht	kg		0,77			1,15				
Motorgewicht mit Haltebremse	kg		1,17			1,55				
Kugellager										
F _r (Zulässige radiale Wellenbelastung)			608/608			608/608			608/608	
F _A (Zulässige axiale Wellenbelastung)			100			100			100	
			40			40			40	
Elektrische Daten:										
Ankerwiderstand	Ω	2,6	8,6	1,5	1,05	3,4	0,68	0,69	2,16	0,42
Ankerinduktivität	mH	3	8,5	2,2	1,4	3,9	0,98	0,94	2,8	0,6
Anschlußwiderstand	Ω	3,13	9,2	2	1,4	3,9	0,98	0,9	2,7	0,58
Spannungskonstante	V/1000 min ⁻¹	6,27	10,6	4,9	6,69	11,6	5,3	7,06	12	5,48
Drehmomentkonstante	Nm/A	0,06	0,101	0,047	0,064	0,11	0,051	0,067	0,115	0,052
Anlaufstrom	A	16	4,5	12	17,1	10,8	24	26	15	41
Max. Spitzenstrom ¹⁾	A		9,5	20	31	17	38	43	25	54
Elektrische Zeitkonstante	ms	0,96	0,92	1,1	1	1	1	1,04	1,04	1,04
Thermische Daten:										
Max. Umgebungstemperatur	°C		40			40			40	
Isolationsklasse nach VDE 0530			F			F			F	
Thermische Zeitkonstante	min		32			32			32	
Temperaturanstieg ohne Kühlung	K/W	4,7	4,7	3,8	3,9	3,9	3,2	3,3	3,3	3,1
Haltebremse B 5.12:										
Nennspannung	V		24			24			24	
Nennstrom	A		0,3			0,3			0,3	
Stat. Bremsmoment (Motorwelle)	Nm		0,5			0,5			0,5	
Max. Schaltzahl/h			2000			2000			2000	
Toleranzen nach VDE 0530. Für nicht nach VDE 0530 angegebene Toleranzen ± 10 %										
Die in der Tabelle angegebenen Daten gelten bei Speisung der Motoren mit Gleichstrom, mit zulässigem Oberwellenanteil bis 5 %. Bei Mischstrom mit größerem Oberwellenanteil wie z.B. bei Gleichstrom aus Einphasen-Brückengleichrichter müssen die Motor-Nennraten mit Faktor 0,7 multipliziert werden.										
¹⁾ Werte gelten nur für den Einsatz im Temperaturbereich von 0 bis 40°C und dürfen nicht, auch nicht kurzzeitig, überschritten werden, da sonst die Gefahr einer Magnetschwächung besteht.										
● Motoren auch mit Gleichstrom-Tachogenerator und/oder Inkrementalgeber lieferbar.										
● Motoren auch in Schutzart IP 54 und/oder mit Gerätestecker DIN 43650 lieferbar.										
● Ausführung mit Bremse in Schutzart IP 54 und mit Anschlusskabel.										
Konstruktionsänderung vorbehalten.										

DM74LS86

Quad 2-Input Exclusive-OR Gate

General Description

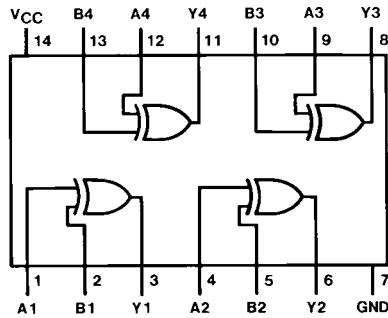
This device contains four independent gates each of which performs the logic exclusive-OR function.

Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
DM74LS86M	M14A	14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-120, 0.150 Narrow
DM74LS86SJ	M14D	14-Lead Small Outline Package (SOP), EIAJ TYPE II, 5.3mm Wide
DM74LS86N	N14A	14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300 Wide

Devices also available in Tape and Reel. Specify by appending the suffix letter "X" to the ordering code.

Connection Diagram



Function Table

$$Y = A \oplus B = \bar{A}B + A\bar{B}$$

Inputs		Output
A	B	Y
L	L	L
L	H	H
H	L	H
H	H	L

H = HIGH Logic Level
L = LOW Logic Level

DM74LS86 Quad 2-Input Exclusive-OR Gate

Absolute Maximum Ratings(Note 1)

Supply Voltage	7V
Input Voltage	7V
Operating Free Air Temperature Range	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	–65°C to +150°C

Note 1: The "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. The device should not be operated at these limits. The parametric values defined in the Electrical Characteristics tables are not guaranteed at the absolute maximum ratings. The "Recommended Operating Conditions" table will define the conditions for actual device operation.

Recommended Operating Conditions

Symbol	Parameter	Min	Nom	Max	Units
V _{CC}	Supply Voltage	4.75	5	5.25	V
V _{IH}	HIGH Level Input Voltage	2			V
V _{IL}	LOW Level Input Voltage			0.8	V
I _{OH}	HIGH Level Output Current			–0.4	mA
I _{OL}	LOW Level Output Current			8	mA
T _A	Free Air Operating Temperature	0		70	°C

Electrical Characteristics

over recommended operating free air temperature range (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ (Note 2)	Max	Units
V _I	Input Clamp Voltage	V _{CC} = Min, I _I = –18 mA			–1.5	V
V _{OH}	HIGH Level Output Voltage	V _{CC} = Min, I _{OH} = Max, V _{IL} = Max, V _{IH} = Min	2.7	3.4		V
V _{OL}	LOW Level Output Voltage	V _{CC} = Min, I _{OL} = Max, V _{IL} = Max, V _{IH} = Min I _{OL} = 4 mA, V _{CC} = Min		0.35 0.25	0.5 0.4	V
I _I	Input Current @ Max Input Voltage	V _{CC} = Max, V _I = 7V			0.2	mA
I _{IH}	HIGH Level Input Current	V _{CC} = Max, V _I = 2.7V			40	μA
I _{IL}	LOW Level Input Current	V _{CC} = Max, V _I = 0.4V			–0.6	mA
I _{OS}	Short Circuit Output Current	V _{CC} = Max (Note 3)	–20		–100	mA
I _{CCH}	Supply Current with Outputs HIGH	V _{CC} = Max (Note 4)		6.1	10	mA
I _{CCL}	Supply Current with Outputs LOW	V _{CC} = Max (Note 5)		9	15	mA

Note 2: All typicals are at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C.

Note 3: Not more than one output should be shorted at a time, and the duration should not exceed one second.

Note 4: I_{CCH} is measured with all outputs OPEN, one input at each gate at 4.5V, and the other inputs grounded.

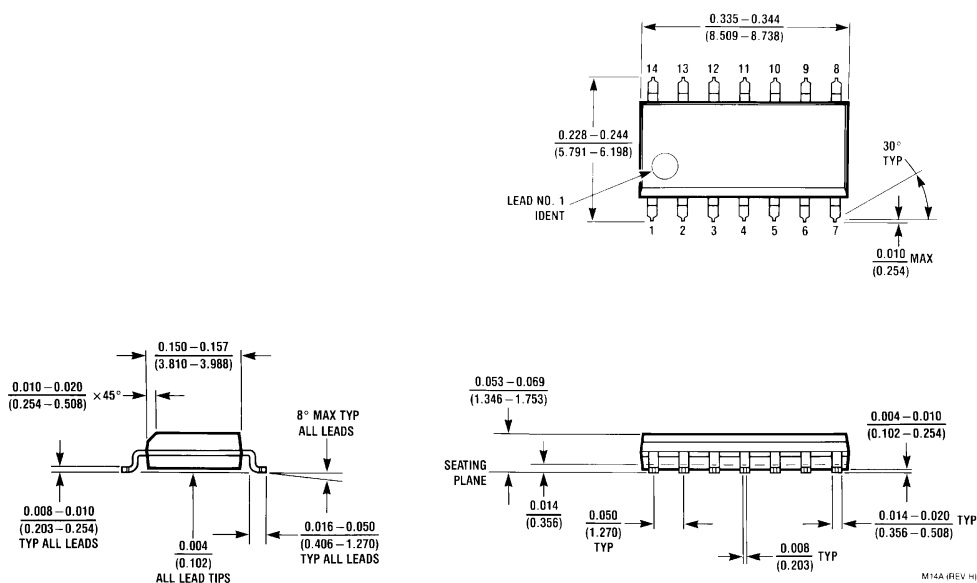
Note 5: I_{CCL} is measured with all outputs OPEN and all inputs grounded.

Switching Characteristics

at V_{CC} = 5V and T_A = 25°C

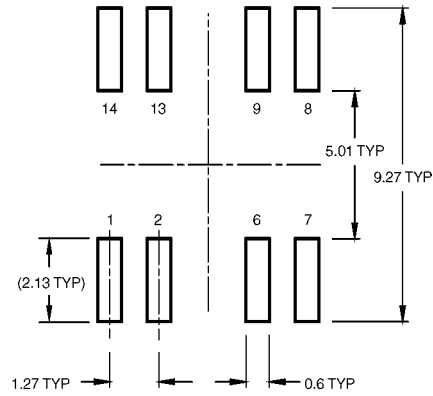
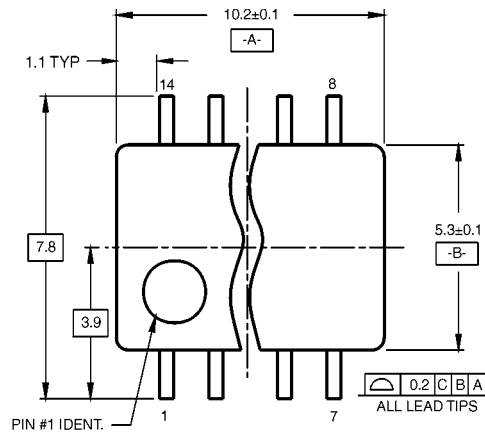
Symbol	Parameter	Conditions	R _L = 2 kΩ				Units
			C _L = 15 pF		C _L = 50 pF		
			Min	Max	Min	Max	
t _{PLH}	Propagation Delay Time LOW-to-HIGH Level Output	Other Input		18		23	ns
t _{PHL}	Propagation Delay Time HIGH-to-LOW Level Output	Low		17		21	ns
t _{PLH}	Propagation Delay Time LOW-to-HIGH Level Output	Other Input		10		15	ns
t _{PHL}	Propagation Delay Time HIGH-to-LOW Level Output	High		12		15	ns

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted

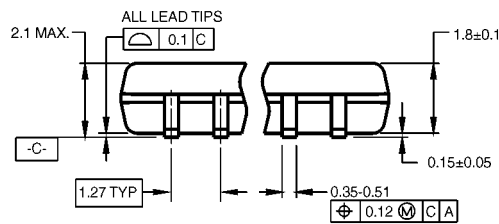


**14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-120, 0.150 Narrow
Package Number M14A**

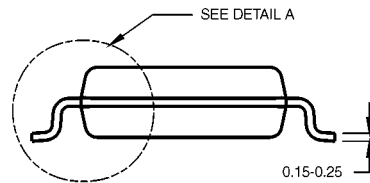
Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



LAND PATTERN RECOMMENDATION



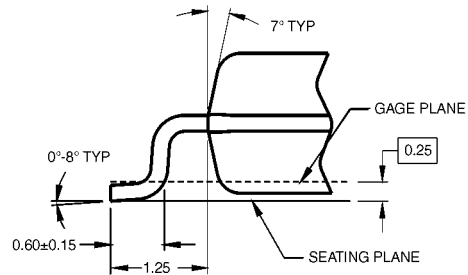
DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS



NOTES:

- A. CONFORMS TO EIAJ EDR-7320 REGISTRATION, ESTABLISHED IN DECEMBER, 1998.
- B. DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS.
- C. DIMENSIONS ARE EXCLUSIVE OF BURRS, MOLD FLASH, AND TIE BAR EXTRUSIONS.

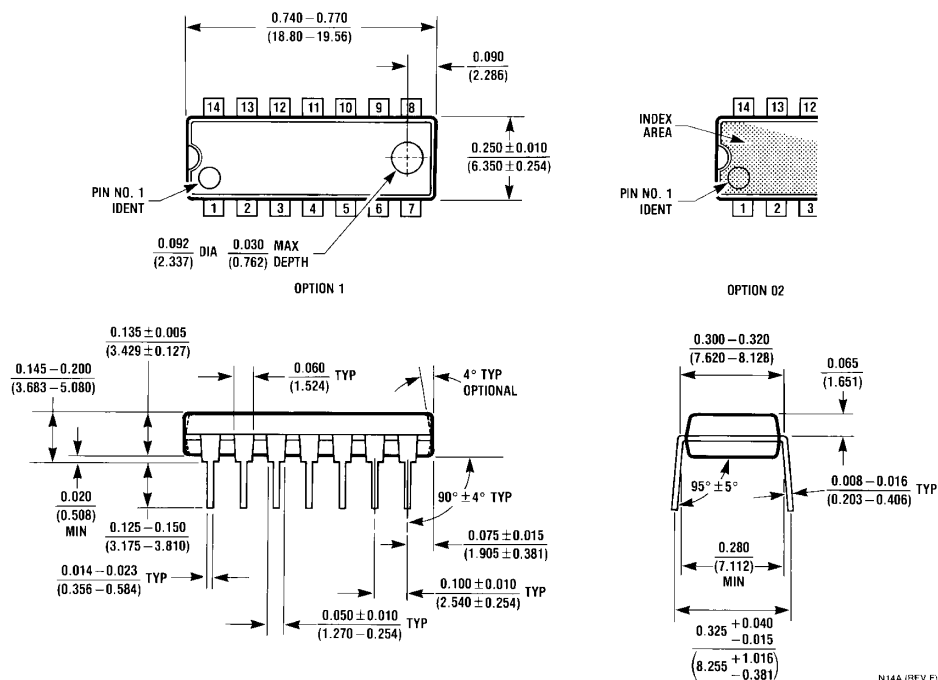
M14DRevB1



DETAIL A

**14-Lead Small Outline Package (SOP), EIAJ TYPE II, 5.3mm Wide
Package Number M14D**

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300 Wide Package Number N14A

Fairchild does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and Fairchild reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component in any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

www.fairchildsemi.com

This datasheet has been downloaded from:

www.DatasheetCatalog.com

Datasheets for electronic components.