



A.F. 133290

ESCUELA SUPERIOR PORLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

CONTROL PID DE VELOCIDAD DE MOTORES DC VÍA USB DESDE PC

TESINA DE SEMINARIO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

Presentado por:

**Carlos Luis Solano Bravo
Juan Victor Solano Zambrano**

GUAYAQUIL – ECUADOR

2011

Agradecimiento

Agradezco primero que nada a Dios,
Por estar en cada paso de mi vida,
Por darme la fuerza necesaria para resistir y enfrentar cada obstáculo.

A mi madre y padre,
Por su forma de guiarme,
Por darme el conocimiento de vida,
Por estar en cada momento que los he necesitado
Y darme ese amor incondicional que hace que continúe y no desmaye.

A mi hermano,
Mi ejemplo a seguir,
Por ser como mi padre y endurecerme cuando más lo he necesitado,
Por enseñarme el camino,
Por nunca haber perdido la fé en mí.

A mi hermana,
Por ser mi ángel guardián,
Porque me cuida en todo instante,
porque no permite que nada malo me pase.

A mis amigos y compañeros,
Por el apoyo brindado.

Carlos Luis Solano Bravo.

Quiero en esta oportunidad agradecer en primer lugar al Dios todo poderoso

Que me ha conservado con vida, con salud,
Que me dio inteligencia, y me ha guiado y cuidado hasta hoy.

A mi madre y a mi padre,
Por el apoyo recibido durante mi formación profesional,
Porque gracias a ellos y a sus consejos
He llegado a realizar la más grande de mis metas,
La cual constituye la herencia más valiosa que pudiera recibir.

A mi hermano,
Por ser mi mejor amigo,
Mi consejero y la persona con la que siempre puedo confiar.

A mi director de tesis,
Msc. Carlos Enrique Valdivieso Armendariz,
Por su apoyo y comprensión durante la realización de este proyecto.

A mis amigos y compañeros,
Por el apoyo brindado.

Juan Víctor Solano Zambrano.

Dedicatoria

Dedico este proyecto a Dios por haber estado en cada instante de mi vida bendiciéndome y protegiéndome. Por guiarme en el camino del bien y darme la inteligencia en la vida estudiantil.

A nuestros padres, por su apoyo incondicional tanto económico como moral. Por ayudarnos en cada instante que lo necesitamos. Por enseñarnos el orden en que se debe dar prioridad a las situaciones que enfrentamos día a día. Por enseñarnos a solucionar problemas tanto grandes como pequeños.

A nuestros hermanos, por ser nuestros mejores amigos. Por darnos cada momento de sus vidas. Por cada consejo físico y espiritual que involucraron en nuestro ser.

A nuestros amigos y compañeros por la vida estudiantil compartida.

Tribunal de Sustentación

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Carlos Valdivieso A.', written over a horizontal line.

**Ing. Carlos Valdivieso A.
PROFESOR DE SEMINARIO**

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Hugo Villavicencio', written over a horizontal line.

**Ing. Hugo Villavicencio
PROFESOR DELEGADO DEL DECANO**

Declaración Expresa

"La responsabilidad del contenido de esta Tesina de Grado, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio Intelectual de la misma a ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL."

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Carlos Luis Solano Bravo', written over a horizontal line.

Carlos Luis Solano Bravo

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Juan Víctor Solano Zambrano', written over a horizontal line.

Juan Víctor Solano Zambrano

Resumen

El control PID de velocidad de motor DC vía USB se basa fundamentalmente en los parámetros proporcionales, integrales y derivativos. Este documento presenta los pasos a seguir para diseñar el control de velocidad de un motor DC y construirlo empleando una tarjeta llamada jrk 21v3 que contiene su propio control de retroalimentación y un decodificador con rueda para el control de velocidad.

Desde una perspectiva moderna, un controlador PID es simplemente un controlador de hasta segundo orden, conteniendo un integrador. Descubrimientos empíricos demuestran que la estructura del PID por lo general tiene la suficiente flexibilidad como para alcanzar excelentes resultados en muchas aplicaciones. El término básico es el término proporcional, **P**, que genera una actuación de control correctivo proporcional al error. El término integral, **I**, genera una corrección proporcional a la integral del error. Esto nos asegura que si aplicamos un esfuerzo de control suficiente, el error de seguimiento se reduce a cero. El término derivativo, **D**, genera una acción de control proporcional al cambio de rango del error. Esto tiende a tener un efecto estabilizante pero por lo general genera actuaciones de control grandes. Los diferentes métodos de sintonización de los parámetros de un controlador PID, van de acuerdo a la estructura que se utilice del mismo.

El objetivo de los ajustes de los parámetros PID es lograr que el lazo de control corrija eficazmente y en el mínimo tiempo los efectos de las perturbaciones; se tiene que lograr la mínima integral de error. Si los parámetros del controlador PID (la ganancia del proporcional, integral y derivativo) se eligen incorrectamente, el proceso a controlar puede ser inestable, por ejemplo, que la salida de este varíe, con o sin oscilación, y está limitada

solo por saturación o rotura mecánica. Ajustar un lazo de control significa ajustar los parámetros del sistema de control a los valores óptimos para la respuesta del sistema de control deseada. El comportamiento óptimo ante un cambio del proceso o cambio del "setpoint" varía dependiendo de la aplicación. Generalmente, se requiere estabilidad ante la respuesta dada por el controlador, y este no debe oscilar ante ninguna combinación de las condiciones del proceso y cambio de "setpoints". Algunos procesos tienen un grado de no-linealidad y algunos parámetros que funcionan bien en condiciones de carga máxima no funcionan cuando el proceso está en estado de "sin carga". Hay varios métodos para ajustar un lazo de PID. El método más efectivo generalmente requiere del desarrollo de alguna forma del modelo del proceso, luego elegir P, I y D basándose en los parámetros del modelo dinámico. Los métodos de ajuste manual pueden ser muy ineficientes. La elección de un método dependerá de si el lazo puede ser "desconectado" para ajustarlo, y del tiempo de respuesta del sistema. Si el sistema puede desconectarse, el mejor método de ajuste a menudo es el de ajustar la entrada, midiendo la salida en función del tiempo, y usando esta respuesta para determinar los parámetros de control.

Índice General

Capítulo 1	1
Descripción del Problema	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Descripción del proyecto.....	4
1.3 Proyectos Similares.....	6
1.3.1 Controlador de velocidad para motor DC máx. 60 000 rpm SC 5004, SC 5008.....	6
1.3.2 Controlador de velocidad para motor DC 10 - 60 VDC RS 200.....	7
1.3.3 Controlador de velocidad para motor DC.....	7
Capítulo 2	10
Herramientas	10
2.1 Fundamentos Teóricos.....	10
2.2 Motor.....	10
2.2.1 Historia del Motor.....	11
2.3 USB.....	14
2.3.1 Velocidad de transmisión.....	16
2.3.2 Compatibilidad y Conectores.....	19
2.3.3 Evolución de USB.....	20
2.3.3.1 Microchip.....	20
2.3.3.2 Memoria RAM (Random Access Memory).....	22
2.3.3.3 Disco duro.....	23
2.4 Codificador Rotatorio (ENCODER).....	31
2.4.1 Codificador rotatorio absoluto.....	32
2.4.2 Codificador rotatorio relativo.....	33
2.4.3 Codificador rotatorio limitado.....	34

2.4.4	Uso Industrial.....	35
2.5	Componentes del Diseño	36
2.5.1	Pololu JRK 21v3 USB Motor Controller with Feedback (Fully Assembled).....	36
2.5.1.1	Aspectos destacados acerca del Pololu Jrk 21v3 USB Motor Controller with Feedback.....	37
2.5.2	Encoder para neumático Pololu 42X19MM	38
2.5.2.1	Aspectos destacados del Encoder para neumático Pololu 42x19mm.	39
2.5.3	Micrometal Gearmotor 10:1.....	40
2.6	Herramientas del diseño.	41
Capítulo 3.....		49
Diseño de la Solución.		49
3.1	Diseño Preliminar	49
3.2	Pruebas Preliminares	49
3.3	Comunicación entre PC y Usuario	50
3.4	Descripción del Proyecto	59
3.4.1	Diagrama de Bloques General.	59
3.4.2	Diagrama de Bloques detallado.	59
3.4.2.1	Bloques:	60
3.5	Modelo 3D	60
3.5.1	Control PID de velocidad de motor DC vía USB desde PC.....	60
3.5.2	Encoder con rueda. (Ver Figura 3.5.2a).....	61
3.5.3	Tarjeta Pololu JRK 21v3 (Ver Figura 3.5.3a).	62
3.5.4	Cable USB (Ver Figura 3.5.4a).....	62
Capítulo 4.....		63
Implementación/Simulación.....		63
4.1	Simulación del Proyecto	63
4.1.1	Ciclo de Trabajo del Sistema.....	63
4.1.2	La señal de Retroalimentación.	65
4.1.3	La señal Integral.....	66
4.1.4	La señal Error.....	67
4.2	Implementación del Proyecto.....	68

Introducción

El control automático desempeña un papel importante en los procesos de manufactura, industriales, navales, aeroespaciales, robótica, económicos, biológicos, etc.

Como el control automático va ligado a, prácticamente, todas las ingenierías (eléctrica, electrónica, mecánica, sistemas, industrial, química, etc.), este documento ha sido desarrollado sin preferencia hacia alguna disciplina determinada, de tal manera que permita al lector comprender el controlador PID de velocidad de motor DC vía USB desde PC sin que sea necesario tener conocimientos previos en electrónica.

El progresivo avance tecnológico hace que el humano cada vez se le torne más sencilla, fácil, eficiente y rápida el desarrollo de sistemas. Optimizando el tiempo para elaboraciones de proyectos que normalmente en tiempos anteriores se hacían imposibles lograr.

Con el fin de dar facilidad al control PID de velocidad de un motor DC se ha desarrollado un proyecto que vía USB desde la PC podrá hacerlo sin ninguna dificultad gracias a la tarjeta Jrk 21v3 de la marca Pololu. Su principal característica es que esta tarjeta viene con su software embebido llamado Jrk Configuration Utility y drivers ya para instalar y así introduciendo los respectivos parámetros PID se podrá dar a lugar el desarrollo del respectivo controlador.

Capítulo 1

Descripción del Problema.

1.1 Antecedentes.

A raíz de que el hombre inventó los primeros motores para el uso industrial, siempre ha sido una prioridad buscar la mejor manera de satisfacer los diferentes requerimientos y exigencias de lo q se refiere al control de motores. Una de las primeras máquinas fue la de vapor (**Ver Figura 1.1a**), la cual fue el motor inicial de la Revolución Industrial que impulsa a la elaboración y construcción de motores en la actualidad. Desde fines del siglo XVIII en Inglaterra y desde casi mediados del siglo XIX, la construcción de motores y su respectivo uso aceleró asombrosamente el desarrollo económico de muchos de los principales países de la Europa Occidental y de los Estados Unidos.



Figura 1.1a Máquina de Vapor

Así mismo, desde la antigüedad los lazos de control siempre han existido en la humanidad. El primer uso de estas técnicas en la industria parece haber sido el regulador centrífugo de la máquina de vapor de Watt en el año 1775 aproximadamente. Este aparato fue utilizado para regular la velocidad del motor manipulando el caudal de vapor por medio de una válvula. Encontrándose presentes todos los elementos que abarca un sistema de control con realimentación (Ver **Figura 1.1b**).

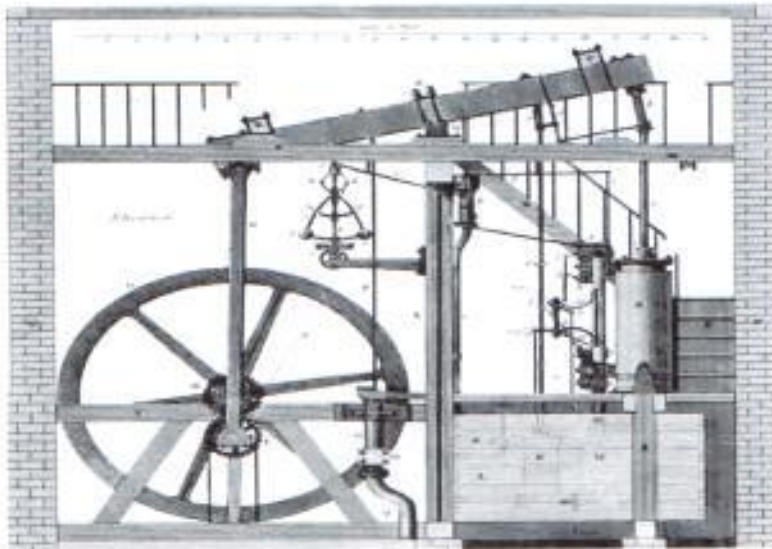


Figura 1.1b Partes de Máquina de Vapor

Dado que, con el transcurrir del tiempo la zona industrial comenzó a crecer enormemente en el aspecto tanto económico como tecnológico, creando así los motores de corriente continua (Ver **Figura 1.1c**). Estos motores son de lo más versátiles en la industria. Su fácil control de posición, paro y velocidad los han convertido en una de las mejores opciones en aplicaciones de control y automatización de procesos. Pero con la llegada de los motores de corriente alterna,

del tipo asíncrono, pueden ser controlados de igual forma a precios más accesibles para el consumidor medio de la industria. A pesar de esto, los motores de corriente continua se siguen utilizando en muchas aplicaciones de potencia (trenes y tranvías) o de precisión (máquinas, micro motor, etc.) (Ver Figura 1.1d).



Figura 1.1c Motor de Corriente Continua

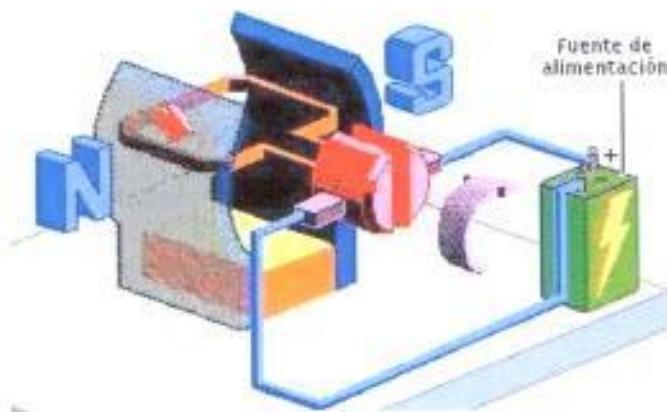


Figura 1.1d Forma de Motor DC

1.2 Descripción del proyecto.

Nuestro proyecto se basa en la implementación de un sistema de control de velocidad de un motor de corriente continua utilizando un lazo cerrado PID (Proporcional Integral Derivativo) vía USB desde PC mediante la tarjeta JRK proveniente de la Gama de la marca POLOLU.

El sistema de control PID se fundamenta en un mecanismo de control por realimentación que calcula el error entre un valor medido y el valor que se quiere obtener, para aplicar una acción que corrija este proceso. La forma de cálculo del control PID se da en tres parámetros distintos: el proporcional, el integral, y el derivativo. El valor Proporcional determina la reacción del error actual. El Integral crea una corrección proporcional a la integral del error, esto nos asegura que aplicando una señal de control suficiente, el error de seguimiento se reduce a cero. El Derivativo determina la reacción del tiempo en el que el error se produce.

La manera de controlar la velocidad del motor de corriente continua será realizada por la tarjeta Pololu Jrk 21v3 USB Motor Controller with Feedback (**Ver Figura 1.2a**). Esta tarjeta nos servirá como plataforma para poder determinar los diferentes parámetros del motor, como su ciclo de trabajo, aceleración, corriente máxima de salida, entre otros. También podremos modificar los errores del sistema, la realimentación y el control PID incorporado en ésta tarjeta.



Figura 1.2a Pololu Jrk 21v3 USB Motor Controller with Feedback

La comunicación de la PC con la tarjeta será por vía USB (Universal Serial Bus), el cual nos permitirá parametrizar una interfaz con el usuario para controlar el sistema. En el mundo de los micros, controlar motores DC por USB es algo que se viene dando ya desde hace algunos años atrás. El Pololu Jrk 21v3 USB Motor Controller with Feedback altamente configurable que soporta 4 tipos de modos de interface: USB, nivel lógico serial, voltaje analógico y control RC. Este controlador puede ser usado de 3 maneras distintas ya sea como control de velocidad de lazo abierto, control de velocidad de lazo cerrado o control de posición.

La amplia operación de rango comprendida entre 5 a 28 Voltios y salida de corriente continua de 3 Amperios permite controlar la mayoría de motores pequeños DC. Voltajes Analógicos y Frecuencias en tacómetros de las opciones de retroalimentación permiten rápida implementación de sistemas de lazo cerrados, y también el software permite fáciles configuraciones y calibraciones por medio el puerto USB.

1.3 Proyectos Similares.

1.3.1 Controlador de velocidad para motor DC máx. 60 000 rpm | SC 5004, SC 5008.

El controlador de serie PI (**Ver Figura 1.3.1a**) viene con software configurable por lo que no necesita de Trimmers o switches DIP, este controlador puede ser operado fácilmente por el usuario y a su vez por el mismo, ya sea como motor de corriente DC o como unidad de conmutación electrónica, como con sensores integrados. Dependiendo del modo operativo, la velocidad puede ser controlada entre 50 y 60,000 RPM.



Figura 1.3.1a Controlador de Serie PI

Usuarios pueden manipular libremente los propósitos del controlador. Entre los últimos software 4.5 "Motion Manager" permite especificas familiares programaciones con esta herramienta fácil de usar. Limites de poder, parámetros de control, velocidades ajustables, resoluciones de encoder e insertar definición de valores puede ser configurado usando la señal PWM, con parámetros variables para obtener la máxima velocidad y operación de los motores DC y BL ya sea con o sin sensores.

1.3.2 Controlador de velocidad para motor DC 10 - 60 VDC | RS 200

El controlador electrónico RS200 (Ver Figura 1.3.2a) es un transistor servo-controlador para motores DC. La electrónica del RS200 le permite al motor moverse y frenar en una dirección (operación en 2 cuadrantes). Los efectos de frenados son conseguidos gracias a un frenado a corto circuito. El servo-controlador RS200 es un regulador de velocidad analógico que opera sobre una base actual de regulación.



Figura 1.3.2a Controlador Electrónico RS200

La electrónica de ancho de pulso modulado tienen una alta eficiencia y son muy compactos. Para asegurarse el cumplimiento con los estándares EMC, es incluido un filtro, y el controlador tiene completa protección electromagnética. Estas características combinadas con el uso de cables blindados aseguran que se cumpla el requerimiento de EN55011 Cl. B. También hay un fusible en el circuito impreso que interrumpe el suministro de la red si existe sobrecarga.

1.3.3 Controlador de velocidad para motor DC

- ✓ Electrico
- Dirigido a los motores DC que comprende corrientes entre 0.05 Amp. a 3 Amp. Y codificadores incrementables integrados.
- El voltaje de fuente de alimentación es de 12v

- ✓ Expansión del Sistema
 - Disponibles solo para versiones PCB
- ✓ Movimiento
 - Sistema de control de lazo cerrado con parámetros programables: Velocidad, aceleración, dirección, coeficientes PID.
 - Secuencia programable de las acciones.
- ✓ Control
 - Control vía interfaz RS232.
 - Capaz de conectar dos interruptores programables para cada eje.
- ✓ Programación
 - Sistema de comando de comunicaciones serial para Windows, Linux y otros sistemas operativos. El anfitrión es "master" y los reguladores son los "direccionable slaves".
 - Incluye programas simples de prueba.
- ✓ Mecánico
 - Rango de temperatura entre 0 a 70°C.
 - Tamaño de caja para 1 regulador de eje: 90x110x70 mm (B1).
 - Tamaño de caja para 2 o más reguladores de eje: 180x160x90 mm (B2).

(Ver Figura 1.3.3a)



Figura 1.3.3a Controlador de Velocidad de Motor DC

Capítulo 2

Herramientas.

2.1 Fundamentos Teóricos.

En este capítulo se muestra la mayor cantidad de información de los componentes utilizados para la realización del proyecto. La implementación del proyecto Control PID de velocidad de motor DC vía USB desde PC se realizó gracias a los equipos del POLOLU los cuales explicaremos en brevedad, para que el usuario conozca el tipo de tecnología que se usará, a fin de que se pueda conocer los diferentes comandos y funciones que ofrece tanto la parte del hardware como software y pueda desarrollarse en cuestión.

2.2 Motor.

El motor de corriente continua (**Ver Figura 2.2a**) es una máquina que convierte la energía eléctrica en mecánica, principalmente mediante el movimiento rotatorio. En la actualidad existen nuevas aplicaciones con motores eléctricos que no producen movimiento rotatorio, sino que con algunas modificaciones, ejercen tracción sobre un riel. Estos motores se conocen como motores lineales.



Figura 2.2a Motor de Corriente Continua

Uno de los parámetros configurables del motor de corriente continua es la posibilidad de regular la velocidad desde vacío a plena carga. Su principal inconveniente, el mantenimiento, muy caro y laborioso. Una máquina de corriente continua (generador o motor) se compone principalmente de dos partes, un estator que da soporte mecánico al aparato y tiene un hueco en el centro generalmente de forma cilíndrica. En el estator además se encuentran los polos, que pueden ser de imanes permanentes o devanados con hilo de cobre sobre núcleo de hierro. El rotor es generalmente de forma cilíndrica, también devanado y con núcleo, al que llega la corriente mediante dos escobillas. También se construyen motores de CC con el rotor de imanes permanentes para aplicaciones especiales.

2.2.1 Historia del Motor.

Los primeros descubrimientos sobre la interacción entre magnetismo y electricidad fueron hechos entre el 1807 y el 1820 por el científico danés H. C. Oersted, el que describió sus observaciones sobre el movimiento de una brújula puesta cerca de un

hilo recorrido por corriente eléctrica. Su descubrimiento dio la ocasión al francés Amper por su teoría electromagnética y D.F.J Arago por la construcción, en el año 1820, del primer electroimán.

El inglés M. Faraday intuyó la posibilidad del fenómeno inverso a aquél observada por Oersted, es decir la inducción de un movimiento de cargos eléctricos en un conductor puesto en el campo de un imán móvil. Después de muchos experimentos conducidos en el curso de varios años, en el noviembre del 1831 él anunció sus descubrimientos sobre la inducción electromagnética: desde entonces fue todo un sucederse de ideas y de tentativas por la construcción de máquinas por la generación de corrientes eléctricas por calle electromagnética, aunque pasaron antes muchos años que fueran desarrollados generadores utilizables por aplicaciones industriales.

El descubrimiento que hace posible la construcción de máquinas eléctricas de práctico empleo fue aquel de la coche-inducción; en un generador a coche-inducción la misma corriente producida por la máquina fue utilizada para alimentar los electroimanes necesarios a engendrar el campo magnético y el magnetismo restante que quedó a máquina firme fue suficiente a retomar la generación de corriente cuando ella fue repuesta en movimiento. Muchos inventores llegaron casi al mismo tiempo a la realización de máquinas basadas sobre este principio, y por tal motivo hubo notables contrastes entre las botaduras Wilde, Varley y Siemens sobre la prioridad de la invención de los primeros dinamos, ocurrida entre el 1866 y el 1867.

Los primeros dinamos de dimensiones prácticas y capaces de producir una verdadera corriente continua fueron en todo caso aquéllos realizados en el 1870 del belga Zénobe Gramme. El inducido de sus máquinas fue formado por un anillo,

parecido a aquél descrito por el italiano Pacinotti en el 1864, realizado con alambres postre, de modo que reducir las resistencias pasivas; alrededor de este anillo se envolvió una serie de bobinas de hilo de cobre cuyas extremidades adyacentes fueron unidas a formar un envolvimiento continuo; las extremidades de las bobinas hicieron jefe a un conmutador a sectores múltiples y al inducido giró en un sistema magnético a dos polos.

La otra invención fue aquel del motor eléctrico. A parte las numerosas realizaciones experimentales sobre las que no está aquí posible detenerse, los primeros motores a corriente continua de valor comercial comparecieron hacia el año 1873, producidos por Gramme sobre el mismo esquema de sus dichosos dinamos. Cuando luego empezaron a afirmarse los sistemas de distribución a corriente alternada, se crearon las condiciones por la introducción de un motor a inducción que, como en el caso del alternador, presentó la ventaja de no necesitar un colector.

Los motores D.C se clasifican de acuerdo al tipo de bobinado del campo como motores Serie, Shunt, Shunt estabilizado, o Compuesto. Sin embargo algunos de ellos pueden ser auto excitados o de excitación separada o pueden tener campos de imán permanente. Ellos muestran curvas muy diferentes de torque-velocidad y se conectan en diferentes configuraciones para diferentes aplicaciones.

Algunos motores D.C utilizan imán permanente como campo principal, especialmente los de potencia (HP) fraccionada ($1/4, 1/2, 3/4$) y baja potencia. Los motores de imán permanente tienen la ventaja de no requerir una fuente de potencia para el campo, pero tienen la desventaja de ser susceptibles a la desmagnetización por cargas de choque eléctricas o mecánicas. Los campos de imán permanente no se pueden ajustar para entonar el motor para ajustarse a la aplicación, como pueden los de campo bobinado.

2.3 USB.

El Universal Serial Bus (bus universal en serie) o mejor conocido como Conductor Universal en Serie (CUS), abreviado comúnmente USB (**Ver Figura 2.3a**), es un puerto que sirve para conectar periféricos a un ordenador. Fue creado en 1996 por siete empresas (que actualmente forman el consejo directivo): IBM, Intel, Northern Telecom, Compaq, Microsoft, Digital Equipment Corporation y NEC.



Figura 2.3a USB

El diseño del USB tenía en mente eliminar la necesidad de adquirir tarjetas separadas para poner en los puertos bus ISA o PCI, y mejorar las capacidades plug-and-play permitiendo a esos dispositivos ser conectados o desconectados al sistema sin necesidad de reiniciar. Sin embargo, en aplicaciones donde se necesita ancho de banda para grandes transferencias de datos, o si se necesita una latencia baja, los buses PCI o PCIe salen ganando. Igualmente sucede si la aplicación requiere de robustez industrial. A favor del bus USB, cabe decir que cuando se conecta un nuevo dispositivo, el servidor lo enumera y agrega el software necesario para que pueda funcionar (esto dependerá ciertamente del sistema operativo que se esté usando).

El USB no puede conectar los periféricos porque sólo puede ser dirigido por el drive central así como: mouse, teclados, escáneres, cámaras digitales, teléfonos móviles, reproductores multimedia, impresoras, discos duros externos entre otros ejemplos, tarjetas de sonido, sistemas de adquisición de datos y componentes de red (**Ver Figura 2.3b**). Para dispositivos multimedia como escáneres y cámaras digitales, el USB se ha convertido en el método estándar de conexión. Para impresoras, el USB ha crecido tanto en popularidad que ha desplazado a un segundo plano a los puertos paralelos porque el USB hace mucho más sencillo el poder agregar más de una impresora.



Figura 2.3b Ejemplo de Conectores USB

Algunos dispositivos requieren una potencia mínima, así que se pueden conectar varios sin necesitar fuentes de alimentación extra. La gran mayoría de los concentradores incluyen fuentes de alimentación que brindan energía a los dispositivos conectados a ellos, pero algunos dispositivos consumen tanta energía que necesitan su propia fuente de alimentación. Los concentradores con fuente de alimentación pueden proporcionarle corriente eléctrica a otros dispositivos sin quitarle corriente al resto de la conexión (dentro de ciertos límites).

En el caso de los discos duros, es poco probable que el USB reemplace completamente a los buses (el ATA (IDE) y el SCSI), pues el USB tiene un

rendimiento más lento que esos otros estándares. Sin embargo, el USB tiene una importante ventaja en su habilidad de poder instalar y desinstalar dispositivos sin tener que abrir el sistema, lo cual es útil para dispositivos de almacenamiento externo (**Ver Figura 2.3c**). Hoy en día, una gran parte de los fabricantes ofrece dispositivos USB portátiles que ofrecen un rendimiento casi indistinguible en comparación con los ATA (IDE). Por el contrario, el nuevo estándar Serial ATA permite tasas de transferencia de hasta aproximadamente 150/300 MB por segundo, y existe también la posibilidad de extracción en caliente e incluso una especificación para discos externos llamada eSATA.

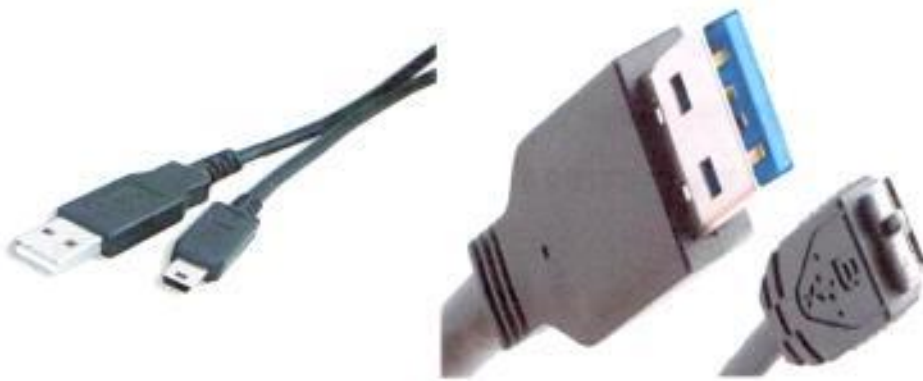


Figura 2.3c Conectores para instalación de dispositivos

El USB casi ha reemplazado completamente a los teclados y mouse (ratones) PS/2, hasta el punto que un amplio número de placas base modernas carecen de dicho puerto o solamente cuentan con uno válido para los dos periféricos.

2.3.1 Velocidad de transmisión.

Los dispositivos USB se clasifican en cuatro tipos según su velocidad de transferencia de datos:

* Baja velocidad (1.0): Tasa de transferencia de hasta 1,5 Mbps (192 KB/s). Utilizado en su mayor parte por dispositivos de interfaz humana (Human interface device, en inglés) como los teclados, los ratones (mouse), las cámaras web, etc.

* Velocidad completa (1.1): Tasa de transferencia de hasta 12 Mbps (1,5 MB/s) según este estándar, pero se dice en fuentes independientes que habría que realizar nuevamente las mediciones. Ésta fue la más rápida antes de la especificación USB 2.0, y muchos dispositivos fabricados en la actualidad trabajan a esta velocidad. Estos dispositivos dividen el ancho de banda de la conexión USB entre ellos, basados en un algoritmo de impedancias LIFO.

* Alta velocidad (2.0): Tasa de transferencia de hasta 480 Mbps (60 MB/s) pero por lo general de hasta 125Mbps (16MB/s). Está presente casi en el 99% de los PC actuales. El cable USB 2.0 dispone de cuatro líneas, un par para datos, una de corriente y una de toma de tierra.

* Súper alta velocidad (3.0): Tiene una tasa de transferencia de hasta 4.8 Gbps (600 MB/s). La velocidad del bus es diez veces más rápida que la del USB 2.0, debido a que han incluido 5 conectores extra, desechando el conector de fibra óptica propuesto inicialmente, y será compatible con los estándares anteriores y usa un cable de 9 hilos. En Octubre de 2009 la compañía taiwanesa ASUS lanzó la primera placa base que incluía puertos USB3, tras ella muchas otras le han seguido y se espera que en 2012 ya sea el estándar.

Las señales del USB se transmiten en un cable de par trenzado con impedancia característica de $90 \Omega \pm 15\%$, cuyos hilos se denominan D+ y D-. Estos, colectivamente, utilizan señalización diferencial en half dúplex excepto el USB 3.0 que utiliza un segundo par de hilos para realizar una comunicación en full dúplex. La

razón por la cual se realiza la comunicación en modo diferencial es simple, reduce el efecto del ruido electromagnético en enlaces largos. D+ y D- suelen operar en conjunto y no son conexiones simples. Los niveles de transmisión de la señal varían de 0 a 0'3 V para bajos (ceros) y de 2'8 a 3'6 V para altos (unos) en las versiones 1.0 y 1.1, y en ± 400 mV en alta velocidad (2.0). En las primeras versiones, los alambres de los cables no están conectados a masa, pero en el modo de alta velocidad se tiene una terminación de 45Ω a tierra o un diferencial de 90Ω para acoplar la impedancia del cable. Este puerto sólo admite la conexión de dispositivos de bajo consumo, es decir, que tengan un consumo máximo de 100 mA por cada puerto; sin embargo, en caso de que estuviese conectado un dispositivo que permite 4 puertos por cada salida USB (extensiones de máximo 4 puertos), entonces la energía del USB se asignará en unidades de 100 mA hasta un máximo de 500 mA por puerto (**Ver Tabla 2.3.1a**).

Pin	Nombre	Color del cable	Descripción
1	VCC	Rojo	+5v
2	D-	Blanco	Data -
3	D+	Verde	Data +
4	GND	Negro	Tierra

Miniplug/Microplug			
Pin	Nombre	Color	Descripción
1	VCC	Rojo	+5 V
2	D-	Blanco	Data -
3	D+	Verde	Data +
4	ID	Ninguno	Permite la distinción de Micro-A y Micro-B Tipo A: conectado a tierra Tipo B: no conectado
5	GND	Negro	Señal tierra

Tabla 2.3.1a Características de USB

2.3.2 Compatibilidad y Conectores.

El estándar USB especifica tolerancias mecánicas relativamente amplias para sus intentando maximizar la compatibilidad entre los conectores fabricados por la compañía, una meta a la que se ha logrado llegar. El estándar USB, a diferencia de otros estándares también define tamaños para el área alrededor del conector de un dispositivo, para evitar el bloqueo de un puerto adyacente por el dispositivo en cuestión.

Las especificaciones USB 1.0, 1.1 y 2.0 definen dos tipos de conectores para conectar dispositivos al servidor: A y B. Sin embargo, la capa mecánica ha cambiado en algunos conectores. Por ejemplo, el IBM UltraPort es un conector USB privado localizado en la parte superior del LCD de las computadoras portátiles de IBM. Utiliza un conector mecánico diferente mientras mantiene las señales y protocolos característicos del USB. Otros fabricantes de artículos pequeños han desarrollado también sus medios de conexión pequeños, y ha aparecido una gran variedad de ellos, algunos de baja calidad.

Una extensión del USB llamada "USB-On-The-Go" (sobre la marcha) permite a un puerto actuar como servidor o como dispositivo, esto se determina por qué el lado del cable está conectado al aparato. Incluso después de que el cable está conectado y las unidades se están comunicando, las 2 unidades pueden "cambiar de papel" bajo el control de un programa. Esta facilidad está específicamente diseñada para dispositivos como PDA, donde el enlace USB podría conectarse a un PC como un dispositivo, y conectarse como servidor a un teclado o ratón. El "USB-On-The-Go" también ha diseñado 2 conectores pequeños, el mini-A y el mini-B, así

que esto debería detener la proliferación de conectores miniaturizados de entrada (Ver Tabla 2.3.2a).

Tipo	Imagen de puerto	Imagen de conector	USB	Tipo A		Tipo B	
				Macho	Hembra	Macho	Hembra
USB estándar	4.5mm x 12.0mm						
Mini USB 5 pines	7.5mm x 3.5mm						
Mini USB 8 pines	7.5mm x 4.5mm						
Micro USB	7.5mm x 4.5mm						
USB 3.0 estándar	12.0mm x 6.0mm						
Micro USB 3.0	12.0mm x 6.0mm						

Tabla 2.3.2a Tipos de Puertos y Conectores USB.

2.3.3 Evolución de USB.

Un (dispositivo de almacenamiento) computacional que es capaz de almacenar datos o cualquier tipo de información. Históricamente se ha usado el papel como método más común, pero actualmente es posible almacenar digitalmente en un CD por ejemplo, los datos que cabrían en miles de carpetas archivadas. A lo largo de la historia se ha buscado el camino de encontrar el sistema más pequeño físicamente y con más capacidad para almacenar más datos y tratarlos rápidamente.

2.3.3.1 Microchip

También conocido como circuito integrado (Ver Figura 2.3.3.1a). Se desarrolló por primera vez en 1958 por el ingeniero Jack Kilby justo meses después de haber sido contratado por la firma Texas Instruments. Se trataba de un dispositivo de germanio

que integraba seis transistores en una misma base semiconductor para formar un oscilador de rotación de fase. En el año 2000, Kilby obtuvo el Premio Nobel de Física por la contribución de su invento al desarrollo de la tecnología de la información.

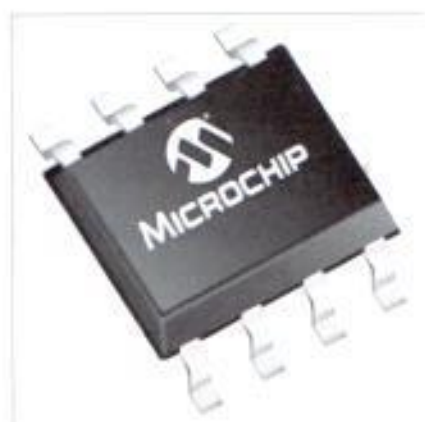


Figura 2.3.3.1a Microchip (Circuito Integrado)

Un microchip es una pastilla muy delgada donde se encuentran miles o millones de dispositivos electrónicos interconectados, principalmente diodos y transistores, y también componentes pasivos como resistencia o capacitores. Su área puede ser de 1 cm, 2 cm o inferior. Los microchips son quizás los sistemas de almacenamiento más empleados, hoy en día se utilizan además de en los computadores, en los teléfonos móviles, electrodomésticos, juguetes con algún componente electrónico, etc.

El transistor actúa como interruptor. Puede encenderse o apagarse electrónicamente o amplificar corriente. Se usa en computadoras para almacenar información o en amplificadores para aumentar el volumen de sonido. Las resistencias limitan el flujo de electricidad y nos permiten controlar la cantidad de corriente que fluye, esto se usa por ejemplo para controlar el volumen de un televisor o radio.

El desarrollo del microchip es especialmente importante en la historia, pues es algo increíblemente pequeño que puede almacenar cantidad de datos inmensos, que hace años era impensable. Se necesita un desarrollo a nivel microscópico para diseñar los microchips.

El primer computador que usó microchips fue un IBM lanzado en 1965, llamado serie 360. Estas computadoras se consideran de la tercera generación de computadoras, y sustituyeron por completo a las de segunda generación, introduciendo una manera de programar que aún se mantiene en grandes computadoras de IBM.

2.3.3.2 Memoria RAM (Random Access Memory)

La Memoria de Acceso Aleatorio, o RAM (acrónimo inglés de Random Access Memory) (**Ver Figura 2.3.3.2a**), es una memoria de semiconductor, en la que se puede tanto leer como escribir información. Es una memoria volátil, es decir, pierde su contenido al desconectarse de la electricidad.



Figura 2.3.3.2a Memoria RAM (Random Access Memory)

La memoria RAM es el componente de almacenamiento más importante de un computador actual, junto al disco duro. Con la llegada de los computadores de escritorio, había que idear un sistema de almacenamiento que no ocupara espacio, pues los computadores de escritorio se idearon para que cupiesen en una mesa de oficina. La memoria RAM se forma a partir de microchips con entradas de memoria. La memoria es almacenada en esas entradas de manera aleatoria, de ahí su nombre. La memoria RAM es uno de los componentes informáticos que más ha evolucionado en los últimos veinte años. Si a finales de los 80 la capacidad de las memorias RAM rondaban los 4 MB, ahora lo normal es comprarse un computador con al menos 1024 MB, (1 GB). Normalmente se ha ido avanzando en una cantidad de MB igual a potencias de 2. A mediados de los 90, con la llegada de Windows 95, los computadores comenzaron a usar memorias de 16 MB de RAM, más tarde de 32, 64, 128... Hasta los Pentium 4 y usando Windows XP, en donde se recomienda al menos 256 MB de RAM, aunque hoy en día lo normal es que usen 1 gigabyte o más.

2.3.3.3 Disco duro

Es el medio de almacenamiento por excelencia. Desde que en 1955 saliera el primer disco duro hasta nuestros días, el disco duro o HDD (**Ver Figura 2.3.3.3a**) ha tenido un gran desarrollo. Los discos duros se emplean en computadores de escritorio, portátiles y unidades de almacenamiento de manejo más complejo. El disco duro es el componente que se encarga de almacenar todos los datos que queremos. Mientras que la memoria RAM actúa como memoria "de apoyo" (como variable que almacena y pierde información según se van procesando datos), el disco duro almacena permanentemente la información que le metemos, hasta que es borrado. Generalmente, lo primero que se graba en un disco duro es el sistema

operativo que vamos a usar en nuestro computador. Una vez tenemos instalado el sistema operativo en el disco duro, podemos usar todos los programas que queramos que hayan instalados, y toda la información que queramos guardar se almacenará en el disco duro. En el disco duro almacenamos cualquier cosa, como documentos, imagen, sonido, programas, videos, ficheros, etc.



Ver Figura 2.3.3.3a Disco Duro o HDD

Los discos duros también han evolucionado muchísimo en los últimos veinte años, sobre todo ampliando su capacidad

El disco duro está compuesto básicamente de:

- Varios discos de metal magnetizado, que es donde se guardan los datos.
- Un motor que hace girar los discos.
- Un conjunto de cabezales, que son los que leen la información guardada en los discos.
- Un electroimán que mueve los cabezales.

- Un circuito electrónico de control, que incluye el interface con el ordenador y la memoria caché.
- Una caja hermética (aunque no al vacío), que protege el conjunto.
- Normalmente usan un sistema de grabación magnética analógica

El número de discos depende de la capacidad del HDD y el de cabezales del número de discos x 2, ya que llevan un cabezal por cada cara de cada disco (4 discos = 8 caras = 8 cabezales).

Actualmente el tamaño estándar es de 3.5' de ancho para los HDD de PCs y de 2.5' para los discos de ordenadores portátiles. Además de los dispositivos fijos que existen como componentes en una computadora, hay otros que pueden introducirse y sacarse en cualquier computador. Estos sistemas son realmente útiles para transportar información entre dos o más computadoras.

2.3.3.3.1 Disquete

También llamado disco flexible (floppy disk en inglés) (**Ver Figura 2.3.3.3.1a**). A simple vista es una pieza cuadrada de plástico, en cuyo interior se encuentra el disco. Es un disco circular flexible y magnético, bastante frágil. Los disquetes se introducen en el computador mediante la disquetera.



Figura 2.3.3.3.1a Disquete (Disco Flexible)

En los años 80 gozaron de gran popularidad. Los programas informáticos y los videojuegos para PC se distribuían en este formato. Ya que en aquella época los programas y juegos no llegaban ni a 1 MB, cabían perfectamente en los disquetes. En su día existió un disquete rectangular, y más tarde apareció el disquete de 3 1/2 pulgadas, el popular disquete cuadrado. En los noventa, los programas comenzaron a ocupar más memoria, por lo que en algunos casos se necesitaban varios disquetes para completar una instalación.

El disquete es un sistema de almacenamiento magnético, al igual que los casetes o los discos duros, y aunque han gozado de gran popularidad desde los 80 hasta ahora, pero ya son obsoletos. De hecho, algunos computadores ya salen de fábrica sin disquetera, pues los disquetes se han quedado pequeños en cuanto a capacidad y velocidad. Teniendo en cuenta lo que ocupan los programas actuales, un disquete hoy en día solo sirve para almacenar algunos documentos de texto, imágenes y presentaciones.

2.3.3.3.2 CD-ROM

Es un disco compacto (del inglés: Compact Disc - Read Only Memory) (**Ver Figura 2.3.3.3.2a**). Se trata de un disco compacto (no flexible como los disquetes) óptico utilizado para almacenar información no volátil, es decir, la información introducida en un CD en principio no se puede borrar. Una vez un CD es escrito, no puede ser modificado, sólo leído (de ahí su nombre, Read Only Memory). Un CD-ROM es un disco de plástico plano con información digital codificada en espiral desde el centro hasta el borde. Fueron lanzados a mediados de los 80 por compañías de prestigio como Sony y Philips. Microsoft y Apple fueron dos de las grandes compañías informáticas que la utilizaron en sus comienzos. Es uno de los dispositivos de

almacenamiento más utilizados. De hecho, fue el sustituto de los casetes para almacenar música, y de los disquetes para almacenar otro tipo de datos.



Figura 2.3.3.3.2a CD-ROM (Compact Disc - Read Only Memory)

Hay varios tipos de CD-ROM. Los clásicos miden unos 12 centímetros de diámetro, y generalmente pueden almacenar 650 o 700 MB de información. Sin embargo en los últimos años también se han diseñado CD-ROMS con capacidades de 800 o 900 MB. Si tenemos en cuenta la capacidad en minutos de música, serían 80 minutos los de 700 MB, por ejemplo. También existen discos de 8 cm con menos capacidad, pero ideales para almacenar software relativamente pequeño. Generalmente se utilizan para grabar software, drivers, etc. de periféricos o similares, aunque también se usan para transportar datos normalmente como los CD normales.

La principal ventaja del CD-ROM es su versatilidad, su comodidad de manejo, sus pequeñas dimensiones (sobre todo de grosor). Sin embargo su principal inconveniente es que no pueden manipularse los datos almacenados en él. Con el fin de solucionar este problema aparecieron los CD-RW, o CD regrabable. Sus características son idénticas a los CD normales, pero con la peculiaridad de que pueden ser escritos tantas veces como se quiera. Los CD son leídos por lectores de

CD, que incluyen un láser que va leyendo datos desde el centro del disco hasta el borde. El sistema es parecido al de las tarjetas perforadas. Mientras que una tarjeta perforada es claramente visible sus agujeros, en un CD también se incluyen micro perforaciones que son imperceptibles a simple vista, pues son microscópicas. A la hora de escribir en un CD, se emplea el sistema binario con perforación o no perforación (ceros y unos).

2.3.3.3.3 DVD

El crecimiento tecnológico en la informática es tal que incluso los CD se han quedado pequeños. Si hace 10 años los disquetes se habían quedado pequeño y parecía que un CD era algo demasiado "grande", algo ha cambiado, pues todas las aplicaciones, ya sean programas, sistemas operativos o videojuegos, ocupan mucha más memoria. De los tradicionales 700 MB de capacidad de un CD se pasaron a los 4,7 GB de un DVD (**Ver Figura 2.3.3.3.a**). La primera ráfaga de ventas de DVDs apareció para formato vídeo, para sustituir a los clásicos VHS. Las ventajas de los DVD eran claras, a más capacidad, mejor calidad se puede almacenar. Y mejor se conservan los datos, ya que las cintas magnéticas de los videocasetes eran fácilmente des gastables. Un DVD es mucho más duradero, su calidad de imagen es mejor y también la calidad de sonido. Las películas en DVD comenzaron a popularizarse a finales de los años 90.



Ver Figura 2.3.3.3.3a DVD

Sin embargo en esos años aún los CD eran los más populares a nivel informático. Un videojuego solía ocupar unos 600mb de instalación, con lo que fácilmente cabía en un CD. Pero poco a poco los videojuegos y otros programas comenzaron a ocupar más, ya que conforme va avanzando la tecnología de datos, gráficos, etc. más memoria se necesita. Algunos videojuegos llegaban a ocupar 4 o 5 CDs, lo que hacía muy incómodo su manipulación. Finalmente se ha decidido por fin que aquellos programas que ocupen más memoria de lo que cabe en un CD, sea almacenado en un DVD. Los DVD son más caros que los CD, aunque poco a poco se están haciendo con el mercado. Quizás sean los sustitutos definitivos de los CD, aunque por ahora estos últimos no están decayendo en absoluto. La venta de CD vírgenes sigue siendo abrumadora. Sin embargo se ha disparado la venta de DVD, pues cada vez más la gente empieza a grabar más datos y lógicamente se busca el menor espacio posible. Y si en un DVD se pueden almacenar seis películas, mejor que usar seis CD.

También existen los DVD-R, ya que al igual que los CD, el DVD normal es de sólo lectura. Pero con la lección aprendida de los CD, se diseñaron los DVD regrabables. Además, hace unos años que existen los DVD de doble capa. Este tipo de DVD

siguen leyendo por una cara, pero con doble capa de datos. Pero también existen DVD que se pueden leer por las dos caras. Los hay de doble cara y una capa, pero si el DVD es de doble cara y doble capa por cada una, la capacidad llega a los 17 Gb. Sin embargo aún estos sistemas se utilizan mínimamente, son muy caros, pero seguramente algún día sustituirán a los actuales CD.

2.3.3.3.4 Memoria USB

La memoria USB (**Ver Figura 2.3.3.3.4a**) fue inventada en 1998 por IBM, pero no fue patentada por él. Su objetivo era sustituir a los disquetes con mucha más capacidad y velocidad de transmisión de datos. Aunque actualmente en un CD o DVD se puede almacenar memoria para luego borrarla y manipularla, lo más cómodo y usado son las memorias USB. Son pequeños dispositivos del tamaño de un mechero que actúan prácticamente igual que un disquete, pero con una capacidad mucho mayor, que actualmente van desde los 64 mV a varios gigabytes. Su principal ventaja es su pequeño tamaño, su resistencia (la memoria en sí está protegida por una carcasa de plástico como un mechero) y su velocidad de transmisión, mucho más rápido que los disquetes.



Figura 2.3.3.3.4a Memoria USB

Actualmente está muy de moda este tipo de dispositivos, sobre todo entre jóvenes u oficinistas, pues gracias a su reducido tamaño y forma puede colgarse como llavero por ejemplo, y lo más importante, con los sistemas operativos (Linux, Windows o Mac), sólo hay que conectarlo al computador y usarlo sin más complicaciones. Además existen otros aparatos como los reproductores de MP3 que utilizan las mismas características. Pueden almacenar cualquier tipo de dato, pero su principal característica es que los ficheros de música en formato mp3 y wma sobre todo, son reconocidos y procesados para ser escuchados a través de unos auriculares conectados al aparato. Esto es pues, un sustituto del walkman. Pero además cada vez están apareciendo nuevos diseños que son capaces de almacenar ya decenas de gigabytes (miles de canciones) y también vídeo, que con una pequeña pantalla pueden ser visualizados.

2.4 Codificador Rotatorio (ENCODER).

Un Encoder es un codificador rotatorio, también llamado codificador del eje o generador de pulsos, suele ser un dispositivo electromecánico usado para convertir la posición angular de un eje a un código digital, lo que lo convierte en una clase de transductor (**Ver Figura 2.4a**). Estos dispositivos se utilizan en robótica, en lentes fotográficas de última generación, en dispositivos de entrada de ordenador (tales como el ratón y el Trackball), y en plataformas de radar rotatorias. Hay dos tipos principales: absoluto e incremental (relativo).



Figura 2.4a Encoder (Codificador de eje o generador de pulsos)

2.4.1 Codificador rotatorio absoluto

El tipo absoluto (**Ver Figura 2.4.1a**) produce un código digital único para cada ángulo distinto del eje. Se corta un patrón complejo en una hoja de metal y se pone en un disco aislador, que está fijado al eje. También se coloca una fila de contactos deslizantes a lo largo del radio del disco. Mientras que el disco rota con el eje, algunos de los contactos tocan el metal, mientras que otros caen en los huecos donde se ha cortado el metal. La hoja de metal está conectada con una fuente de corriente eléctrica, y cada contacto está conectado con un sensor eléctrico separado. Se diseña el patrón de metal de tal forma que cada posición posible del eje cree un código binario único en el cual algunos de los contactos esté conectado con la fuente de corriente (es decir encendido) y otros no (apagados). Este código se puede leer por un dispositivo controlador, tal como un microprocesador, para determinar el ángulo del eje.



Figura 2.4.1a Ejemplo de Codificador Rotatorio Absoluto

2.4.2 Codificador rotatorio relativo.

El codificador rotatorio relativo (también llamado codificador incremental) (**Ver Figura 2.4.2a**) se utiliza cuando los métodos de codificación absolutos sean demasiado incómodos (debido al tamaño del disco modelado). Este método también utiliza un disco unido al eje, pero este disco es mucho más pequeño marcado con una gran cantidad de líneas de la parte radial como los radios de una rueda. El interruptor óptico, parecido a un fotodiodo, genera un pulso eléctrico cada vez que una de las líneas pase a través de su campo visual. Un circuito de control electrónico cuenta los pulsos para determinar el ángulo con el cual el eje da vuelta.



Figura 2.4.2a Ejemplo de Codificador Rotatorio Relativo

Este sistema, en su forma más simple, no puede medir el ángulo absoluto del eje. Puede medir solamente el cambio en ángulo concerniente a cierto dato arbitrario, tal como posición del eje cuando la energía fue encendida. Esta incertidumbre no es un problema para los dispositivos de entrada de la computadora tales como ratones y Trackball. Cuando la posición absoluta debe ser sabida, un segundo sensor puede ser agregado que detecta que el eje pasa por su posición cero.

El segundo problema de este sistema es que no puede decir qué dirección está rotando el eje. Para superar este problema, el sensor óptico se debe aumentar a dos sensores colocados en ángulos diversos alrededor del eje. La dirección de rotación se puede deducir en orden en la cual los dos sensores detecten cada línea radial. Este tipo de codificador se conoce como codificador de la cuadratura.

2.4.3 Codificador rotatorio limitado.

Si el fabricante mueve un contacto a una diversa posición angular (en la misma distancia del eje del centro), después el patrón correspondiente al anillo necesita ser rotado el mismo ángulo para dar la misma salida. Si el pedacito más significativo (el anillo interno en el cuadro 1) se rota bastante, empareja exactamente el anillo hacia afuera (**Ver Figura 2.4.3a**).



Figura 2.4.2a Ejemplo de Codificador Rotatorio Limitado

Por muchos años, Torsten Sillke y otros matemáticos creyeron que era imposible codificar la posición respecto a un limitado de modo que las posiciones consecutivas diferencian en solamente un sensor, a excepción del sensor 2, codificador de la cuadratura de la uno-pista. Sin embargo, en 1996, Paterson y Brandestini publicaron un papel que demostraba que era posible, con varios ejemplos.

2.4.4 Uso Industrial.

La variante de la cuadratura es la más frecuente de uso industrial, aún cuando es sofisticado y los transductores absolutos más resistentes han estado en el mercado por un tiempo. La mayoría de los usos están satisfechos con una función auto guiada hacia el blanco inicial en energía hasta que alcanzan la colocación absoluta deseada. El cableado simple está asociado a los codificadores de la cuadratura. Y como tal, ha llegado a ser notablemente más barato que el resto de las operaciones de precisión. El único competidor serio que ha notado es el discernidor de imágenes. Esto será debido al discernidor de imágenes que es capaz de soportar así mismo los ambientes del picadillo como el funcionamiento de líquidos. [Cita requerida]

Otra tendencia que puede suceder son los transductores modernos que se diseñan al salir la cuadratura mientras señala que no son realmente codificadores de la cuadratura en todos.

Durante los 80 y los 90, el mouse, con el interior rotatorio de dos codificadores de la cuadratura era popular como socio al fenómeno de interfaz gráfica de usuario de levantamiento. Este aparato iba a ser utilizado como estación de trabajo pero fue considerado una aceptación mucho más grande para la computadora.

El codificador rotatorio vio que una declinación rápida en este papel como el ratón óptico llegó más lejos en la escena en el 2000. Como nota lateral, estos "ópticos" también producen la cuadratura que señala, aún cuando el mercado masivo de la PC ha utilizado siempre el puerto serial del comando para recolectar los deltas.

Un ejemplo de codificadores tanto rotativos como lineales es la marca TR Electronic, marca alemana pionera en el mundo de los sistemas de posicionamiento, especializada en todo tipo de codificadores sobre todo para uso industrial.

2.5 Componentes del Diseño

2.5.1 Pololu JRK 21v3 USB Motor Controller with Feedback (Fully Assembled).

El Pololu Jrk 21v3 (**Ver Figura 2.5.1a**) es un dispositivo altamente configurable que sirve para controlar motores de corriente continua, esta tarjeta soporta cuatro modos de interfaz con el usuario: USB, comunicación serial, voltaje analógico, y radio control (RC). El controlador se puede utilizar con retroalimentación para conformar un control a lazo cerrado de velocidad o posición, o puede ser utilizado sin realimentación como un control de velocidad de lazo abierto. La corriente de salida nominal es de aproximadamente 3 Amperios utilizando el rango de operación que oscila 5 - 28 V. Mediante el programa Jrk Configuration Utility permite al usuario una fácil calibración y configuración a través del puerto USB.

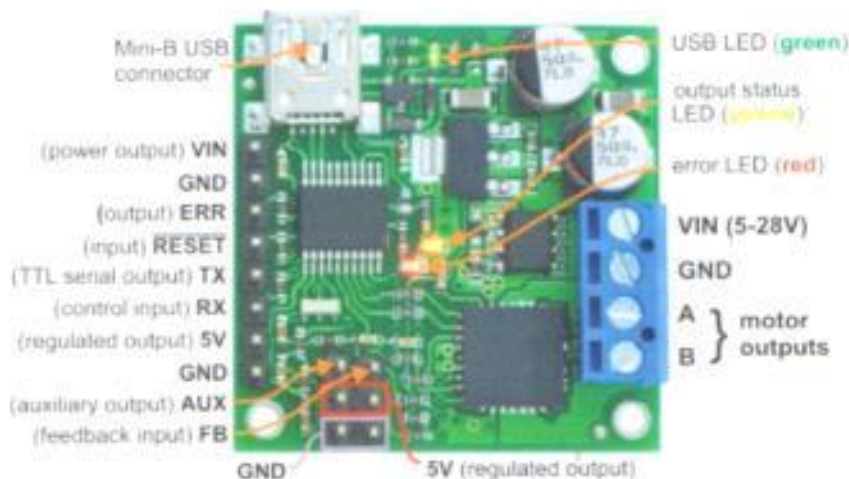


Figura 2.5.1a Pololu Jrk 21v3 USB Controller Device

2.5.1.1 Aspectos destacados acerca del Pololu Jrk 21v3 USB Motor Controller with Feedback

- Control bidireccional de un motor CC (Corriente Continua).
- Rango de voltaje de operación de 5 V a 28 V.
- Corriente máxima nominal de salida de 3 A (5 A pico).
- Cuatro opciones de comunicación o control:
 1. Interface USB para directa conexión con la PC.
 2. Interface TTL serial asincrónica Full-dúplex para una conexión directa con micro controladores u otros dispositivos.
 3. Interface de radio control (RC) para una conexión directa con un receptor RC o con un RC servo controlador.
 4. Interface de voltaje analógico 0-5 V para una conexión directa con potenciómetros o un joystick analógico

- Dos opciones para conformar el control de lazo cerrado.
 - 1 Voltaje analógico de 0-5 V.
 - 2 Señal digital de entrada de hasta 2 MHz de frecuencia con 1 ms de periodo en el PID.
- Los parámetros configurables incluyen:
 1. El periodo y constantes del control PID (parámetros de ajuste de la realimentación)
 2. Corriente máxima
 3. Ciclo de trabajo máximo
 4. Máxima aceleración
 5. Respuesta al error
- Opción de detección de errores CRC que elimina los errores de comunicación causados por defectos de ruido o de software.

2.5.2 Encoder para neumático Pololu 42X19MM

Este Encoder de cuadratura (**Ver Figura 2.5.2a**) está diseñado para trabajar con micro motores de corriente continua usando dos sensores infrarrojos que están adentro del eje del neumático, los cuales miden el movimiento de los doce dientes a lo largo del aro de la rueda.

Los dos sensores están separados para proporcionar formas de onda aproximadamente con un desfase de 90 grados entre ellas, permitiendo determinar la dirección de rotación y proporcionando cuatro conteos por diente para una resolución de 48 conteos por cada rotación de la rueda.

Cada señal analógica del sensor es alimentada a un comparador con histéresis para proporcionar salidas digitales libres de saltos. El encoder está calibrado para un rango de operación de 4,5 V a 5,5 V, pero puede ser calibrado para operar a 3,3 V.



Figura 2.5.2a Encoder Pololu 42X19 mm

2.5.2.1 Aspectos destacados del Encoder para neumático Pololu 42x19mm.

- Rango de operación de voltaje: 4,5 V a 5,5 V (el encoder puede ser modificado para trabajar a tensiones inferiores).
- Dos salidas digitales (cuadratura).
- 14 mA de consumo a 5,0 V
- 48 conteos por vuelta.
- Tamaño pequeño: encaja entre el motor y el chasis
- Peso: 1.6 g (0.06 oz)

2.5.3 Micrometal Gearmotor 10:1

Este motor (Ver Figura 2.5.3a) es pequeño y de alta calidad destinado a ser utilizado con un voltaje de alimentación de 6 V. En general, este tipo de motor puede funcionar a tensiones por encima y por debajo de este voltaje nominal, por lo que debe operar cómodamente en el rango de 3 - 9 V. Todos los motores con engranajes de micro metal tienen las mismas dimensiones físicas, pero vienen en un amplio rango de trabajo, con características de engranajes de 5:1 hasta 298:1.



Figura 2.5.3a Micrometal Gearmotor 10:1

2.5.3.1 Aspectos destacados del 10:1 MICRO METAL GEARMOTOR

Tamaño:	24 x 10 x 12 mm
Peso:	0.34 oz
Diámetro del eje:	3 mm

Tabla 2.5.3.1a Dimensiones

Relación de engranaje:	10:1
Velocidad normal de funcionamiento @ 6V:	1300 rpm
Corriente normal de funcionamiento @ 6V:	40 mA
Corriente de motor bloqueado @ 6V:	360 mA
Torque de rotor bloqueado 6V:	2 oz·in

Tabla 2.5.3.1b Especificaciones Generales.

2.6 Herramientas del diseño.

El software que utilizamos para la realización de este proyecto es el **Jrk Configuration Utility**, el cual se encuentra de una forma gratuita en la dirección electrónica de la compañía Pololu. Este programa nos ofrece una interfaz grafica con el usuario muy útil y sencilla al momento de configurar los parámetros deseados para la tarjeta Jrk 21v3 USB Controller with Feedback.

A continuación voy a ir describiendo cada pestaña de contiene el programa Jrk Configuration Utility:

Pestaña de INPUT (Ver Figura 2.6a)

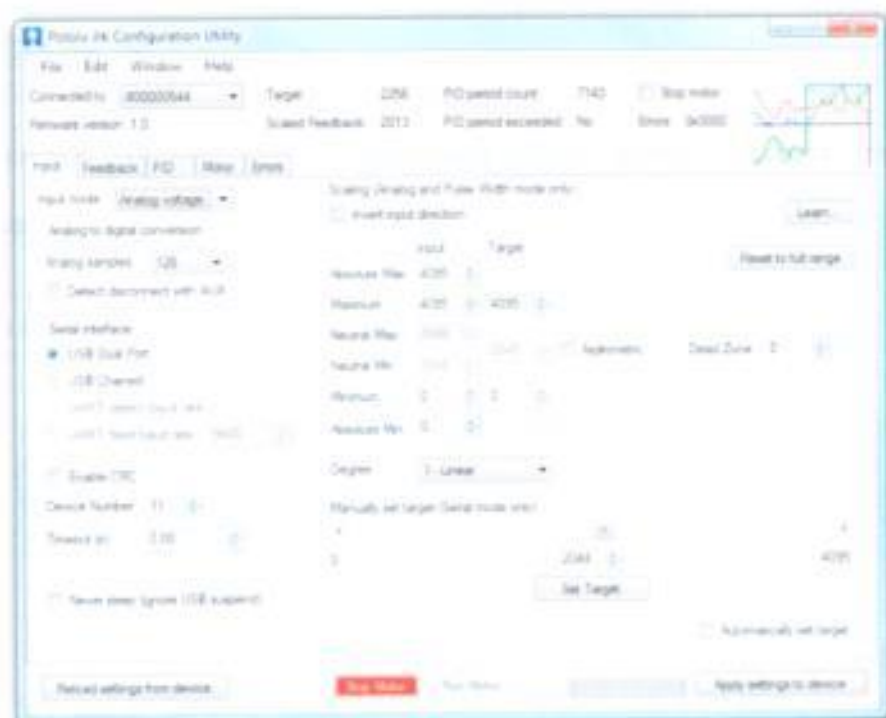


Figura 2.6a Pestaña Input

La pestaña de INPUT del programa Jrk Configuration Utility contiene la configuración de cómo el sistema de realimentación (que consiste en el Jrk, un motor y un sensor de retroalimentación) es externamente controlado y vigilado. Lo más importante, hay tres modos de entrada:

Serial: Esta entrada nos sirve para configuración de puertos virtuales COM o para entradas TTL-seriales.

Analog Voltage: Se utiliza cuando la entrada es una fuente analógica, como un potenciómetro. El nivel bajo significa 0 [V] y nivel alto significa 5 [V].

Pulse width: Se utiliza cuando el sistema se controla por el ancho de pulsos digitales, como los de salida por un radio-control (RC) del receptor, medidas en la línea de RX del Jrk.

Para nuestro proyecto, la entrada será Serial porque nuestro medio de comunicación con la PC se realizará por medio de USB.

Pestaña de FEEDBACK (Ver Figura 2.6b)



Figura 2.6b Pestaña Feedback.

La pestaña de Feedback de este software controla las mediciones de la salida del sistema de control. Están disponibles tres modos de realimentación:

None: Con esta opción activada, la realimentación y el control PID quedan deshabilitados. Es decir que el sistema trabajará con un control a lazo abierto.

Analog Voltage: Se utiliza cuando se conecta una fuente analógica, como un potenciómetro. El nivel bajo significa 0 [V] y nivel alto significa 5 [V].

Frecuency (digital): Se utiliza se utiliza con los dispositivos de medición de la velocidad que generan pulsos a un ritmo proporcional a la velocidad del eje de salida, como un tacómetro. En nuestro caso utilizaremos un encoder, el cual nos servirá como realimentación para cerrar el lazo de control.

Pestaña PID (Ver figura 2.6c)



Figura 2.6c Pestaña PID

En estas opciones de PID encontramos que podemos configurar los valores que componen este sistema de control. La parte **proporcional** consiste en el producto entre la señal de error y la constante proporcional como para que hagan que el error en estado estacionario sea casi nulo, pero en la mayoría de los casos, estos valores

solo serán óptimos en una determinada porción del rango total de control, siendo distintos los valores óptimos para cada porción del rango.

El modo de control **Integral** tiene como propósito disminuir y eliminar el error en estado estacionario, provocado por el modo proporcional. El control integral actúa cuando hay una desviación entre la variable y el punto de consigna, en nuestro caso será el motor y el encoder, integrando esta desviación en el tiempo y sumándola a la acción proporcional. Y la parte **derivativa** consiste en el error actual menos el error anterior.

El período de PID se puede ajustar aquí, lo que establece la velocidad a la que el Jrk se ejecuta a través de todos sus cálculos. Hay que tener en cuenta que un mayor período de PID se traducirá en una más lenta evolución integral y un aumento en el derivativo, por lo que las dos correspondientes constantes PID posiblemente necesiten ser ajustado cada vez que el período de PID se cambia.

Pestaña de MOTOR. (Ver Figura 2.6d)



Figura 2.6d Pestaña Motor

En esta pestaña podemos configurar los parámetros principales del motor, como el Máximo ciclo de trabajo, la máxima aceleración. El valor 600 significa el 100% de trabajo y a la vez el valor máximo que alcanza el motor.

También se puede configurar la frecuencia de la señal PWM que gobierna al motor. Utilizando una frecuencia de 20 KHz es de ultrasonidos y por lo tanto puede eliminar sonidos PWM incluidos el zumbido de motor, lo que hace que esta frecuencia conveniente para aplicaciones típicas. Para nuestro proyecto, estos parámetros nos servirán para regularizar la forma de trabajo del micro motor DC.

Pestaña de ERROR. (Ver Figura 2.6e)

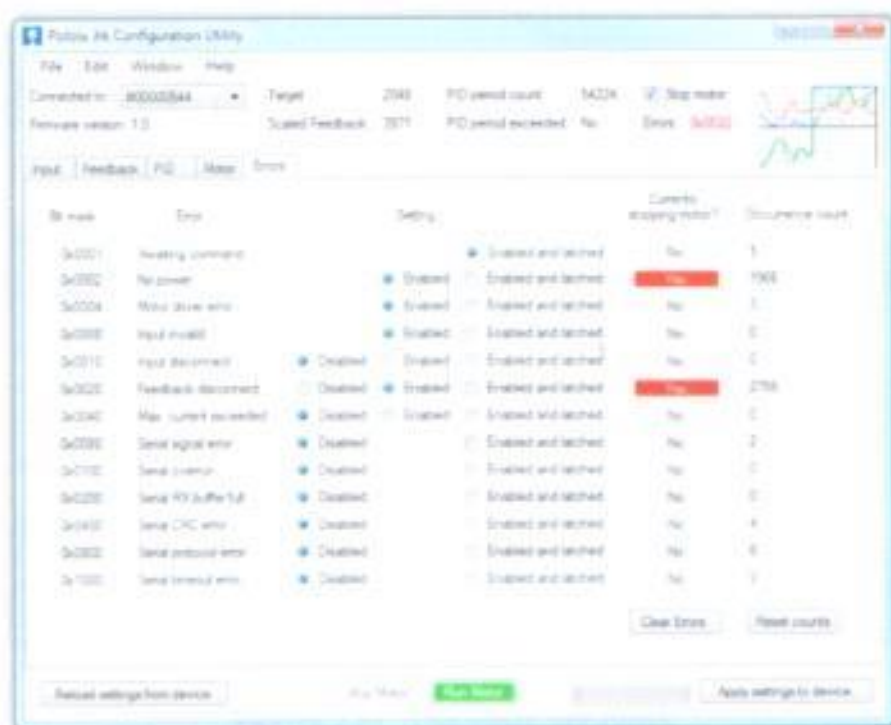


Figura 2.6e Pestaña Error

La respuesta del Jrk a los diferentes errores puede ser configurado. Cada error tiene hasta tres opciones disponibles.

- **Disabled:** El Jrk ignora cualquier error. Pero igual se puede determinar si el error se produce revisando la opción "Occurrence count".
- **Enabled:** Cuando esta opción se activa, el Jrk apague el motor. Cuando el error deja suceder, el motor puede arrancar.
- **Enabled and Latched:** Cuando este error ocurre, el Jrk se apague el motor y ajuste la espera de Comando de error de bit. El jrk no conducirá de nuevo el motor hasta que reciba una confirmación que el error se haya desaparecido.

The Plots Window. (Ver Figura 2.6f)

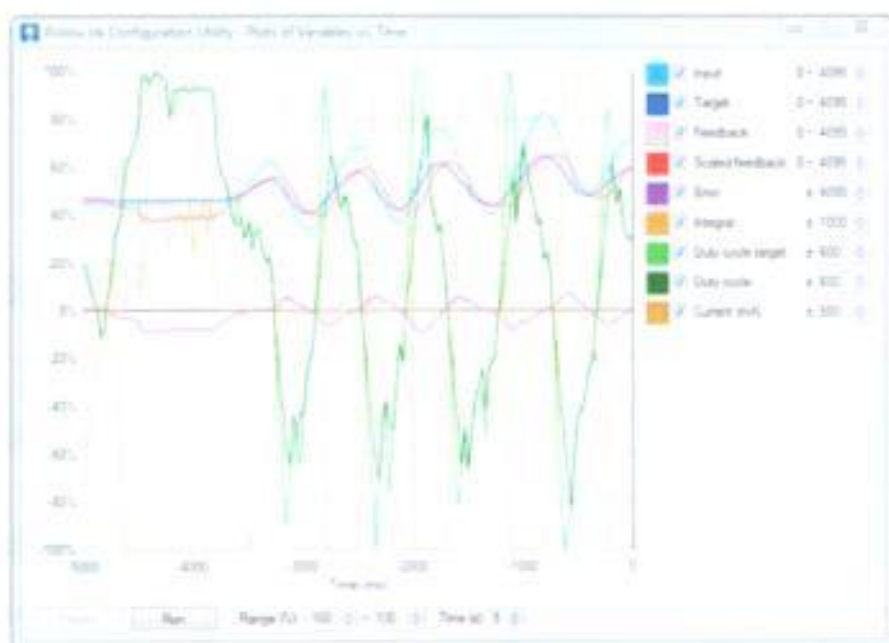


Figura 2.6f The Plots Windows

La opción Plots Windows del programa Jrk Configuration Utility muestra a tiempo real datos acerca del Jrk. Cada variable puede ser independiente a escala en un rango útil. Por ejemplo, el error puede ser -4095 hasta 4095 , pero para los sistemas de retroalimentación bien afinado, por lo general tendrá un valor mucho menor, por tanto, establecer el rango de ± 100 podría proporcionar un terreno más útil.

El gráfico inicial muestra los datos de los últimos 5 segundos, con los valores más recientes sobre el derecho y los valores mayores a la izquierda. La escala de tiempo de la trama se puede reducir con el tiempo (s) de ajuste en la parte inferior de la ventana. El color de cada variable en el gráfico se puede seleccionar haciendo uso de la opción del menú que está en la parte derecha de la ventana.

Capítulo 3

Diseño de la Solución.

3.1 Diseño Preliminar

Para el diseño de este proyecto se seleccionó la tarjeta controladora Pololu Jrk 21v3 con Realimentación (Feedback), que utiliza la vía USB como medio de comunicación con la PC. Para cerrar el lazo cerrado de control utilizamos un Encoder de Cuadratura Pololu de 42x19 mm, extrayendo la señal que nos brinda el Encoder y conectándola en el Jrk 21v3 para obtener un sistema con realimentación.

3.2 Pruebas Preliminares

Para comprobar el funcionamiento correcto de la tarjeta Pololu Jrk 21v3 con Realimentación (Feedback) nosotros realizamos una sencilla configuración que se encuentra en el Manual de Usuario que viene incorporado con esta tarjeta. Al terminar esta prueba, se logró observar el trabajo adecuado de la tarjeta conectada con el Motor DC y el control que tiene el usuario a lazo abierto sobre la velocidad del motor.

Después, al incorporar el Encoder de cuadratura a nuestro sistema, tuvimos que alimentarlo con 5 [V] y después conectar el Output A del Encoder al Pin de

Realimentación (Fb) de la tarjeta controladora, para así poder tener un control a lazo cerrado.

3.3 Comunicación entre PC y Usuario

Inicialmente, necesitamos ingresar la dirección de correo electrónico de la página donde vamos a descargar el software, www.pololu.com. (Ver Figura 3.3a)

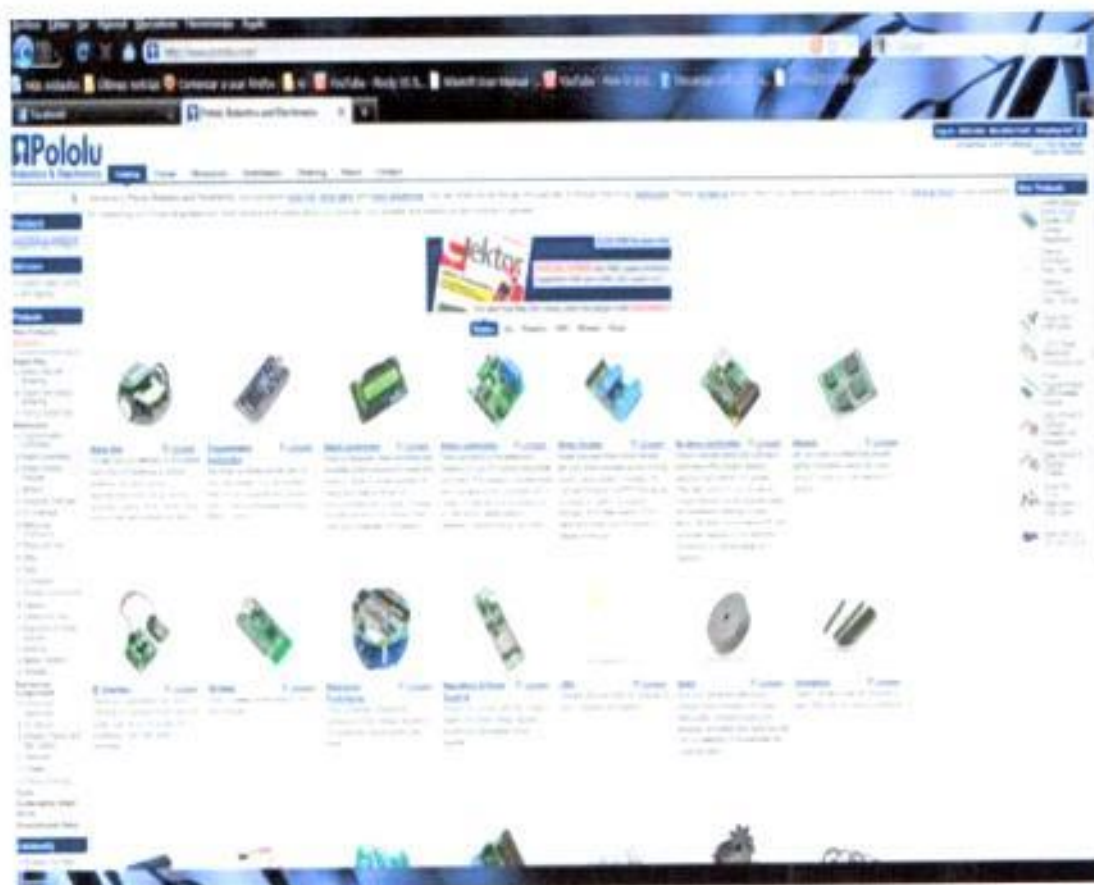


Figura 3.3a Pagina de Descarga

Luego se inicia la búsqueda del ítem Pololu Jrk 21v3 USB Motor Controller with Feedback. (Ver Figura 3.3b).



Figura 3.3b Búsqueda de Ítem Jrk 21v3 USB Motor Controller with Feedback

Una vez seleccionado el Ítem encontraremos su precio, acompañado con diferentes pestañas como Description, Specification, Pictures, Resources y FAQs. (Ver Figura 3.3c)



Figura 3.3c Pololu Jrk 21v3 USB Motor Controller with Feedback

Se selecciona la pestaña Resources y aparecerá el link para la descarga del Datasheet del ítem que vamos a utilizar, a continuación damos click en [jrk_motor_controller.pdf](#). (Ver Figura 3.3d)



Figura 3.3d Link de Descarga PDF de Datasheet de ítem Jrc 21v3.

Una vez leída toda la documentación acerca de nuestro controlador de velocidad nos dirigimos al capítulo 3. En este Capítulo podemos observar los requisitos que se necesitan para instalar la aplicación que se usará para la comunicación entre la PC y la tarjeta Jrc 21v3 por medio de USB. Si se tiene como sistema operativo Windows XP se debe por medio del 1er link descargar el Service Pack 3 antes de instalar los drivers de lo contrario no funcionará. Una vez descargado, se procede a descargar los Drivers y Software de configuración por medio del Segundo Link. (Ver Figura 3.3e).

3. Configuring the Motor Controller

3.1. Installing Windows Drivers and the Configuration Utility



If you use Windows XP, you will need to have **Service Pack 3** (<http://www.microsoft.com/download/details.aspx?id=4944>) installed before installing the drivers for the jk. See below for details.

Before you connect your Polela jk USB motor controller to a computer running Microsoft Windows, you must install its drivers:

1. Download the jk drivers and configuration software (http://www.polela.com/file/download/jk_windows_091118.zip?file_id=61111) (3.196k zip).
2. Open the ZIP archive and run *setup.exe*. If the installer fails, you may have to extract all the files to a temporary directory, right click *setup.exe*, and select "Run as administrator". The installer will guide you through the steps required to install the Polela jk Configuration Utility and the jk driver on your computer.
3. During the installation, Windows will warn you that the driver has not been tested by Microsoft and recommend that you stop the installation. Click "Install this driver software anyway" (Windows 7 and Vista) or "Continue Anyway" (Windows XP).



4. After the installation is finished, your start menu will have a shortcut to the jk Configuration Utility (in the Polela folder). This is a Windows application that allows you to change all of the settings of your motor controller, as well as see real-time information about its state.

Windows 7 and Vista users: Your computer should now automatically install the necessary driver when you connect a jk. No further action from you is required.

Figura 3.3e Link de Descarga Drivers y Software Configurable.

A continuación se abrirá un cuadro especificando que el archivo que se va a descargar es uno comprimido WINRAR de nombre jrk_windows_091218.zip. (Ver **Figura 3.3f**).

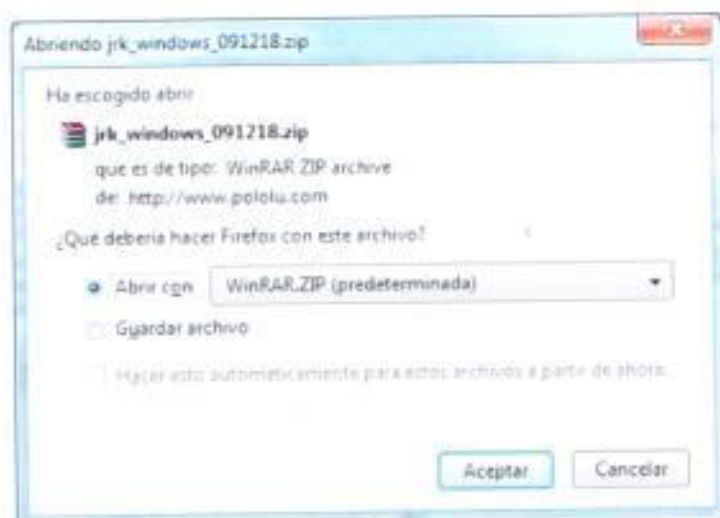


Figura 3.3f Descarga jrk_windows_091218.zip

Se abrirá un cuadro del programa WINRAR mostrando la carpeta con el archivo ejecutable, se da click a esta carpeta y aparecerá el archivo deseado Setup. (Ver **Figuras 3.3g y 3.3h**)



Figura 3.3g Cuadro WINRAR con carpeta de archivo ejecutable

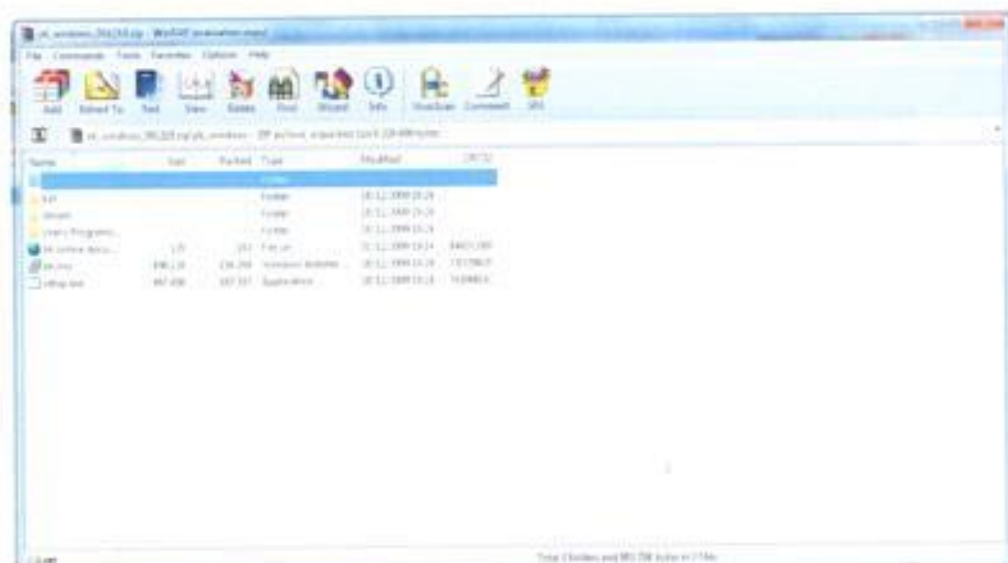


Figura 3.3h Archivo Ejecutable

Se da click al archivo para empezar la instalación, se da click en NEXT. (Ver Figura 3.3i).

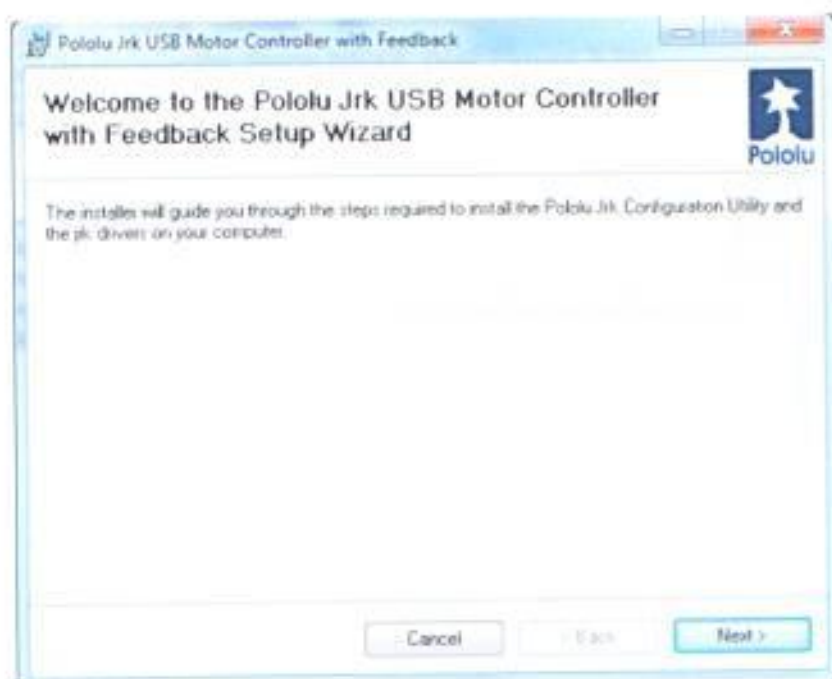


Figura 3.3i Inicio de Instalación.

Se selecciona la carpeta donde irá la aplicación, luego NEXT. (Ver Figura 3.3j)

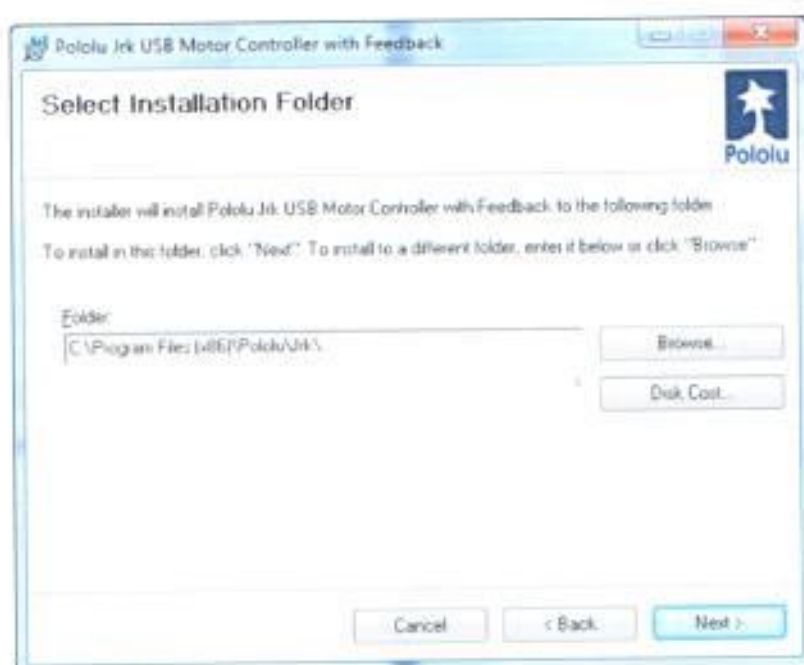


Figura 3.3j Selección de Carpeta donde irá aplicación

Confirmación de Instalación, luego NEXT. (Ver Figura 3.3k)

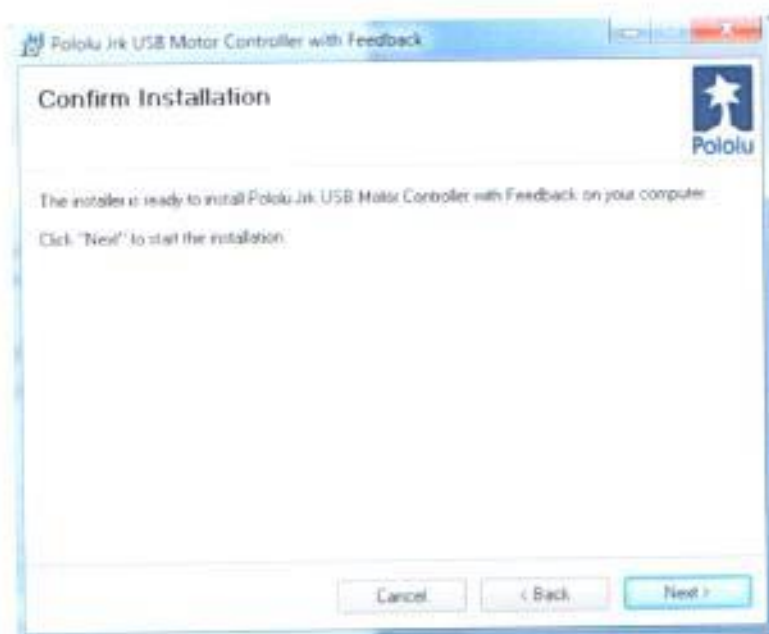


Figura 3.3k Confirmación de Instalación.

Instalando. (Ver Figura 3.3l)



Figura 3.3l Instalando.

Una vez acabado el proceso el instalador mostrara el mensaje de instalación exitosa, presiona CLOSE para salir. (Ver Figura 3.3m)

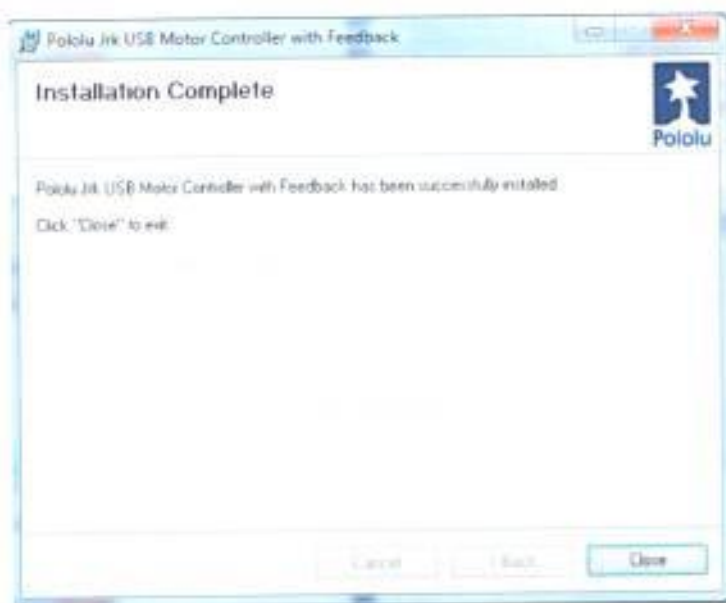
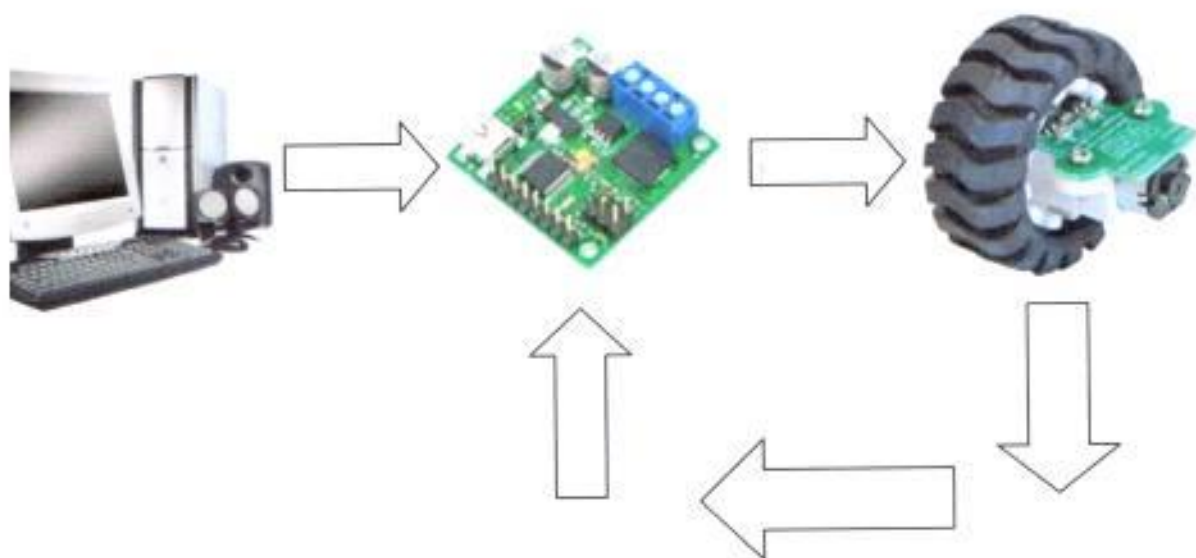


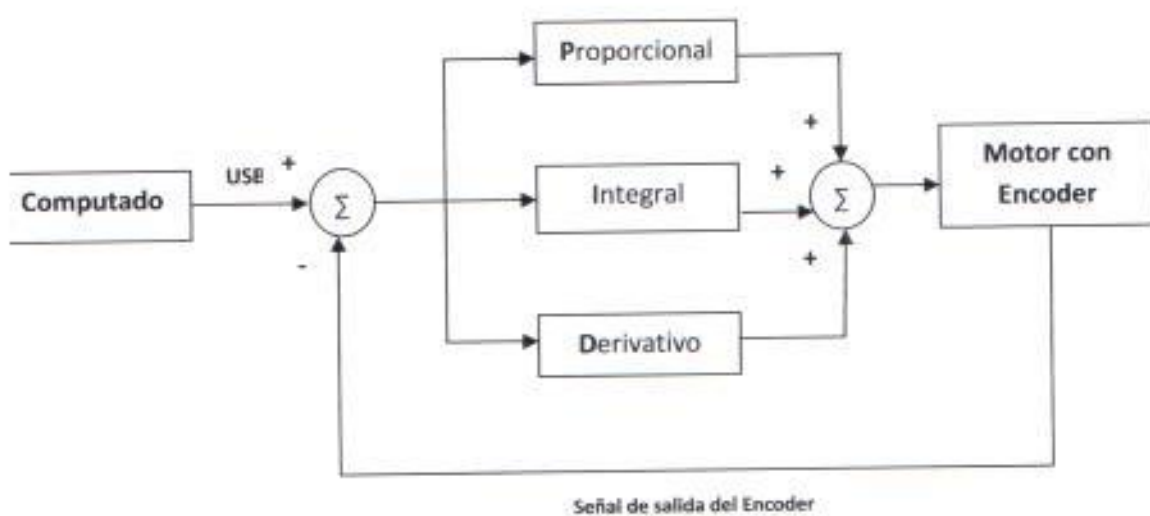
Figura 3.3m Instalación Exitosa.

3.4 Descripción del Proyecto

3.4.1 Diagrama de Bloques General.



3.4.2 Diagrama de Bloques detallado.



3.4.2.1 Bloques:

Computadora: Este bloque representa la interfaz grafica que utiliza el usuario para poder enviar los parámetros deseados a la tarjeta controladora.

Proporcional, Integral y Derivativo: Estos bloques representan los parámetros del controlador PID utilizado en el sistema.

Motor con Encoder: Este bloque significa el hardware del Motor DC conectado al Encoder de cuadratura.

Señales:

USB: Significa que la comunicación de la PC con la tarjeta controladora será mediante via USB.

Señal de salida del Encoder: Esta señal es la que se extrae de una salida del Encoder y es realimentada al sistema por medio de la tarjeta Jrk para así poder cerrar el lazo de control.

3.5 Modelo 3D

3.5.1 Control PID de velocidad de motor DC vía USB desde PC.

A continuación se muestra la visualización en 3D del proyecto armado en Hardware, donde se observa la tarjeta Jrk 21v3 USB Controller with Feedback, el micro metal Gearmotor y el Encoder armado en conjunto con la rueda de caucho. (Ver Figura 3.5.1a).



Figura 3.5.1a Control PID de velocidad de motor DC via USB desde PC

3.5.2 Encoder con rueda. (Ver Figura 3.5.2a).



Figura 3.5.2a Encoder con Rueda

3.5.3 Tarjeta Pololu JRK 21v3 (Ver Figura 3.5.3a).



Figura 3.5.3a Tarjeta Pololu JRK 21v3.

3.5.4 Cable USB (Ver Figura 3.5.4a).



Figura 3.5.4a Cable USB

Capítulo 4

Implementación/Simulación.

4.1 Simulación del Proyecto

En esta sección mostraremos gráficamente el comportamiento de las diferentes variables del sistema cuando la señal de entrada es modificada, esto quiere decir, cuando aceleramos hacia una dirección, desaceleramos y cuando aceleramos en dirección contraria.

4.1.1 Ciclo de Trabajo del Sistema.

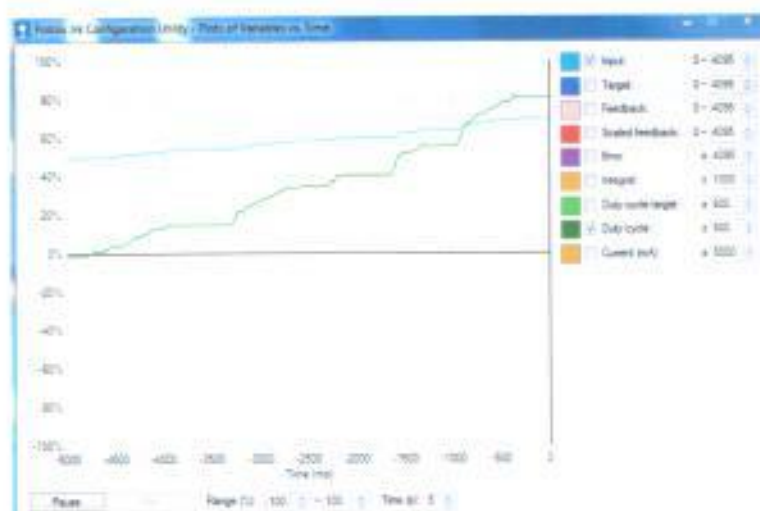


Figura 4.1.1a Ciclo de Trabajo (Sistema Acelerando)

En este gráfico podemos observar la variable Entrada (color Turquesa) y la variable Ciclo de Trabajo (Color Verde Oscuro), las cuales van modificando su valor a medida que el usuario aumenta la Entrada a través del software usado. Observamos que el Ciclo de Trabajo llega a su máximo nivel cuando la rueda está totalmente acelerada.

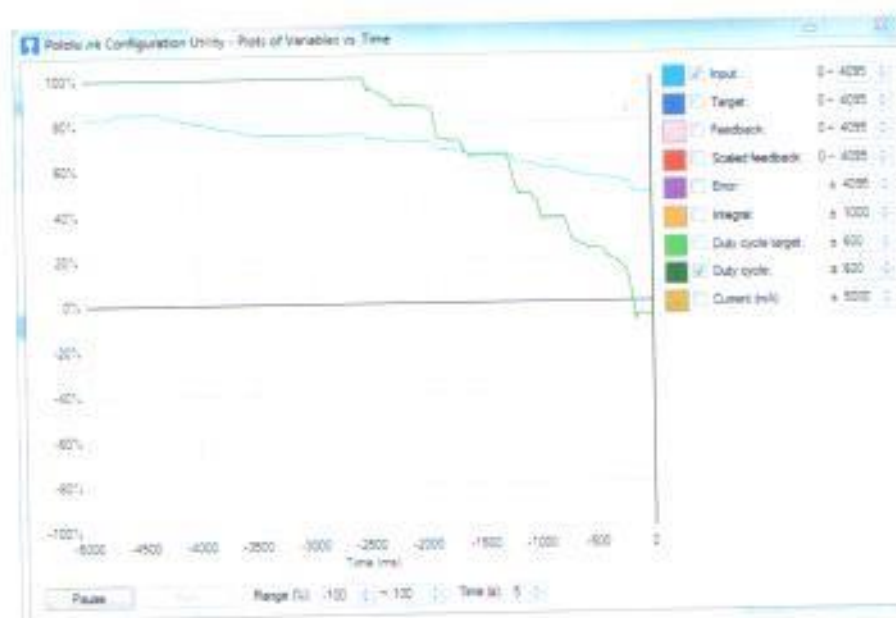


Figura 4.1.1b Ciclo de Trabajo (Sistema Desacelerado)

Se observa que el sistema está llegando a su estabilidad, esto quiere decir, que la rueda no se encuentra en movimiento, por lo tanto la variable Entrada y el Ciclo de Trabajo disminuyen su valor al mínimo posible.

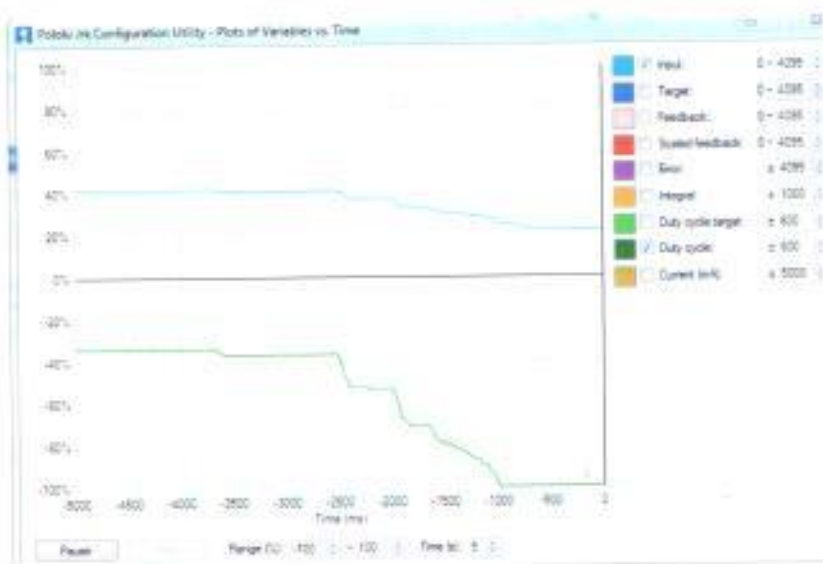


Figura 4.1.1c Ciclo de Trabajo (Sistema Acelerando en sentido invertido)

El resultado de ésta gráfica es bien parecida a la **Figura 4.1.1a** sino que el movimiento de la rueda es en sentido contrario, esto quiere decir, que gira en contra de las manecillas del reloj

4.1.2 La señal de Retroalimentación.



Figura 4.1.2a Señal de Retroalimentación

En ésta figura podemos observar la señal obtenida de nuestro sistema de realimentación (Encoder), la cual se encuentra conectada al pin Fb de la tarjeta controladora y mediante el software Jrk Configuration Utility nos permite estudiar su comportamiento en tiempo real.

4.1.3 La señal Integral.

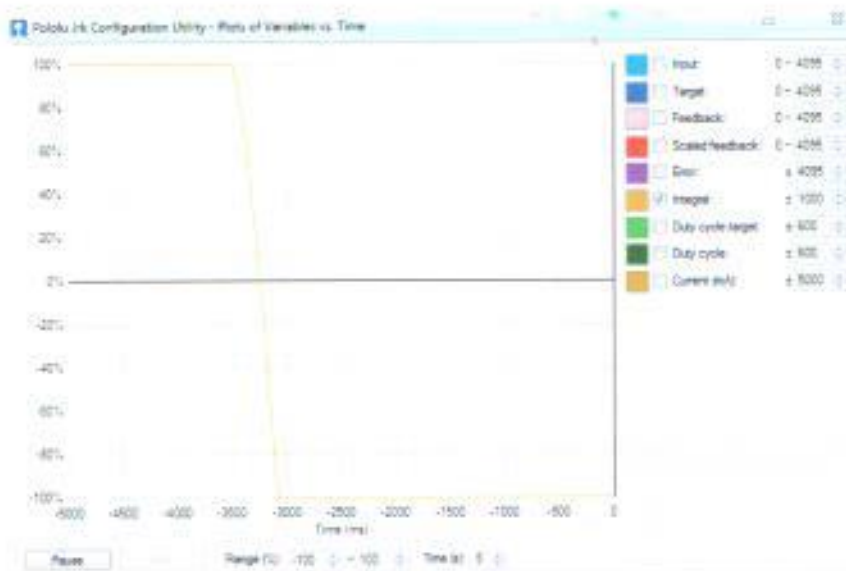


Figura 4.1.3a Señal Integral.

Mediante ésta imagen podemos observar el comportamiento de la señal Integral de nuestro proyecto, de acuerdo al sentido de movimiento de la rueda la variable toma diferentes valores al 100% en cada escenario.

4.1.4 La señal Error.

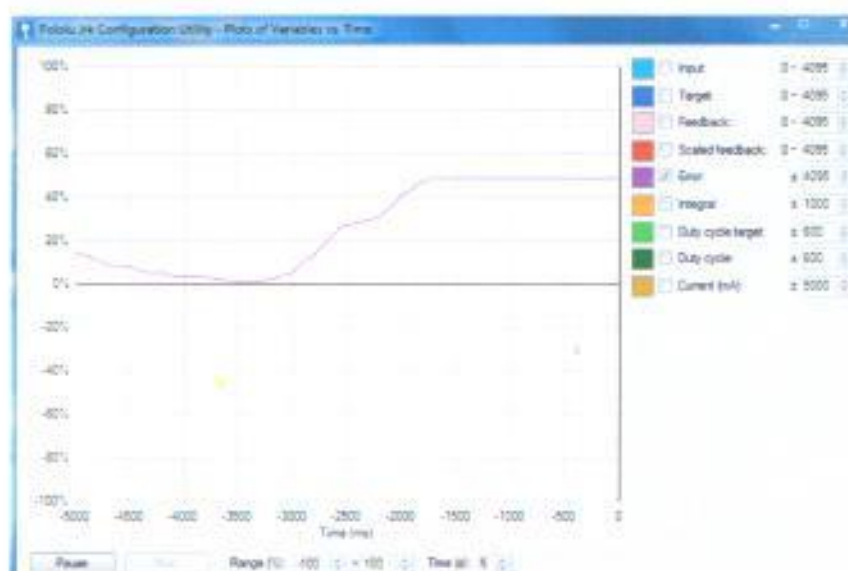


Figura 4.1.4a Error (Motor en contra de las manecillas de reloj)

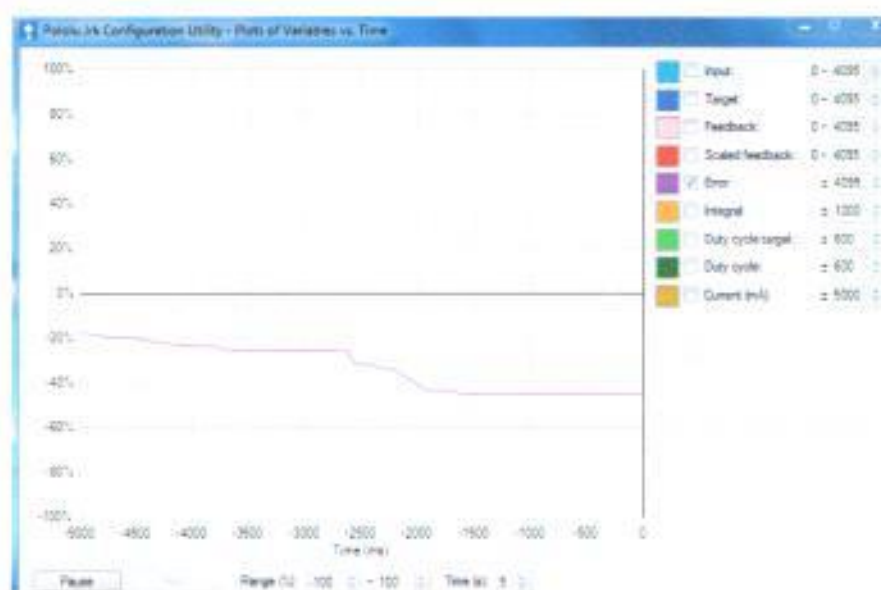


Figura 4.1.4a Error (Motor en sentido de las manecillas de reloj)

4.2 Implementación del Proyecto.



Figura 4.2a Proyecto Implementado.

En esta foto podemos darnos cuenta que el Controlador de Velocidad de un Motor DC vía USB se encuentra totalmente implementado y funcionando al cien por ciento. La fuente generadora de poder es de 15 V y es conectada a los pines de de alimentación del motor en la tarjeta Jrk 21v3 USB Controladora con Realimentación (Feedback).

Se puede a mirar a simple vista que el sistema de realimentación (Encoder) está conectado a la tarjeta controladora, lo cual permite cerrar el lazo de control de nuestro proyecto.

Conclusiones

En esta tesina se ha cumplido con: La comunicación entre la PC y el usuario vía el puerto USB, la tarjeta Jrk 21v3 de la marca Pololu viene con su software embebido y drivers respectivos para ser instalados de manera sencilla y práctica, de tal manera que tan solo conocer bien el funcionamiento de la tarjeta y tener bien estudiada la teoría de controladores PID se podrá realizar de manera eficaz lo que se solicita y requiere en este proyecto.

Los controladores PID se usan ampliamente en control industrial. Desde una perspectiva moderna, un controlador PID es simplemente un controlador de segundo orden con integración. Históricamente, sin embargo, los controladores PID se ajustaban en términos de sus componentes P, I y D. La estructura PID ha mostrado empíricamente ofrecer suficiente flexibilidad para dar excelentes resultados en muchas aplicaciones.

El término básico en el controlador PID es el proporcional P, que origina una actuación de control correctiva proporcional al error. El término integral I brinda una corrección proporcional a la integral del error. Esta acción tiene la ventaja de

asegurar que en última instancia se aplicará suficiente acción de control para reducir el error de regulación a cero. Sin embargo, la acción integral también tiene un efecto desestabilizador debido al corrimiento de fase agregado. El término derivativo D da propiedades predictivas a la actuación, generando una acción de control proporcional a la velocidad de cambio del error. Tiende dar más estabilidad al sistema pero suele generar grandes valores en la señal de control. Varios métodos empíricos pueden usarse para determinar los parámetros de un PID para una dada aplicación. Sin embargo, el ajuste obtenido debe tomarse como un primer paso en el proceso de diseño.

Recomendaciones.

- 1) Al trabajar en este proyecto con motores de Corriente Continua tenemos que tener mucho cuidado al configurar los diferentes parámetros del motor, como son la corriente máxima, el ciclo de trabajo máximo y la frecuencia de la señal PWM, para así lograr el funcionamiento deseado y no averiar alguna parte interna del motor DC.
- 2) La utilización del Sistema de Control PID es nuestro proyecto fue esencial para corregir el error producido al hacer girar el neumático, pero hay que tener cuidado en los valores a definir en el PID, en especial en el parámetro Integral porque se puede generar un exceso en la suma de los errores de todos los ciclos del PID, conduciendo a un sistema inestable.
- 3) Tener siempre precaución al alimentar la tarjeta controladora con un voltaje mayor a 6 V, para que funcione correctamente el regulador interno y pueda éste generar una fuente DC controlada de 5 V que servirá como alimentación para el encoder.

Bibliografía

- l) Skpang, Pololu Jrk 21v3 USB Motor Controller with Feedback, Pagina HTML

http://www.skpang.co.uk/catalog/product_info.php?products_id=577

Fecha: 17 de Abril del 2011

- l) Sapiensman, Fudnamentos del Control Industrila, Pagina HTML

http://www.sapiensman.com/control_automatiko/index.htm

Fecha: 18 de Abril del 2011

- l) Wikipedia, Motore de corriente Continua, Pagina HTML

http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_corriente_continua

Fecha: 18 de Abril del 2011

- l) Wikipedia, Proporcional Integral Derivativo, Pagina HTML

http://es.wikipedia.org/wiki/Proporcional_integral_derivativo

Fecha 19 de Abril del 2011

- l) Direct Industry, Controladores de velocidad de motor DC, Pagina HTML

<http://www.directindustry.es/prod/faulhaber/controladores-de-velocidad-para-motores-dc-7023-536554.html>

Fecha: 24 de Abril del 2011

-) Pololu, Pololu Jrk USB Motor Controller User's Guide, Pagina HTML
<http://www.directindustry.es/prod/dunkermotoren-gmbh/controladores-de-velocidad-para-motores-dc-14411-474364.html>
Fecha: 25 de Abril del 2011

-) Direct Industry, Controladores de velocidad de motor DC, Pagina HTML
<http://www.directindustry.es/prod/dunkermotoren-gmbh/controladores-de-velocidad-para-motores-dc-14411-474364.html>
Fecha: 24 de Abril del 2011

-) Direct Industry, Controladores de velocidad de motor DC, Pagina HTML
<http://www.directindustry.es/prod/dunkermotoren-gmbh/controladores-de-velocidad-para-motores-dc-14411-474372.html>
Fecha: 24 de Abril del 2011

-) Wikipedia, Motor de Corriente Continua, Pagina HTML
http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_corriente_continua
Fecha: 25 de Abril del 2011

- 0) Wikipedia, Bus Serial Universal (USB), Pagina HTML
http://es.wikipedia.org/wiki/Universal_Serial_Bus
Fecha: 26 de Abril del 2011

11) Wikipedia, Evolucion de USB, Pagina HTML

http://es.wikipedia.org/wiki/Evoluci%C3%B3n_de_los_dispositivos_de_almacenamiento

Fecha: 26 de Abril del 2011

12) Wikipedia, Codificador Rotatorio, Pagina HTML

http://es.wikipedia.org/wiki/Codificador_rotatorio

Fecha: 26 de Abril del 2011