

Capítulo 1

Introducción

En el actual desarrollo tecnológico el cual está teniendo nuestra sociedad es importante cada día más el desarrollo de nuevos productos tanto de software como de hardware y que sea la universidad el lugar el cual promueva estos desarrollos.

Este es un proyecto interdisciplinario con el cual se busca diseñar un brazo mecánico de cuatro grados de libertad, el cual portará una cámara en la extremidad del brazo para visualizar las piezas de colección museográfica. Una vez capturados con una interfaz gráfica en un computador, los objetos podrán ser manipulados por el usuario para sumergirlos dentro de un teatro virtual y lograr de esta manera una memoria del objeto.

Siguiendo esta directiva el proyecto: “Teatro de la memoria en mundos virtuales; 3ª fase: Desarrollos ópticos para la visualización de la colección de artes decorativas del Museo Nacional” es un proyecto interdisciplinario el cual busca diseñar un brazo mecánico de cuatro grados de libertad. Se requiere el diseño del control electrónico con tecnología y conocimientos desarrollados en la universidad, para esto se requiere diseñar y construir el hardware necesario que permita la alimentación, funcionamiento y control de los motores de las cuatro articulaciones del brazo mecánico de acuerdo a las normas de confiabilidad para equipo electrónico. Para cumplir esto se requiere el diseño del sistema de potencia el cual brinde la energía necesaria a los motores, la fuente de alimentación para este hardware, la interfaz con la unidad central de proceso que esta compuesta por una tarjeta DSP y por último un tablero eléctrico el cual reúna los anteriores circuitos además de sistemas de protección y aislamiento para garantizar la seguridad del sistema.

Este proyecto se basa en la construcción de estos elementos de hardware los cuales cumplan con los objetivos para el funcionamiento del brazo robótico incluido en el proyecto “Teatro de la memoria en mundos virtuales; 3ª fase: Desarrollos ópticos para la visualización de la colección de artes decorativas del Museo Nacional”.

Capítulo 2

Antecedentes

El continuo desarrollo de la industria electrónica ha repercutido de manera directa sobre el desarrollo de nuevos equipos los cuales mejoren la forma en que creamos conocimiento y la forma como aprendemos del ambiente en el cual vivimos. Un ejemplo de esto es el desarrollo de los medios visuales y su influencia en la cotidianidad del ser humano como medio de información o forma de entretenimiento.

La facultad de artes de la Universidad Nacional, más específicamente el Instituto de Investigaciones Estéticas de esta facultad ha venido realizando una serie de trabajos los cuales tengan en cuenta como un espectador puede crear conocimiento o ser informado de un objeto artístico mediante la manipulación de su entorno con ayuda de un ambiente virtual. Es así como en convenio con Conciencias se crea el proyecto: “Teatro de la memoria en mundos virtuales; 3ª fase: Desarrollos ópticos para la visualización de la colección de artes decorativas del Museo Nacional”. Este es un proyecto interdisciplinario con el cual se busca diseñar un brazo mecánico de cuatro grados de libertad, el cual portará una cámara en la extremidad del brazo para visualizar las piezas de colección museográfica. Una vez capturados con una interfaz gráfica en un computador, los objetos podrán ser manipulados por el usuario para sumergirlos dentro de un teatro virtual y lograr de esta manera una memoria del objeto.

Para la realización de este proyecto se han vinculado no sólo miembros de la Facultad de Artes sino Ingenieros Mecánicos, de Sistemas y Electrónicos para contribuir en la investigación que pueda ayudar en el desarrollo de este proyecto. Actualmente se ha diseñado el brazo mecánico en cooperación con un estudiante de Ingeniería Mecánica. Dos estudiantes de Ingeniería de Sistemas realizan el entorno virtual desde donde el usuario final manipulará los movimientos del brazo mecánico. Y un estudiante de Cine y televisión realiza los ajustes necesarios mediante equipo especializado para extraer el objeto a visualizar y poderlo convertir en un formato amigable para el usuario de modo que este se pueda colocar en el teatro virtual.

Capítulo 3

Objetivos

3.1 GENERAL

Diseñar y construir las partes de hardware necesarias para el control y energización de cuatro motores que dan movimiento a un brazo robótico el cual tiene como objeto la visualización de artes decorativas.

3.2 ESPECÍFICOS

1. Montaje de cuatro servo-amplificadores realimentados en modo torque:
 - a. Montaje de dos servo amplificadores para el manejo de motores D.C. usando el driver Z12A8DDC.
 - b. Diseño e implementación de dos servo amplificadores PWM para el manejo de motores DC, selección del tipo de driver y tarjeta. Ajuste de realimentación y construcción con el integrado LM18200.
2. Diseño y construcción de una fuente de 24 V, 10 A para alimentar el sistema de potencia y los cuatro motores DC
3. Diseño y montaje de instalación eléctrica y cableado. Selección de conectores, cables, instalación en tablero.
4. Implementación de interfaces de hardware con el módulo de control, entre periféricos y etapas de potencia.
5. Entrega de documento final el cual incluye: informe detallado del desarrollo de las actividades, información del diseño, planos e interfaces elaboradas.

Capítulo 4

Elaboración del Servo amplificador

4.1 INTRODUCCIÓN

Para seguir exitosamente un perfil de velocidad en un control, la combinación motor y su servo amplificador deben generar suficiente torque para acelerar la inercia a las tasas de cambio deseadas, y manejar la carga del torque a las velocidades deseadas. La habilidad de un servo amplificador electrónico se basa en inyectar la corriente deseada a través de los bobinados del motor incrementando de esa forma la velocidad del torque. Este capítulo muestra como se realizo el servo amplificador para controlar los motores del brazo robótico.

Los servos son usados en procesos industriales para mover cargas de una forma controlada, en nuestro caso el sistema va a ser electromecánico. Se escogió este tipo de actuador teniendo en cuenta las consideraciones del mercado y guiándonos por el diseño que maneja un servo amplificador como es el Z12A8DDC. Este servo amplificador recibe una entrada de PWM la cual controla la corriente la cual es enviada hacia el motor, maneja una corriente de 6A y puede manejar motores hasta de 24V. Una condición especial que maneja este motor es que su alimentación es de 24V y aunque las tierras de los circuitos están unidas la entrada está aislada de la salida. El diagrama general dado por el fabricante se ilustra en la figura 4.1.

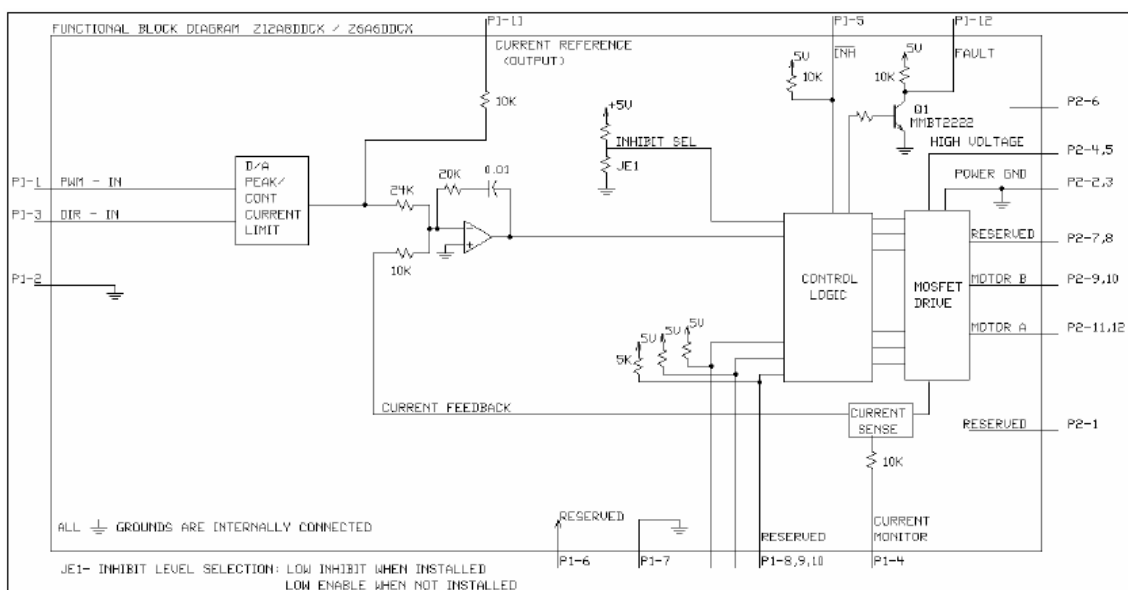


Figura 4.1

En este se puede observar como la entrada de PWM es transformada en una señal analógica para luego entrar a un amplificador operacional el cual implementa una función PI. Además de esto se puede observar como en este mismo amplificador operacional se realimenta la corriente que se mide en el motor por medio de la variable “current feedback”. Después de esto entra a una etapa de control lógico, en esta etapa se tiene el control el cual genera la activación y desactivación de los Mosfet en la etapa de potencia. Las salidas de la etapa de potencia van directamente a alimentar el motor.

3.2 SELECCIÓN DE CIRCUITO DE POTENCIA CON LAZO DE REALIMENTACIÓN ABIERTO

Para el diseño de nuestro servo amplificador lo primero que se hizo fue seleccionar un circuito de potencia el cual proporcionará alguna variable la cual se pudiera realimentar en el circuito. De esta forma se podría cerrar el lazo de control y retroalimentar la variable para tener el control de la corriente en el motor. El integrado el cual cumple estas características es el LMD18200, este es un puente el cual maneja 3A, especial para aplicaciones de control de motores. Ese dispositivo es usado en un proceso el cual combina la tecnología bipolar con un circuito de control CMOS y dispositivos de potencia en la misma estructura. Es ideal para motores DC, además de esto tiene una implementación la cual permite el muestreo de corriente y la inversión del sentido de la corriente lo cual hace el cambio de la dirección de giro del motor con una entrada digital. Es compatible con entradas TTL y CMOS. Además, tiene un circuito interno el cual permite apagado por exceso de temperatura y una salida digital la cual cambia de estado cuando se ha llegado a la máxima temperatura permitida por el dispositivo. A continuación se muestra el diagrama funcional del circuito.

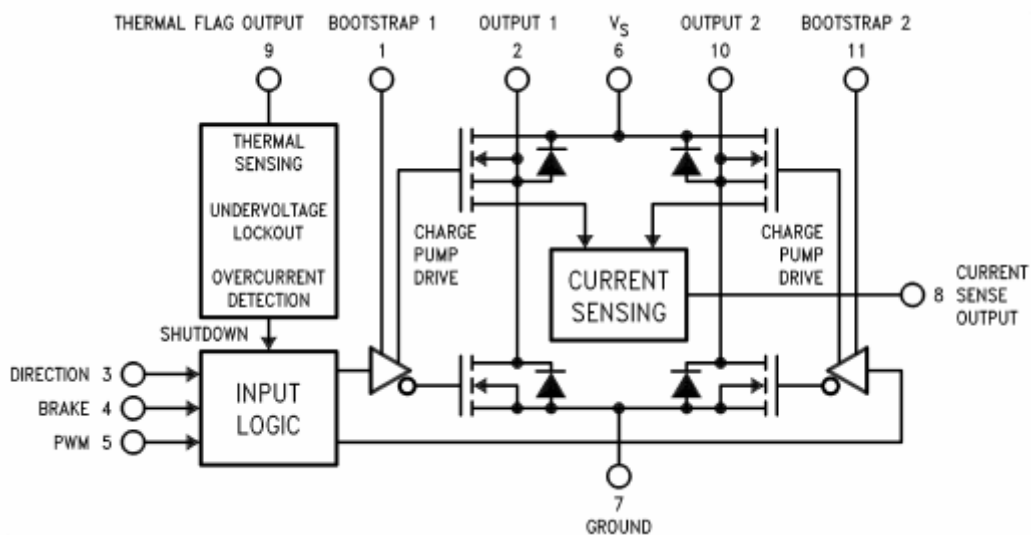


Figura 4.2

3.3 REALIMENTACIÓN DEL CIRCUITO DE CONTROL

Para la realimentación del circuito se debía tener en cuenta un circuito el cual realimentara la variable de muestreo de corriente del LM18200. Este es un valor analógico por lo cual era conveniente que pasará por un control analógico. Finalmente se debe satisfacer la condición según la cual la corriente del LM18200 varía debido a cambios en el ancho de pulso del PWM. Por lo tanto la salida del circuito de control debía convertirse a PWM.

Por simplicidad en el diseño de la tarjeta se decidió que está debía usar un control completamente analógico o completamente digital, sin embargo, debido a que el LM18200 funciona de una forma completamente analógica y a la dificultad de convertir los valores del muestreo de corriente en una escala digital se escogió que la tarjeta debía ser en su mayor parte digital. El control óptimo para el motor DC es un controlador PI (Proporcional - Integrador). Las características de este es no usar un módulo derivador para que la respuesta del motor sea más rápida.

Para implementar una configuración PI se puede usar el amplificador operacional con la configuración siguiente:

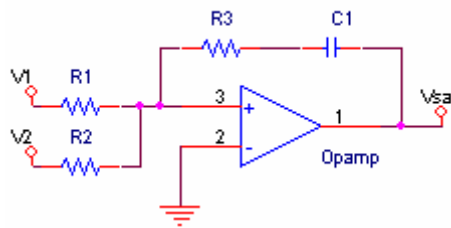


Figura 4.3

Teniendo en cuenta las entradas y las salidas de este se puede plantear el siguiente sistema de ecuaciones, la primera teniendo en cuenta la corriente por las tres ramas y la segunda teniendo en cuenta que el voltaje en la entrada diferencial debe ser igual al voltaje en la salida no diferencial para un amplificador operacional ideal.

$$(1) \quad 0 = \frac{V_3(s) - V_{sal}(s)}{R_3 + \frac{1}{sC}} + \frac{V_3(s) - V_1(s)}{R_1} + \frac{V_3(s) - V_2(s)}{R_2}$$

$$(2) \quad V_3(s) = V_2(s)$$

De donde podemos obtener:

$$V_{sal}(s) = -\left(R_3 + \frac{1}{sC}\right) \left(\frac{V_1(s)}{R_1} + \frac{V_2(s)}{R_2} \right) \Rightarrow V_{sal}(t) = -R_3 \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} \right) - \frac{1}{CR_1} \int_0^t [V_1(t) - V_2(t)] dt$$

Con esto se comprueba la configuración PI buscada para el control analógico del circuito y adicionalmente un sumador. Sin embargo, para la realimentación del error no es deseable un sumador sino un restador, por lo tanto se colocar un inversor de voltaje antes de la entrada al circuito PI con el fin de restar el error de la referencia de voltaje. En el caso de la figura anteriormente mostrada para el PI tenemos que V1 es la

referencia de voltaje y V2 es la entrada invertida de muestreo de corriente proveniente del integrado LM18200. El circuito entonces quedaría como se muestra en la figura 4.4.

En esta figura se ha usado un inversor de voltaje, sin embargo la resistencia R6 se ha colocado para obtener una medida de voltaje del terminal de muestreo de corriente del LM18200 el cual envía un valor de corriente en 377uA/A.

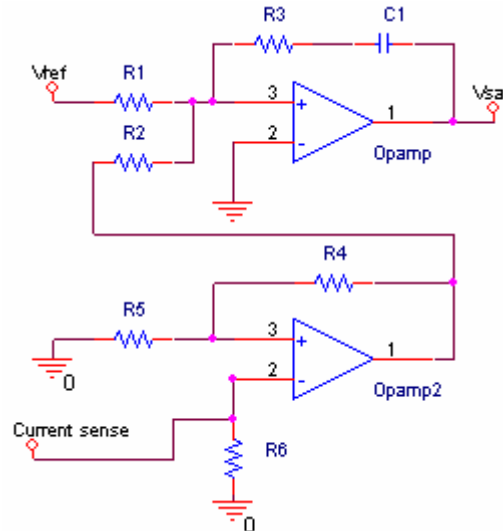


Figura 4.4

Para cambiar este valor de corriente a voltaje se maneja la siguiente relación:

$$R_s = \frac{0.83 \text{ V}}{377 \text{ uA}} = 2.2 \text{ K}\Omega$$

Donde 377uA/A es la relación de corriente la cual envía el terminal de salida de muestreo de corriente del LM18200. Y el valor de 0.83V es tomado del máximo deseado de 5V para la salida de ese mismo terminal. Con esta relación se puede obtener un voltaje proporcional al muestreo de corriente, lo cual hace posible la suma de este voltaje con voltaje de referencia para el control del PWM.

3.4 CONVERSIÓN DE VOLTAJE ANALÓGICO A PWM

Una vez hecha la realimentación con el anterior circuito se obtiene en Vsal un voltaje analógico el cual está directamente relacionado con el PWM el cual debe alimentar el motor para proporcionar el torque necesario para su correcto funcionamiento. Para realizar esto se debe convertir el voltaje de salida a PWM, esto se realiza con ayuda de un microcontrolador. Al principio y de acuerdo a la hoja de datos del integrado LM18200 el fabricante recomendaba hacer este tipo de control del PWM con ayuda del integrado LM3524, sin embargo en la práctica este presentaba no linealidades lo cual lo hacía impropio para el control deseado de torque, no linealidades que incluso se ilustran en las gráficas de su hoja de datos. Se optó por una solución la cual se adapta mejor a los requerimientos del control deseado, se escogió el microcontrolador MC68HC908QT4 del fabricante Motorola, esto debido a su tamaño compacto en un encapsulado PDIP de 8 pines (figura 4.5), el cual cuenta con un canal de ADC de 8bits y 4096 bytes de memoria FLASH. Adicionalmente el modulo procesador de este microcontrolador incluye un módulo de PWM programable con interrupciones lo cual

hace que no se presente ningún salto en el PWM con respecto a la señal analógica de 0 a 5V, razón por la cual se rechaza el LM3524. Además, de esto es fácil implementar una rutina la cual varíe de 0V a 5V en una relación directamente proporcional y lineal con el 0% y el 100% del ciclo útil del PWM. Este es un detalle importante pues brinda un control suave en el cual se va a proporcionar una variación de corriente desde principio a fin en la escala la cual maneja el LM18200. El detalle del código usado para este la lectura del ADC y su conversión a PWM se encuentra en el anexo 1.

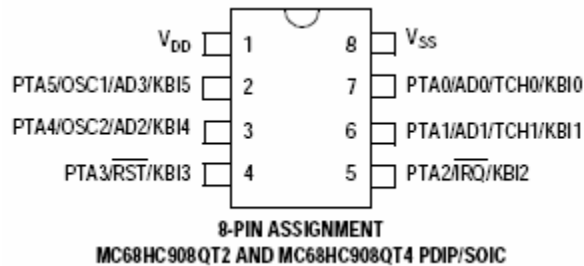


Figura 4.5

Antes de conectar la señal analógica con el microcontrolador se realiza un acondicionamiento de señal para que el integrado no sufra daño debido a los voltajes los cuales se manejan en los amplificadores de entre -12V y +12V. El montaje se presenta en la figura 4.6, se utilizan dos protecciones a la entrada del microcontrolador, un diodo zener el cual no permite valores mayores de 5V y un diodo para que no se permita la circulación de corrientes generadas por voltajes negativos. A la salida del microcontrolador y para aislar la lógica de control de los voltajes y corrientes manejadas por el LM18200 se utiliza un optoacoplador rápido, el 6N137.

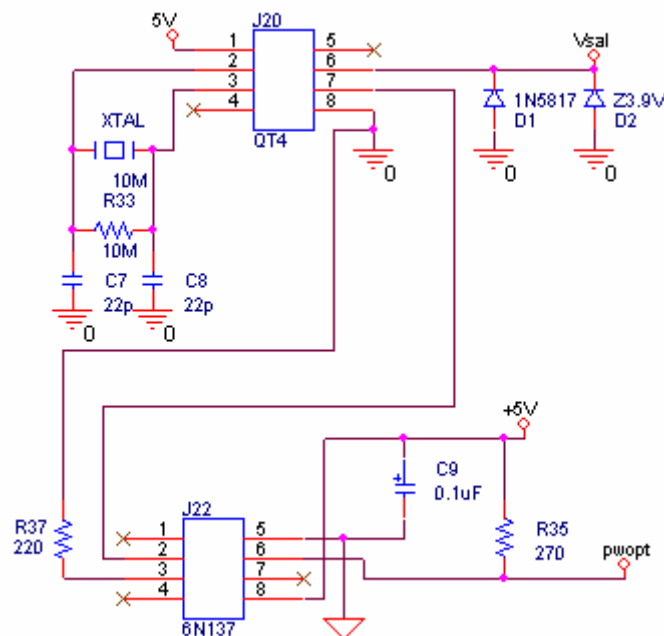


Figura 4.6

3.5 VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN DEL SERVO AMPLIFICADOR

Como requisito para un buen diseño se deseaba la alimentación desde una sola fuente de alimentación la cual diera energía por completo al servo amplificador en el cual se encuentran integrados alimentados a voltajes de 24V, -12V, 12V y 5V. Una solución es colocar fuentes y tierras flotantes tal como se observa en la figura 4.7. Se debe tener una fuente de corriente, para luego colocar R1 y R2 como divisores de voltaje. Se escogieron resistencias de 10K Ω de precisión para una división exacta del voltaje en 12V el cual es conectado al terminal positivo del amplificador operacional. Los dos transistores son usados para dar la corriente necesaria a los circuitos. Los transistores deben ser del mismo tipo y con iguales caídas de voltaje para que la división de voltaje sea de doce voltios en cada uno. Este voltaje de salida se puede medir en el emisor del transistor npn en el cual el voltaje de salida se realimenta en el amplificador en la terminal no inversora y de esta manera se pueda crear dos fuentes una de -12V y una de 12V. Luego con un regulador se puede obtener el voltaje de 5V para la lógica digital. Se puede observar como de la tierra global se toma el voltaje de -12V y del terminal positivo de la fuente de 24V se toma el voltaje positivo de 12V. La tierra flotante será el punto en el que el amplificador se realimenta. Esta configuración es ideal para evitar cortos en el circuito lo cual es algo a lo cual se le debe prestar bastante atención en el diseño y montaje de la tarjeta.

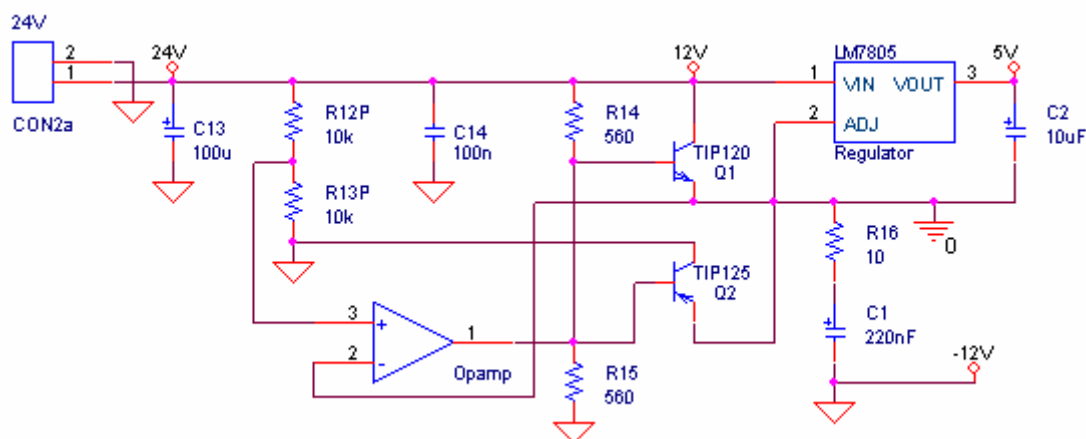


Figura 4.7

3.6 ENTRADA DE REFERENCIA ANALÓGICA

Se hacía necesario para el diseño del servo amplificador una entrada la cual permitiera una referencia de voltaje proporcional al valor de corriente necesario, y a la vez una entrada la cual tuviera una entrada en PWM para su posterior control con el DSP (Digital Signal Proccesor, el cual es el módulo encargado del control del brazo robótico). A la vez se hacía necesario poder conmutar entre estas dos entradas para escoger una entrada analógica o digital (PWM). Para la entrada digital se utilizo una configuración de un amplificador operacional la cual permitiera elevar los voltajes de un nivel de 0-5V y montarlos sobre un nivel de 12V. La configuración es mostrada en la figura 4.8. Todas las resistencias deben tener el mismo valor puesto que no se desea amplificar los valores de voltaje recibidos, debido a esto se escogieron todas las resistencias de precisión, es decir, con una tolerancia de 1%.

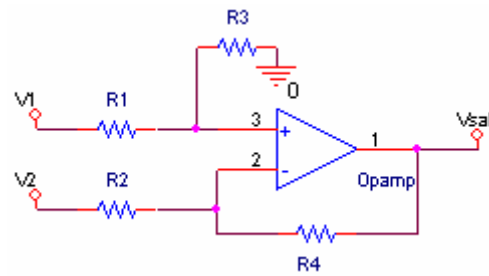


Figura 4.8

Cuando se coloca en corto el voltaje V1 se observa que el amplificador actúa como amplificador inversor obteniéndose V2 en el voltaje de salida. Cuando se coloca V2 en corto se tiene que el voltaje en la terminal no inversora debe ser de V1/2, debido a que las resistencias son del mismo valor. Como el voltaje en la terminal inversora y no inversora es el mismo entonces el voltaje en la terminal no inversora debe ser V1/2. Sin embargo, como la ganancia del amplificador es en la terminal no inversora de 2, el valor a la salida será V1. Por superposición cuando es tiene los valores V1 y V2 la salida será:

$$V_{sal} = V_1 - V_2$$

En el circuito de la figura 4.9 se observa una variación y es que el circuito no usa las mismas tierras, debido a que la tierra del amplificador operacional es la tierra flotante entonces al voltaje de salida se le suma el valor sobre el cual está montada la tierra flotante el cual es 12V, por lo tanto la salida del amplificador será:

$$V_{sal} = V_{analog} + 12$$

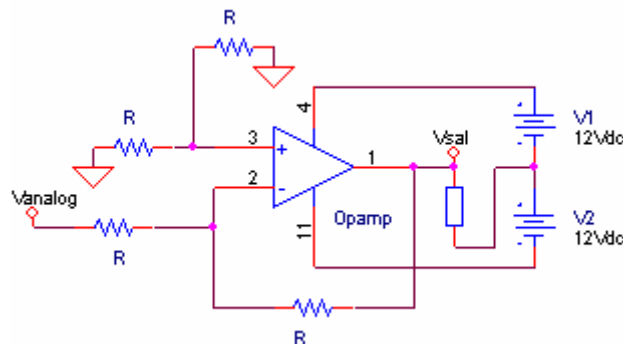


Figura 4.9

Las resistencias se escogieron todas de un valor de 10KΩ, ya que como se vio se busca que sus valores se cancelen para dar una ganancia de 1 en el amplificador y estos valores grandes aumentan la probabilidad de encontrar valores cercanos a 1.

3.7 ENTRADA DE REFERENCIA CON PWM

Debido a que se realizó un control analógico se debía cambiar el ciclo útil del PWM en su equivalente energético en voltaje analógico, para esto se tuvo en cuenta la nota de aplicación SPRA490 de Texas Instruments llamada titulada “Using PWM Output as a Digital-to-Analog Converter on a TMS320C240 DSP”. En esta nota se explica como una onda de PWM tiene una componente DC y una onda cuadrada con energía media cero. De esta forma se demuestra matemáticamente como la representación de una señal de PWM en una señal analógica sin perder información es un filtro pasa bajos de tercer orden, el cual es observado en la tabla 4.1. La función de transferencia del circuito debería ser por lo tanto:

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0}$$

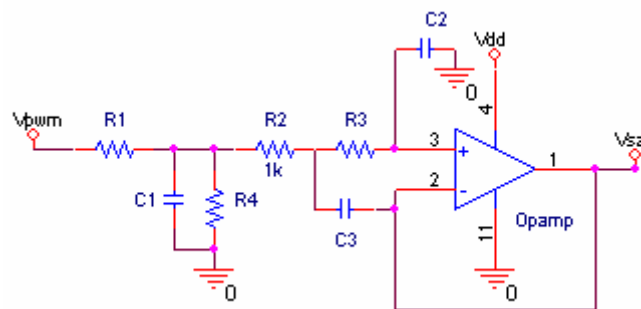


Figura 4.10

Tabla 4.1¹ Desempeño de los filtros (Simulación realizada en voltaje 0-5V con 50% de ciclo útil en el PWM)

Filter Order	Transfer Function	Parameters	-3dB Bandwidth (Hz)	PWM Freq. (kHz)	Harmonic Ripple (Vpp)	Duty Cycle Resolution (V)	Total Resolution (bits)
1 st	$\frac{1}{RCs + 1}$	RC = 1.6e-4 s/rad	1000	10 20	0.78 0.39	0.0025 0.0050	2.7 3.7
2 nd	$\frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$	$\zeta = 0.707$ $\omega_n = 6283$ rad/s	1000	10 20	0.062 0.016	0.0025 0.0050	6.3 7.9
3 rd	$\frac{1}{a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0}$	$a_3 = 1.35e-12$ $a_2 = 2.99e-8$ $a_1 = 2.75e-4$ $a_0 = 1$	1000	10 20	0.0064 0.00081	0.0025 0.0050	9.1 9.7

De está función de transferencia se tiene que el valor para las variables es:

$$a_0 = 1 + \frac{R_1}{R_4}$$

$$a_1 = R_1(C_1 + C_2) + (R_2 + R_3) \cdot C_2 + \frac{R_1}{R_4} C_2 \cdot (R_2 + R_3)$$

$$a_2 = R_3 C_2 C_3 (R_1 + R_2) + R_2 R_3 C_2 C_3 + \frac{R_1}{R_4} R_2 R_3 C_2 C_3$$

$$a_2 = R_1 R_2 R_3 C_1 C_2 C_3$$

El filtro el cual deseamos diseñar debe ser para un PWM con una frecuencia de 10Khz, para esto el ancho de banda en el punto en frecuencia de -3dB debe ser de 1Khz, con esto se logra una resolución de 9.1 bits tal como se observa en la tabla lo cual es óptimo para el control el cual se desea implementar. Con ayuda de un software para resolución de ecuaciones podemos hallar los valores para este filtro los cuales se muestran en la tabla 4.2, los valores de la izquierda son los calculados y los de la derecha son los valores realmente posibles de implementar con componentes estandarizados.

Tabla 4.2

Valores calculados	Aproximación a valores reales
$R_1 = 1.6K\Omega$	$R_1 = 2.2K\Omega \text{ } \square \text{ } 5.6K\Omega$
$C_1 = 0.1\mu F$	$C_1 = 0.1\mu F$
$R_2 = 2.4K\Omega$	$R_2 = 8.2K\Omega \text{ } \square \text{ } 3.3K\Omega$
$R_3 = 7.5K\Omega$	$R_3 = 15K\Omega \text{ } \square \text{ } 15K\Omega$
$R_4 = \infty$	Circuito abierto
$C_2 = 0.01\mu F$	$C_2 = 0.01\mu F$
$C_3 = 0.047\mu F$	$C_3 = 0.047\mu F$

Además de esto el circuito a implementar debe usar una entrada analógica tal como la estudiada bajo el numeral 3.6 de este capítulo con el fin de colocar el voltaje del PWM sobre un voltaje asociado a la tierra flotante. Adicionalmente este filtro coloca como máximo valor analógico el voltaje máximo de ciclo útil de PWM. El DSP usado envía el PWM con valor máximo 3.3V y por lo tanto este se debe subir a un valor de 5V para adecuarlo al control analógico de la siguiente etapa. Para esto se usará una compuerta inversora teniendo en cuenta que el PWM se debe enviar con el ciclo útil invertido, es decir si se desea enviar 75%, se envía un ciclo útil de 35% desde el DSP. El diseño de la entrada para una referencia de control con PWM el cual contiene el montaje del amplificador, el inversor y el filtro con los valores finales se muestra en la figura 4.11.

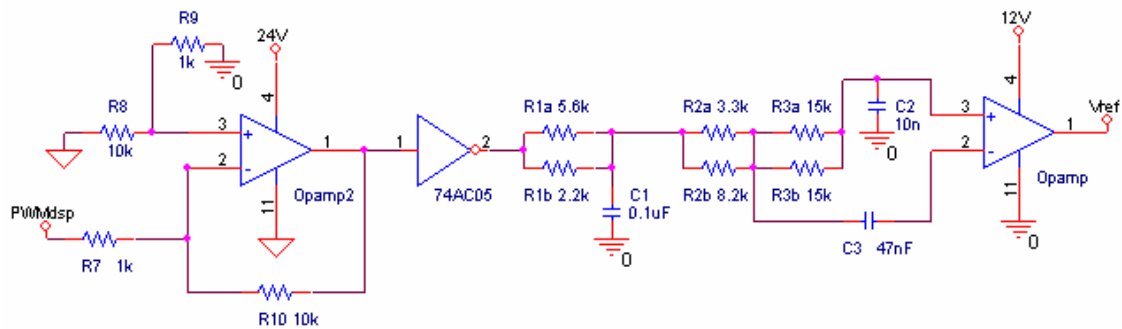
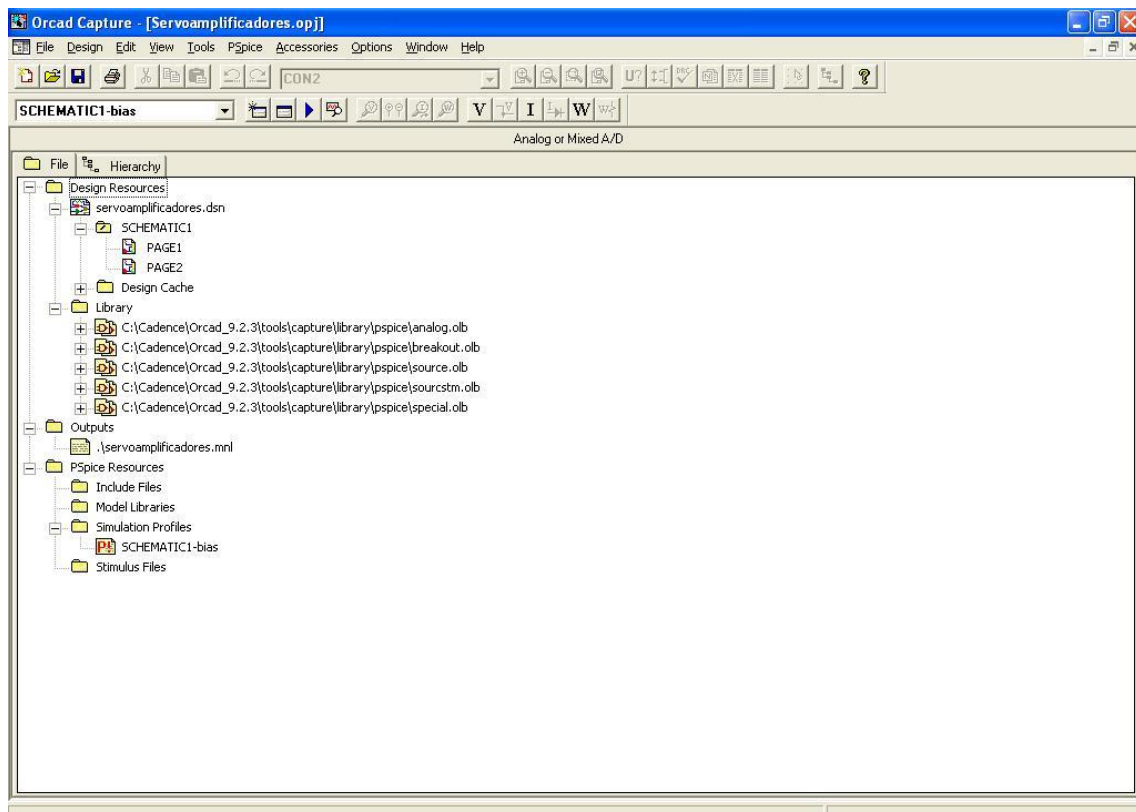


Figura 4.11

Como se observa un amplificador está colocado entre 24V, la tierra virtual y la tierra general, y el otro entre 12V y la tierra flotante. Este segundo amplificador operacional debe ser de alimentación solamente positiva y no dual, de esta forma se puede conectar uno de sus terminales a tierra. También se debe tener en cuenta que este no se sature cuando el PWM mantenga un valor de 100% en el ciclo útil, garantizando que el valor máximo sea de 5V y de esta forma logrando una conversión lineal en un rango de 0 a 5V.

3.8 DISEÑO DEL CIRCUITO IMPRESO

Para el diseño del circuito impreso se trabajo con el software Orcad suite. Este es un programa el cual incluye un programa para diseño de esquemáticos llamado Capture (Figura 4.12), y otro para diseño de PCBs el cual es el Layout, simulación de circuitos electrónicos con el programa Pspice entre otros. Para el diseño del circuito impreso del servo amplificador se utilizo el programa Capture, el diseño realizado se puede observar en el anexo 2.



Los valores del controlador de esta tarjeta se pueden variar cambiando los valores del condensador del PI y de la resistencia en serie con este condensador, los cuales son R27 y C6 tal como se puede observar en el Anexo 2 en la página 1 del esquemático y en el dibujo de los componentes. Además, para seleccionar entre una entrada de referencia analógica y una con PWM se debe tener en cuenta la posición del jumper en el selector SEL, encontrado al lado del opamp1 en el dibujo de componentes del circuito impreso. Cuando este jumper se encuentra conectando las terminales 1 y 2, la referencia será un PWM con valor variante entre 0 a 5V ó 0 a 3.3V. Cuando el jumper está conectando en las terminales 2 y 3, la entrada de referencia para el control será un voltaje analógico de con valor mínimo el 0 y valor máximo en 5V. Para el corrector funcionamiento también se debe tener en cuenta que se conecten estas señales en el conector de 6 pines. El led de la tarjeta indica el funcionamiento solamente de los voltajes de alimentación 24V, +12V, -12V y 5V.

Capítulo 5

Elaboración de tarjeta lectora de encoders

3.1 INTRODUCCIÓN

El brazo robótico originalmente cuenta con cuatro movimientos, por lo tanto se necesitan el movimiento de las articulaciones en cada una de las cuales se encuentra un encoder del cual se deben recibir datos para poder efectuar el control desde un computador o desde un DSP. Con el computador se tendrá una comunicación a través de un bus de 40 pines. Dada esta condición el conector con el DSP se adaptará para que sea de 40 pines lo cual se explicará en el capítulo siguiente, por ahora se estudiará la forma de hacer la lectura de los cuatro encoders y el envío de estos datos a través del puerto de 40 pines al computador.

3.2 DECODIFICADOR/CONTADOR EN CUADRATURA

La solución al problema de la lectura de los encoders se encontró al usar el circuito integrado HCTL-2032. Este es un circuito integrado el cual desempeña la función de decodificador y contador en cuadratura. Adicionalmente tiene una interfase para comunicación con bus de datos. El HCTL-2032 está diseñado para mejorar el desempeño de sistemas de movimiento con control en lazo cerrado y sistemas de entradas con datos digitales.

Su funcionamiento se basa en el corrimiento en tiempo de una función de decodificación en cuadratura. El HCTL-2032 se compone internamente de un decodificador lógico en cuadratura, un contador el cual se incrementa o decrementa dependiendo de su estado y 8 bits para la interfase de comunicación. En las entradas del integrado se incluyen en compuertas Schmitt-triggered de tecnología CMOS las cuales actúan como filtro evitando el ruido y permitiendo una operación confiable en ambientes ruidosos. El diagrama del HCTL 2032 se muestra en la figura 5.1.

El HCTL-2032 tiene la capacidad de indexar dos canales, los cuales pueden ser programados en un modo contador en velocidad de 4x, 2x o 1x. También proveen decodificadores cuádruples de salida y señales en cascada para ser usados con circuitos integrados estándares.

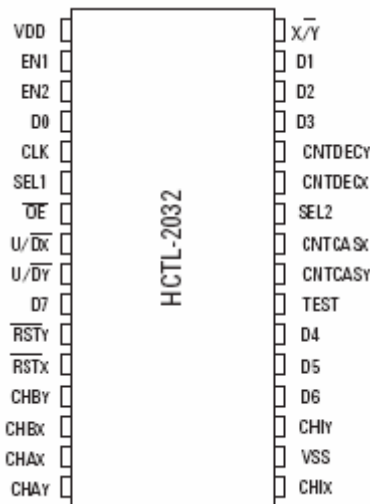


Figura 5.1

El HCTL-2032 permite generar cuentas para dos encoder, por lo cual se necesitarán dos en el diseño de la tarjeta la cual debe leer cuatro encoders. Esto se hace a través de CHAx, CHAy, CHBx y CHBy los cuales son entradas con Schmitt-trigger las cuales aceptan salidas de decodificadores en cuadratura, tales como encoders basados en ejes ópticos. Dos canales, A y B, usualmente 90° fuera de fase son requeridos. CHAx y CHBx son el primer eje. CHAy y CHBy son para el segundo eje. Para un encoder CHAx se conectara al canal A y CHBx se conectara al canal B, lo mismo con CHAy y CHBy. CHlx y CHly son entradas con compuertas Schmitt-trigger las cuales aceptan salidas de canal índice de encoders de eje óptico. RSTNX y RSTNY son entradas con compuertas Schmitt-trigger las cuales limpian la información de los contadores internos y los cerrojos. También resetean la lógica de inhibición. Estos RST están sincronizados con respecto a cualquiera de las señales de entrada. RSTNX resetea los primeros contadores de cada canal y RSTY los segundos contadores de cada canal. OEN es una entrada CMOS activa baja la cual habilita los buffer triestado. SEL1 y SEL2 son entradas las cuales controlan directamente cuales son los byte de datos, el cual va a ser activado en los buffer triestado de salida de 8 bit, de acuerdo con la tabla 5.1.

Tabla 5.1 Terminales SEL1 y SEL2

SEL1	SEL2	BYTE SELECTED			
		MSB	2ND	3RD	LSB
0	1	D4			
1	1		D3		
0	0			D2	
1	0				D1

EN1 y EN2 son terminales de control CMOS las cuales son colocadas en alto o en bajo para seleccionar el modo contador el cual se desea usar antes de que la decodificación comience, para su operación se debe tener en cuenta la tabla 5.2. X/Y selecciona si se van a leer los datos del eje uno o dos, en nuestro caso sería del canal A o del canal B de los encoders. CNTDECx y CNTDECy son salidas las cuales indican con un pulso si el decodificador ha detectado una transición de estado. CNTDECx es usado para el canal principal y CNTDECy para el canal secundario.

Tabla 5.2 Terminales EN1 y EN2

EN1	EN2	Count Modes		
		4x	2x	1x
0	0	Illegal Mode		
1	0	On		
0	1		On	
1	1			On

CLK es una entrada con compuerta Schmitt-trigger para una señal externa de reloj. D0 a D7 son salidas triestado las cuales conforman un puerto de 8 bits a través del cual los contenidos del cerrojo de 32 posiciones se pueden leer en secuencias de 4 bytes. EL MSB es leído primero seguido del resto de los bits siendo el LSB el último.

Teniendo en cuenta lo anterior para el primer encoder se harán las siguientes conexiones: el canal índice se conectara al terminal CHIx, el canal A al terminal CHAx y el canal B al terminal CHBx. Para el segundo encoder se tienen las siguientes conexiones: el canal índice se conectara al terminal CHIy, el canal A al terminal CHAy y el canal B al terminal CHBy. Estas conexiones se pueden visualizar en el Anexo 3, en el esquemático del circuito de lector de encoders.

3.3 OSCILADOR DEL CIRCUITO LECTOR DE ENCODERES

Para el reloj el cual maneja la frecuencia interna del HCTL-2032 se uso un oscilador. Los osciladores requieren un elemento el cual entre en resonancia y un dispositivo activo. Típicamente se requieren resistores y capacitores.

Para su funcionamiento se deben cumplir dos requerimientos: el primero es que la ganancia del lazo cerrado sea más grande o igual a uno. El segundo requisito es que el corrimiento en fase del lazo debe ser un valor en la serie creada por la multiplicación entre un entero y 360°. Además, es importante notar que en el encendido del circuito oscilador el ruido del circuito comience la oscilación. Para operar los HCTL 2032 se necesitaba un reloj el estuviera disponible en una tecnología para usarla con entradas TTL, y además el cual tuviera un amplio rango de funcionamiento. Se escogió un cristal de 20Mhz, de esta forma y con ayuda de las entradas EN1 y EN2 para ajustar los contadores en 1x, 2x y 4x. Algo para remarcar en el oscilador escogido es que usa la tecnología de cristal y a la vez tecnología de compuertas para crear en un sistema un oscilador, también es relevante que este sea similar a los integrados usados normalmente en el mercado y sea compatible con estos. Esto se puede observar en la figura 5.2 donde se observan sus dimensiones.

Su ensamblaje en un circuito impreso es sencillo comparado con otros osciladores, sin embargo, se debe tener cuidado debido a que la temperatura a la cual se aplica la soldadura y el tiempo de aplicación deben ser regulados.

3.4 ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL DE ENCODERES

Los encoders usados en dos motores del proyecto son de referencia Sharp GP-1R04A, los cuales son encoders ópticos incrementales de 96 pasos, sin embargo, al usarlos se mostró como su desempeño no es de la mejor calidad y necesitan un acondicionamiento de señal. Esto llevo a la gestión de unos nuevos encoders para los motores.

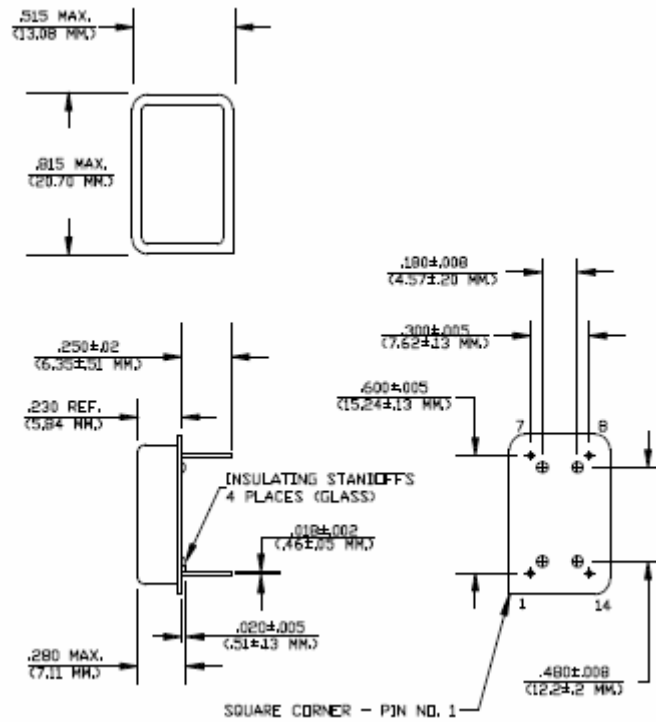


Figura 5.2

Estos nuevos encoders son de funcionamiento similar a los usados en los motores Maxon, los cuales son usados en las otras dos articulaciones del brazo robótico. Estos encoders brindan una mejor inmunidad al ruido, no necesitan acondicionamiento de señal y su interfaz de conexiones muestra un diseño robusto y una interfaz de comunicación simple tal como se puede observar en la figura 5.3 y 5.4.



Figura 5.3

La alimentación de este encoder es de 5V, es compatible con TTL lo cual hace que sus señales de salida no necesiten acondicionamiento de señal, debido que la señal ya está con la ganancia adecuada para ser aceptada en lógica de compuertas. . Y las señales de sus pines son nítidas y con pocas componentes de ruido lo cual hace innecesario el uso de compuertas para elevar sus niveles de voltajes o darle a la señal una forma de componente cuadrada.

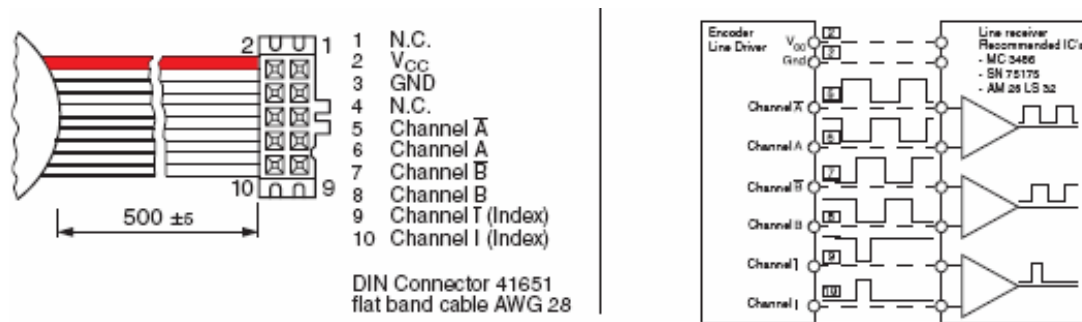


Figura 5.4

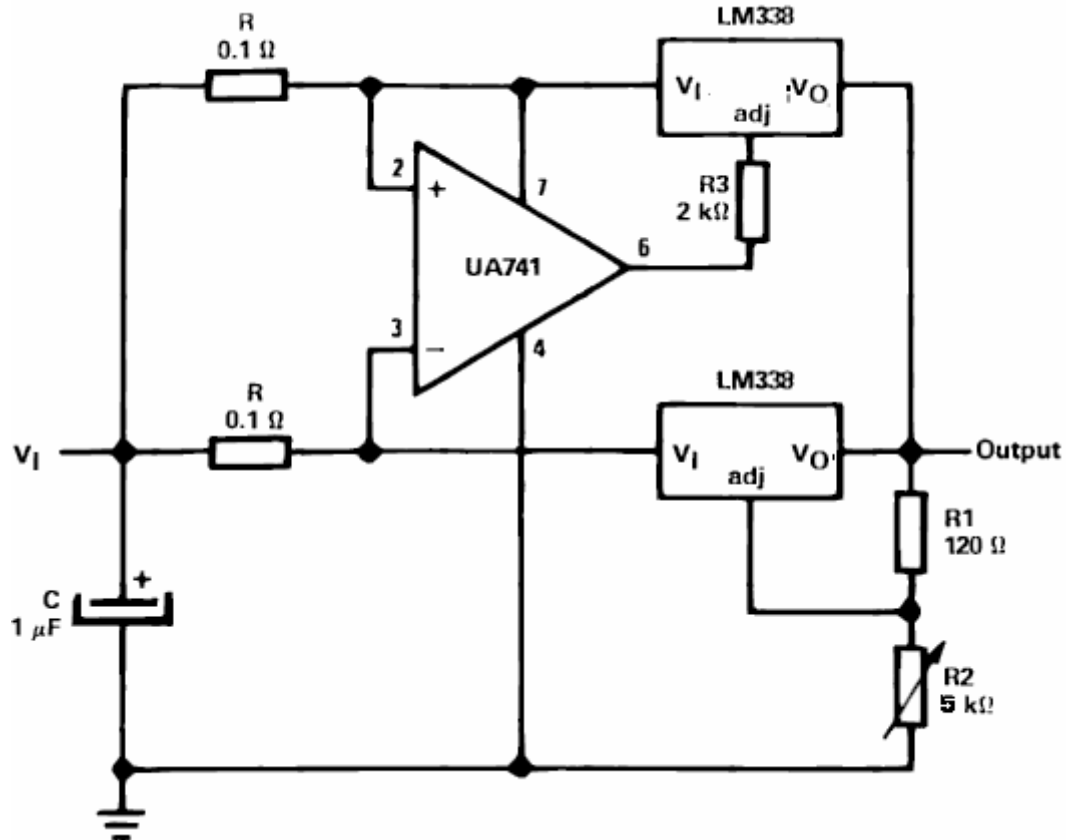
3.5 DISEÑO DEL CIRCUITO IMPRESO

El diseño de este circuito impreso incluye el diagrama de componentes o esquemático, el cual se encuentra en el anexo 3. En este se puede observar la conexión de los puertos con el HCTL 2032, las cuatro entradas de encoders y las salidas a un puerto de 40 pines para ser leídas posteriormente en un computador o en el DSP. También se pueden observar otros circuitos como optoacopladores o microcontroladores colocados con el fin de acondicionar señales las cuales se usaron a lo largo del proyecto. Como por ejemplo, acondicionamiento de señal de analógico a digital, este se uso al comienzo del proyecto cuando todavía no se había creado el control desde el DSP. De esta forma el brazo robótico se podía controlar con ayuda de una tarjeta de adquisición de señales lo cual hizo más confiable el desarrollo del esquema de control en un software el cual permitiera hacer constantes modificaciones al programa en orden a simplificar el proceso de creación del programa de control para el brazo robótico. En este anexo también se puede observar el circuito impreso de la tarjeta finalizado.

Capítulo 6

Fuente

El diseño de la fuente debe obedecer a un circuito el cual sea capaz de suplir un voltaje de 24V para un promedio de corriente de 5A en todas las articulaciones con un máximo de 10A. Para esto se tuvo en cuenta el diseño de una fuente conmutada, sin embargo, este diseño tenía problemas de ruido debido a la conmutación efectuada en las etapas de control del voltaje de la fuente. Eso llevo a plantear el diseño de una fuente a base de reguladores en cascada. Se escogió el regulador LM338 el cual es un regulador de 3 terminales. Estos reguladores proveen un voltaje variable el cual puede ser configurado con una terminal de ajuste, las otras terminales son la salida y la entrada de voltaje. Además, en el circuito se incluye un amplificador operacional el cual está encargado de generar un equilibrio en el voltaje el cual recibe el regulador superior. El voltaje de la fuente se configura con la resistencia inferior de 5K la cual se puede observar en la figura 6.1.



Anexo 1 Conversión de voltaje analógico a PWM

En este anexo se coloca el código diseñado en assembler de la conversión de voltaje analógico con entrada en el rango de 0 a 5V y salida en PWM en un rango de 0 a 100% del ciclo útil. Para esto se utilizó el microcontrolador motorota MC68HC908QT4 de la familia motorota. El programa en el cual se editó este código es el Winide. Este programa junto con el simulador de código y el programador de microcontroladores se puede descargar gratuitamente de la página del fabricante, la suite completa se llama Pemicro.

```
$Include 'jk3bueno.inc'
```

```
org RamStart
```

```
motl    ds 1
con     ds 1
```

```
org RomStart
```

```
Main_Init:
```

```
    rsp
    clra
    clrx
    mov #$01,CONFIG1
    mov #$FF,DDRD      ;Setting PortD to an output
    mov #%00100000,tsc
    mov #%00111010,tsc0
    mov #$00,ADCLK      ;Prescaler ADC a 1:4
    mov #%00101001,ADSCR ;COCO=0, AIEN=1 ENABLED INTERRUPT
    ADCO=1 CONTINUOUS CONV, ADCH=01001 PORTD2
    ;COCO=EOC AIEN=0 NO INTERRUPT    ADCO=0 NO
    CONTINUOUS =>COCO=1 INDICA EOC
    ;cli = habilitar interrupciones, SEI = deshabilitar interrupciones
    mov #$00,tmodh
    mov #$80,tmodl
    mov #$00,tch0h
    mov #$00,tch0l
    mov #$00,tch1h
    mov #$00,tch1l
    clr motl
    clr con
```

```

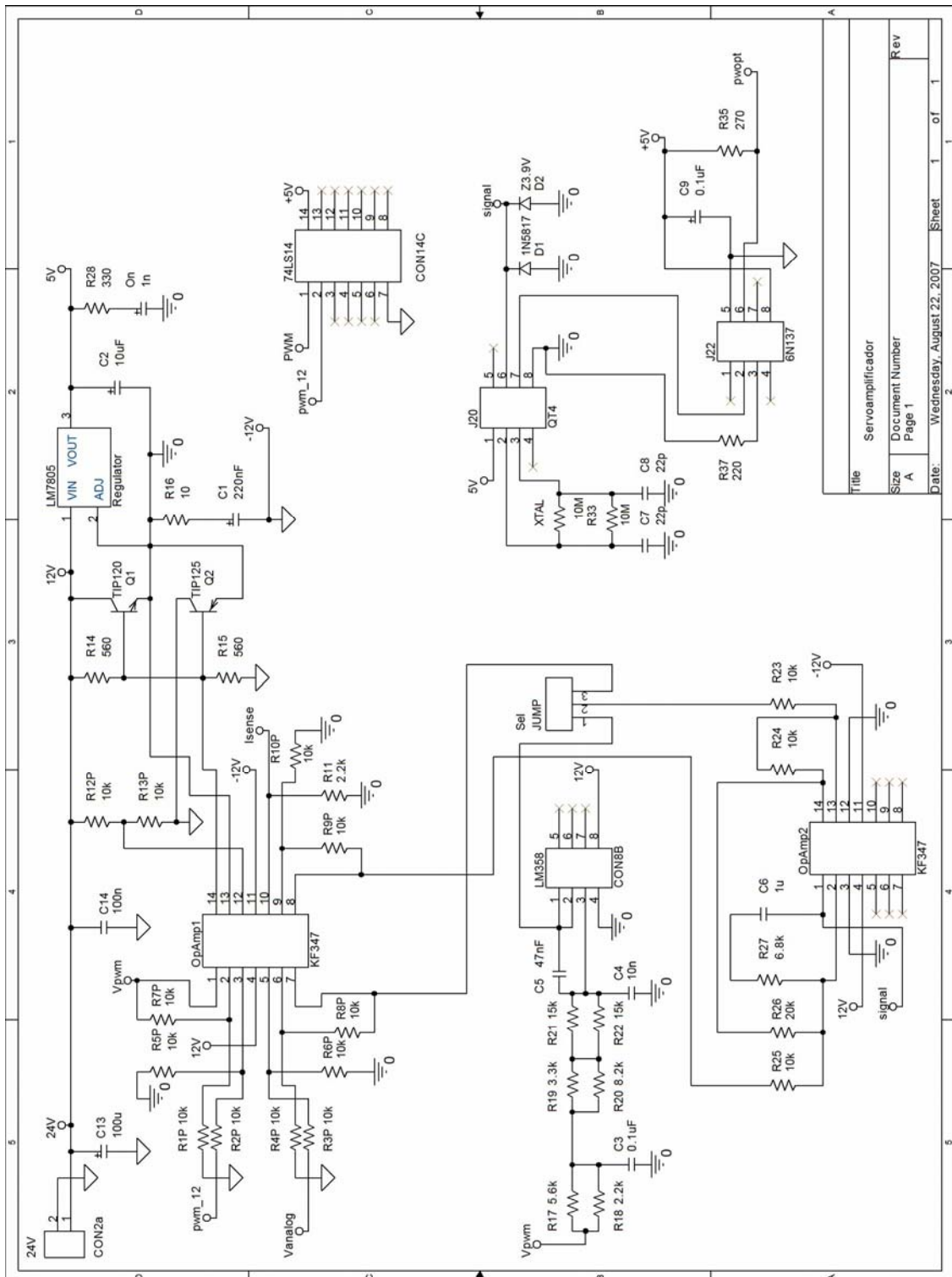
        bclr tstop,tsc
        bra pwm
pwm
        lda adr
        ;coma          ;Hace que el pwm comience desde el valor máximo con la
mínima entrada del ADC
        lsra
        brset tof,tsc,cambio
        bra pwm
cambio
        bclr TOF,TSC
        bclr TOF,TSC0
        brset 0,con,canal1

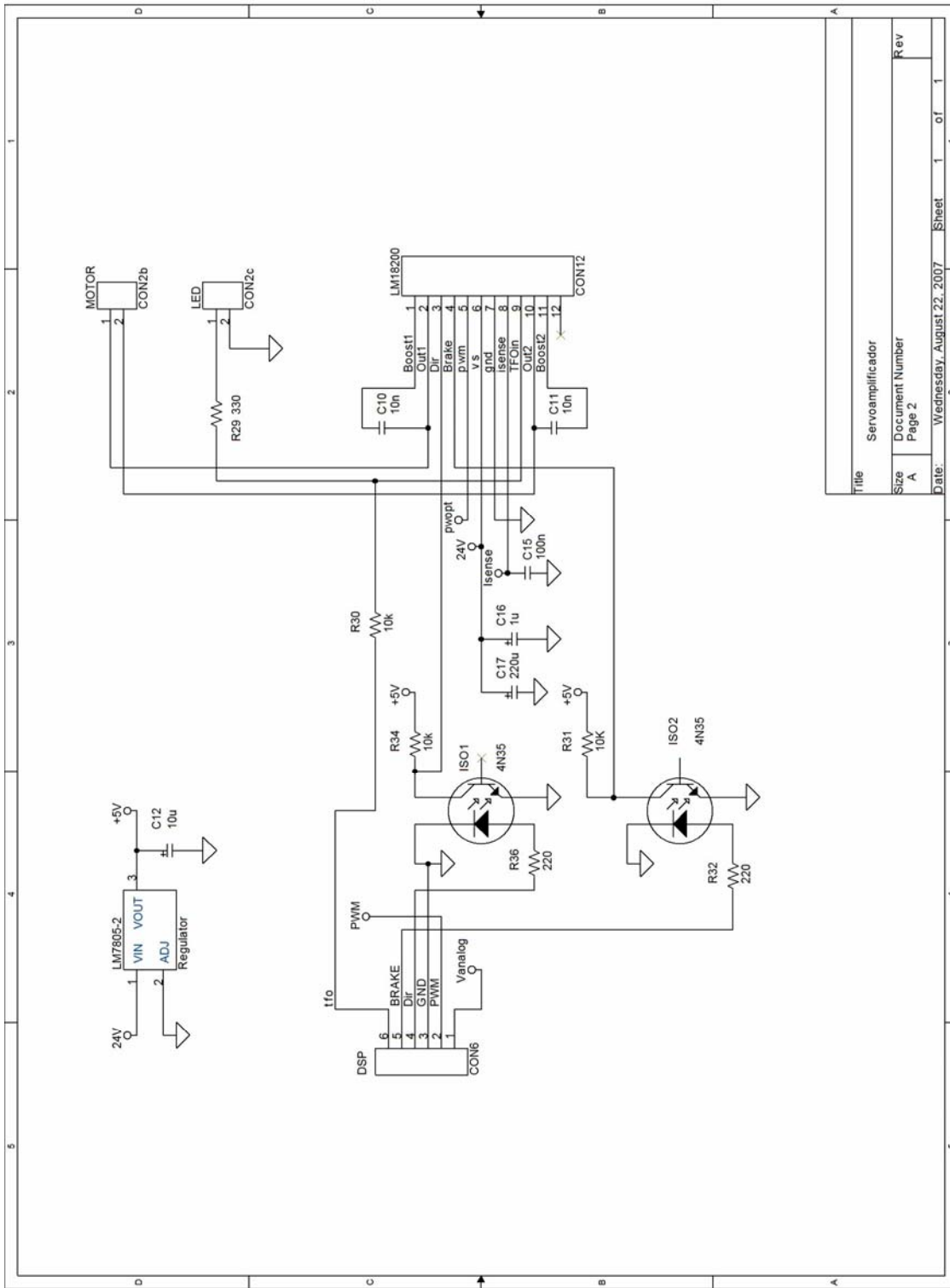
        com con
        stx tch0h
        sta tch0l
        bra pwm
canal1
        com con
        stx tch1h
        sta tch1l
        bra pwm

org VectorStart
dw main_init ; Reset Vector

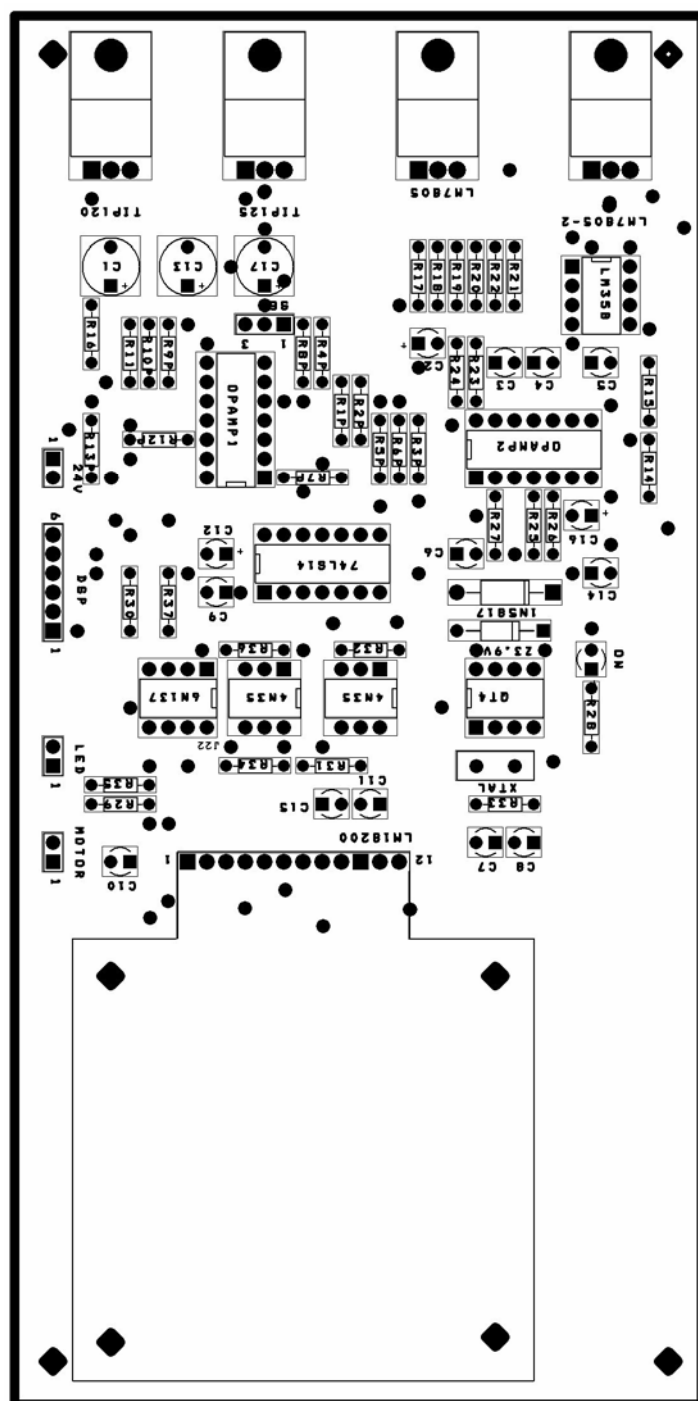
```

Anexo 2 Diseño de Circuito Impreso para Servoamplificador

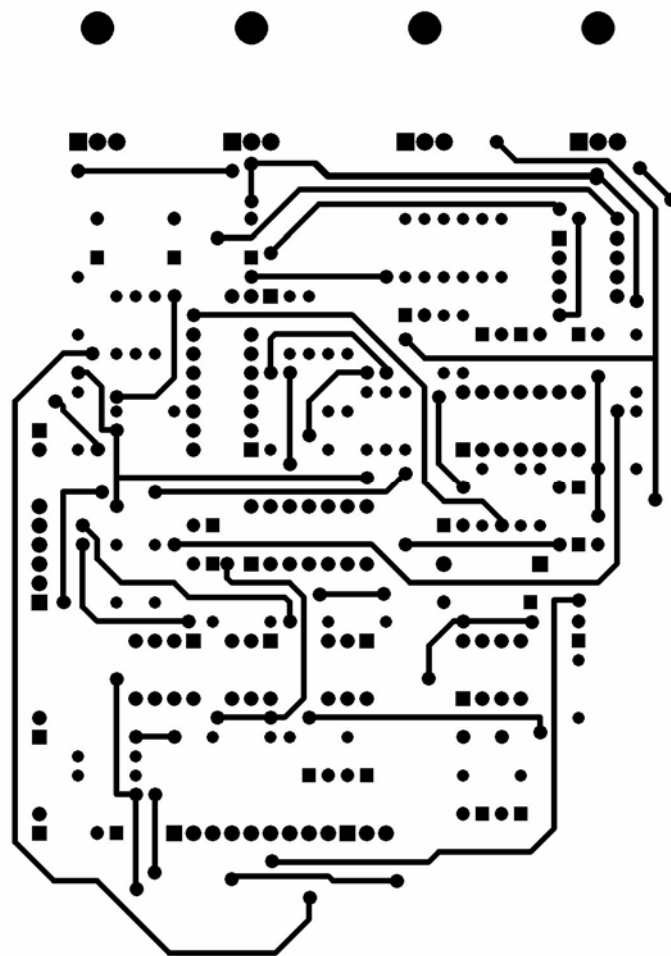




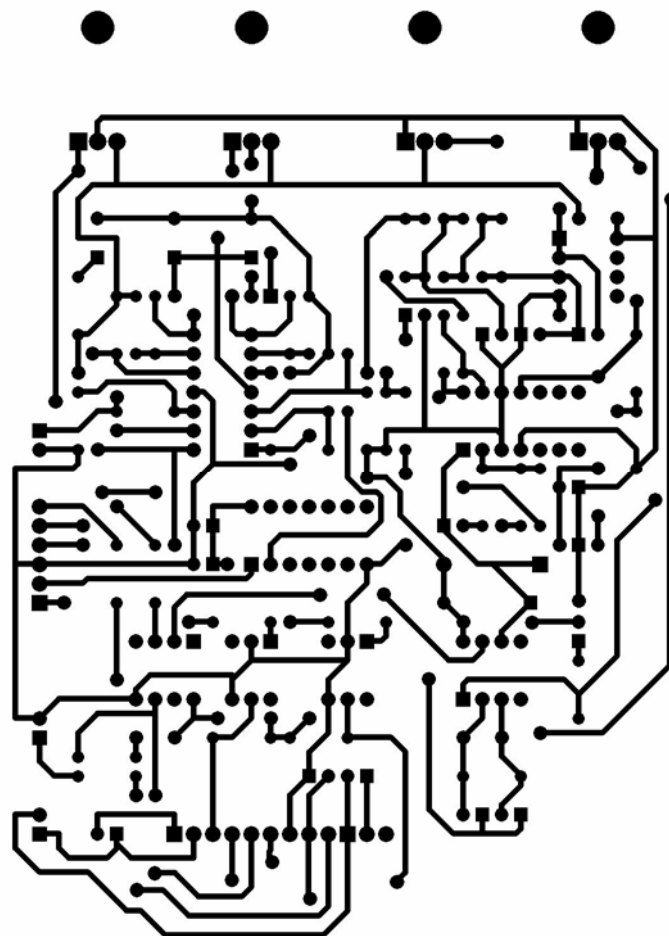
A continuación el dibujo de componentes de la tarjeta final diseñada con el anterior esquemático.



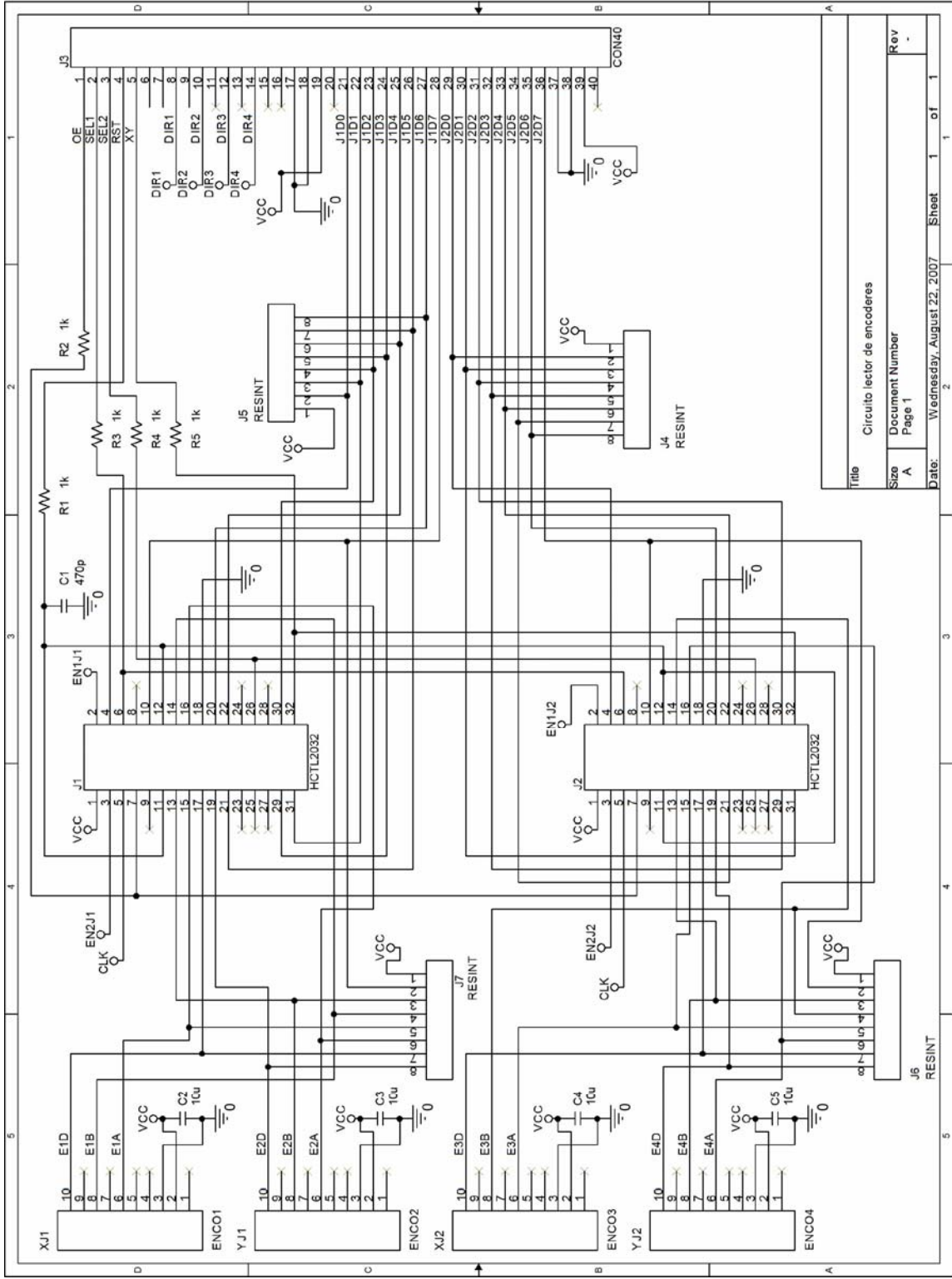
Dibujo de los caminos de el circuito en la cara superior del impreso.



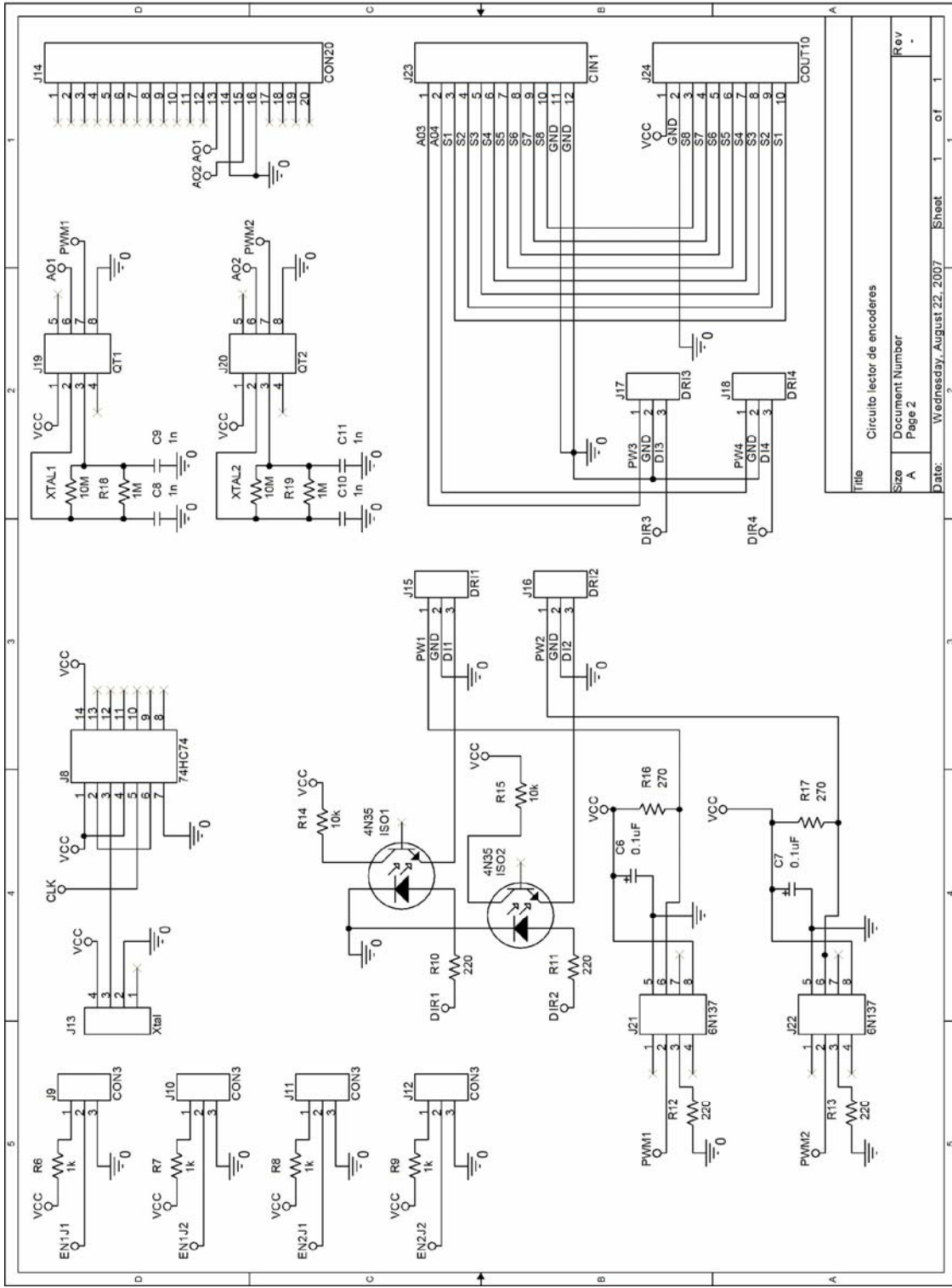
Dibujo de los caminos de el circuito en la cara inferior del impreso o lado de soldadura.



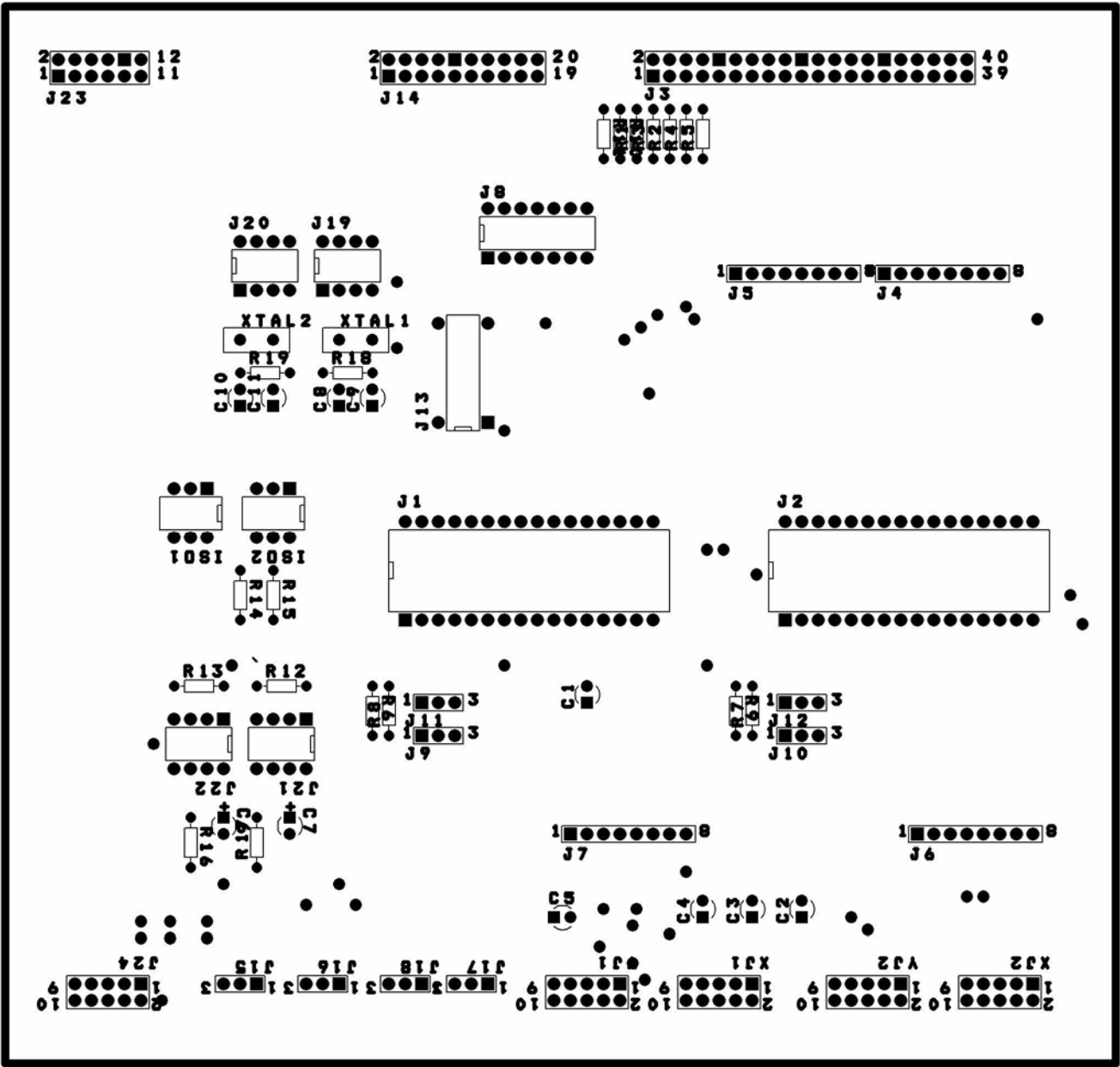
Anexo 3 Diseño de Circuito Impreso para lector de encoders



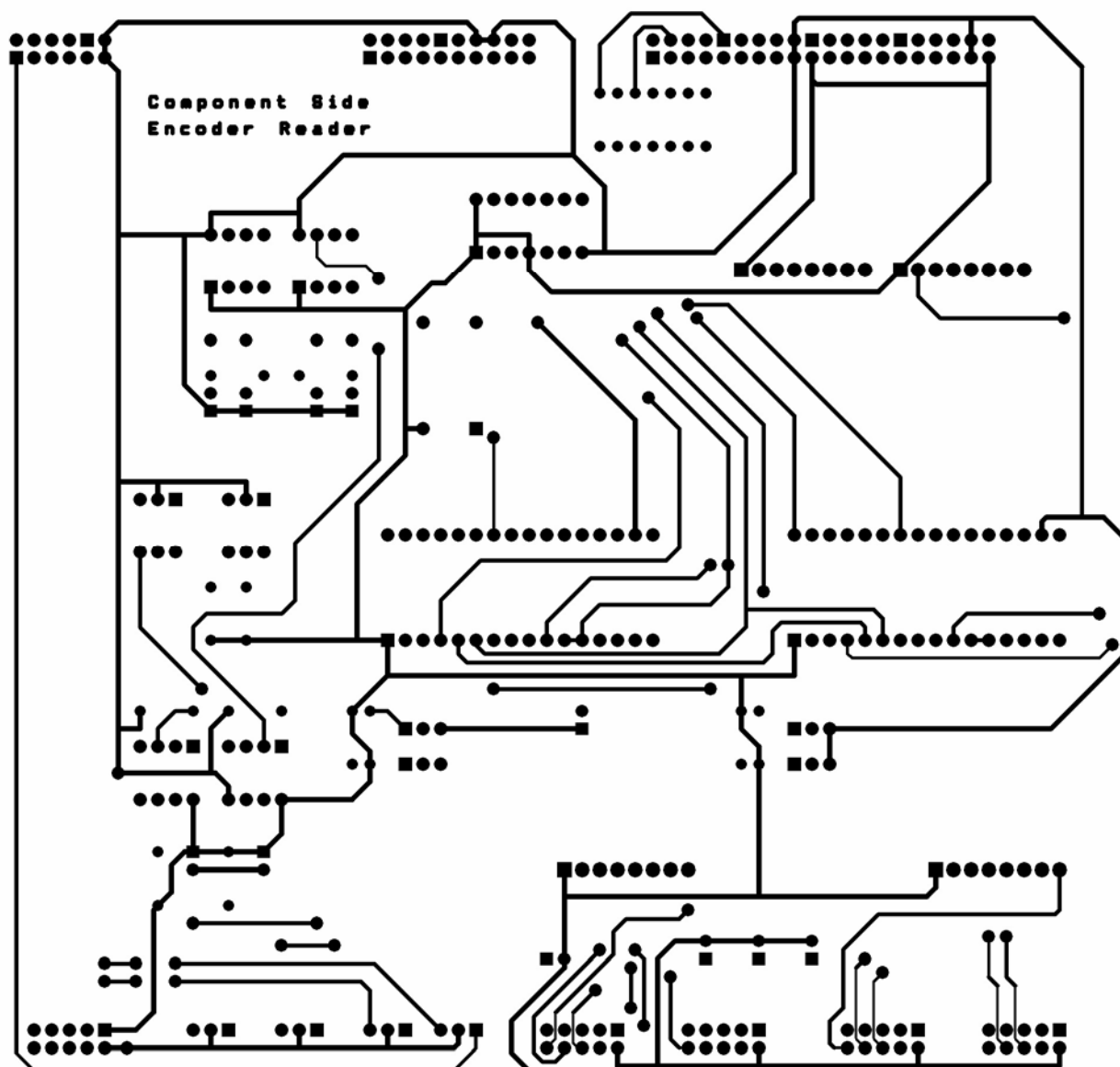
Title			Circuito lector de encoders		
Size	A	Document Number	Page 1	Rev	-
Date:	Wednesday, August 22, 2007	Sheet	1	of	1



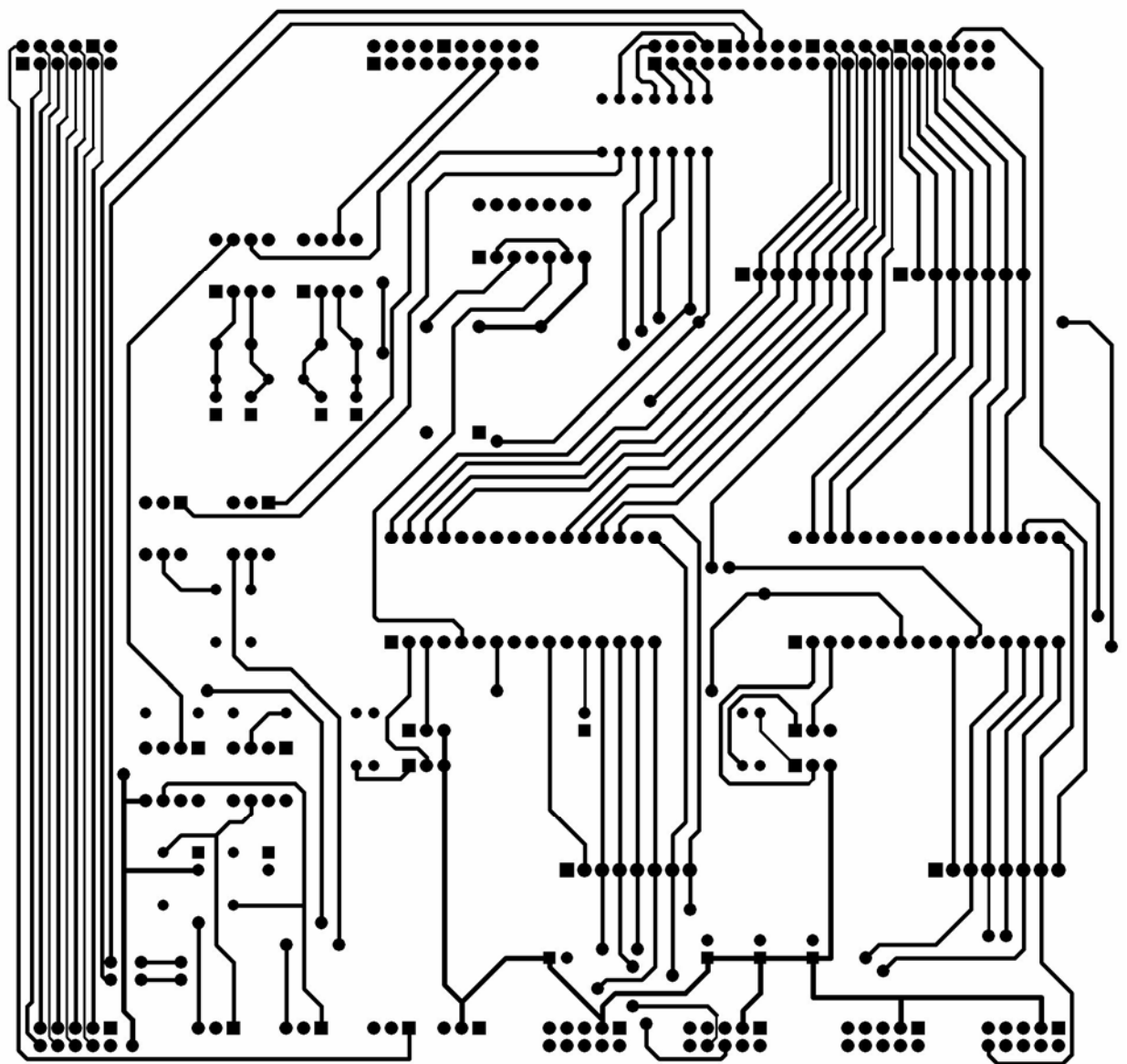
Dibujo de los componentes del circuito.



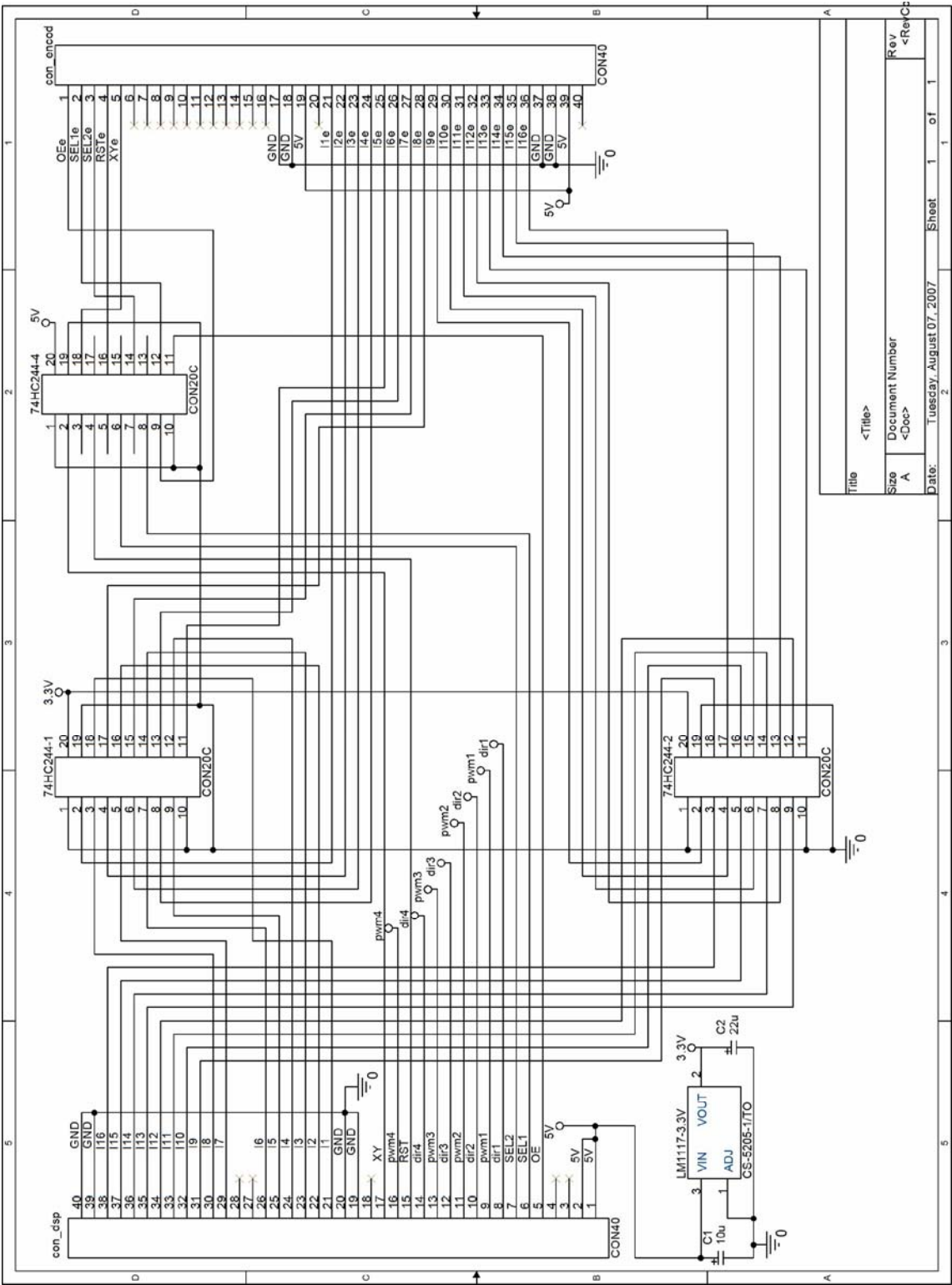
Dibujo de los caminos del circuito en el lado superior del impreso.

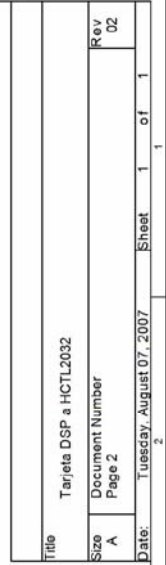


Dibujo de los caminos del circuito en el lado inferior del impreso.

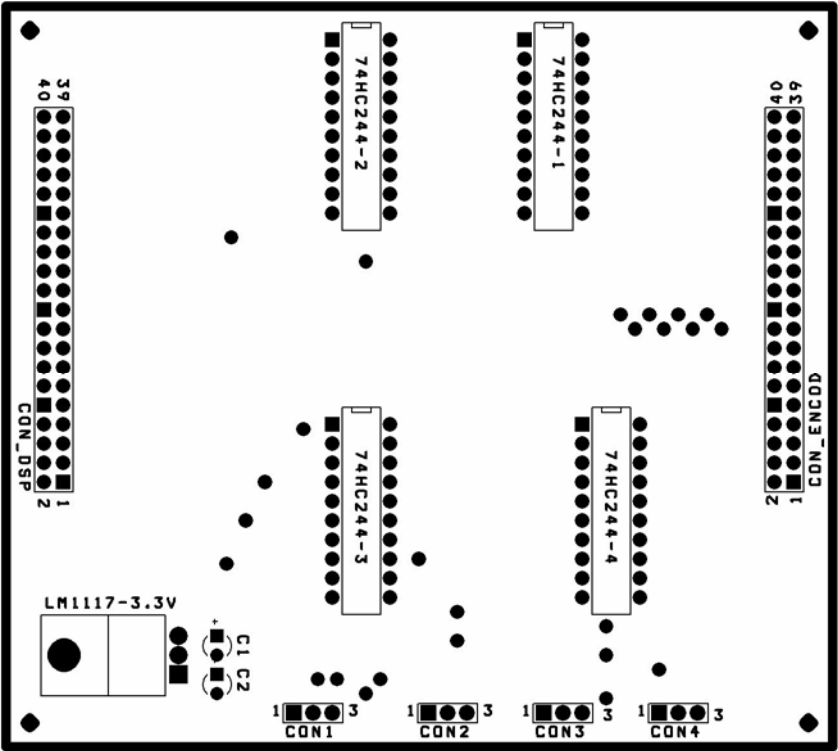


Anexo 4 Diseño de Circuito Impreso para interface con el DSP

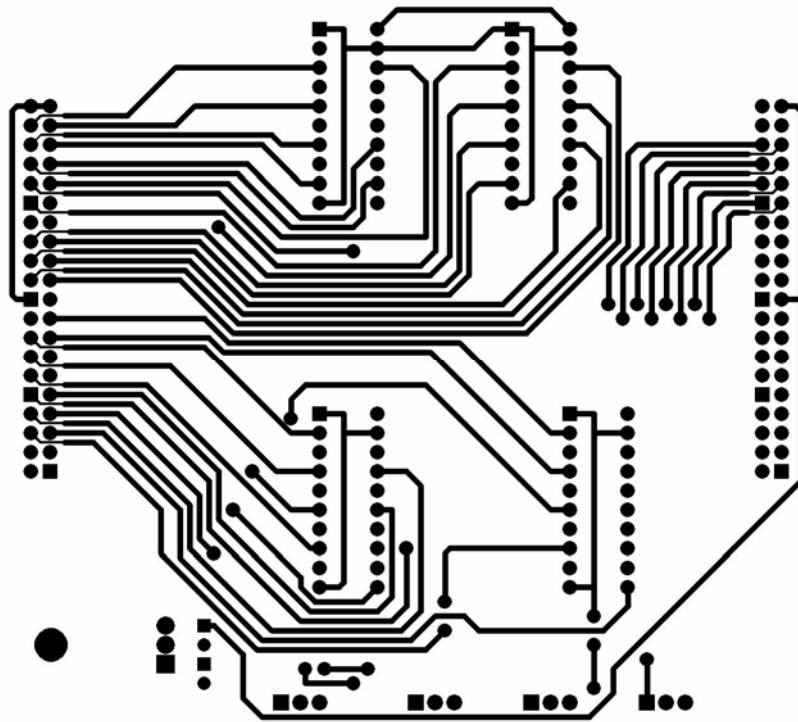




Ubicación final de los componentes para tarjeta.



Ubicación final de los caminos en el lado superior del impreso.



Ubicación final de los caminos en el lado inferior del impreso.

