

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE GUADALAJARA

INCORPORADA A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA



62
Egson

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO DE
UN PANTOGRAFO PARA EL CORTE DE PLACAS DE ACERO”

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A

MARCO ANTONIO BARRERAS MEZA

GUADALAJARA, JAL. MAYO DE 1989



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

	INTRODUCCION.....	1
	CAPITULO 1	
I	FUENTES DE RADIACION DE LUZ.....	3
	a) Qué es una fuente de luz?.....	3
	b) Fuentes especializadas de luz.....	4
	c) Lámpara incandescente.....	5
	d) Fuentes de luz semiconductores.....	6
	e) Láser.....	7
	f) Comparación de brillantes.....	8
	g) Cómo trabaja una fuente de luz?.....	8
	h) Luminiscencia.....	9
II	CUALES SON LAS CARACTERISTICAS IMPORTANTES DE UNA FUENTE DE LUZ.....	10
	a) Distribución espectral.....	10
	b) Angulo visual.....	10
	c) Eficiencia.....	11
	d) Seleccionando una fuente de luz.....	12
III	DETECTORES DE LUZ.....	12
	a) Qué es un detector de luz?.....	12
	b) Cómo trabaja un detector de luz?.....	13
	c) Repaso de materiales semiconductores.....	13
	d) Cómo trabaja un detector fotoresistivo....	16
IV	CUALES SON LAS CARACTERISTICAS IMPORTANTES DE UN DETECTOR DE LUZ.....	18
	a) Respuesta espectral.....	18
	b) Angulo visual.....	18
	c) Eficiencia.....	19
	d) Propiedades eléctricas.....	20
	e) Seleccionando un fotodetector.....	20
V	SISTEMAS ELECTRONICOS ACOPLADOS OPTICAMENTE.....	21
	a) Qué es un sistema acoplado ópticamente....	21
VI	CUALES SON LAS CARACTERISTICAS IMPORTANTES DE UN SISTEMA ACOPLADO OPTICAMENTE.....	21
	a) Características de transferencia.....	22

	b) Respuesta en frecuencia.....	24
	c) Tiempos de switcheo.....	24
	d) Frecuencia límite (f_c).....	25
VII	LA CABEZA RASTREADORA.....	26

CAPITULO II

	a) El concepto de retroalimentación.....	27
	b) Diagramas de bloques.....	29
	c) Interfase de entrada (conversión A/D).....	31
	d) Amplificador operacional seguidor de voltaje.....	31
	e) Amplificador operacional diferenciador o comparador.....	32
I	SISTEMA DE CONTROL AUTOMATICO FOTOELECTRICO.....	33
	a) La cabeza rastreadora.....	33
	b) Rastreando la línea central.....	35
	c) Rastreador de bordes.....	35
	d) Comienzo automático de corte.....	38
	e) Corte lento en esquinas.....	40
	f) La cabeza giratoria del PH 19.....	40
	g) Apagado automático de corte.....	41
II	PREPARACION DEL DIBUJO.....	41
	a) Trazando la línea.....	42
	b) Redondeando el radio.....	42
	c) Rastreador de bordes.....	43
	d) Tomando en cuenta el ancho del corte.....	44
	e) Compensación del corte.....	45

CAPITULO III

	a) Conversión D/A.....	47
	b) Amplificador de salida.....	49
	c) Movimiento coordinado.....	50

CAPITULO IV

a) Estudio económico.....	54
b) Ventajas y desventajas.....	58
c) Conclusiones.....	59
BIBLIOGRAFIA.....	60

INTRODUCCION

En el desarrollo de la industria, se requieren - cada dia más de piezas de metal que deben de tener ciertas medidas específicas, con un error mínimo.

El propósito del desarrollo del diseño de control para el corte de placas de acero, es la de satisfacer las demandas que requiere el mercado, con respecto a este tipo de piezas.

La parte de este diseño que se considera la más importante es, el sistema de control fotoeléctrico; ya que - este es el que controla la maquina completamente automática.

El principio de operación de este aparato que se denomina comercialmente como "pantógrafo electrónico" es el siguiente:

La luz de dos bulbos que se localizan en la cabeza rastreadora, es proyectada sobre el dibujo trazado. La calidad de la luz reflejada por el dibujo es recogida por una - unidad de fotoreistores via un sistema de lentes y es procesada como una señal eléctrica. Una señal de corrección para - cualquier vuelta derecha o izquierda es efectiva, dependiendo de la posición del contorno del dibujo en relación a la unidad de fotoreistores y al eje de rotación de la cabeza rastreadora. La señal se requiere antes que la cabeza rastreadora alcance el punto trazado en el contorno con su eje de rotación. Por lo tanto, el punto de luz es colocado para que tenga una leve dirección.

La señal eléctrica alimenta al control del motor via un amplificador electrónico. La cabeza rastreadora es virada por el control del motor, actuando a través de un mecanismo, para que así sea colocado precisamente sobre el contorno.

Existe un transmisor seno-cos que rota al mismo tiempo con la cabeza rastreadora. Este transmisor pasa las señales correspondientes al ángulo de viraje via un amplificador coordinante a la longitud y al motor transversal; con eso se controla la dirección del recorrido de la maquina.

La trayectoria de la antorcha de corte coincide con la trayectoria de la cabeza rastreadora del pantografo, y reproduce la figura a una escala de 1 : 1.

Existe un control automático de corte y tan pronto el contorno del dibujo es alcanzado, los switches del sistema de control se ponen por sí mismo en automatico, el punto de luz corre en una linea recta sin referirse a una linea del dibujo, hasta que alcance el contorno prescrito, con lo cual los switches se ponen en "control automático".

Si en el recorrido del dibujo se localiza una esquina afilada, la velocidad de corte es automáticamente reducida por el sistema de velocidad baja en esquinas.

Este sistema de control está diseñado para rastrear líneas con una anchura de 0.5 a 1.2 mm (anchura óptima: 0.6 a 0.7 mm) y para rastrear bordes con un mínimo de anchura de 2 mm.

Para garantizar un funcionamiento satisfactorio del sistema de control, es necesario mantener una distancia de $16 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ ($5/8" \pm 3/32"$) entre el nivel más bajo de la cabeza rastreadora y el dibujo.

CAPITULO 1

FUENTES DE RADIACION DE LUZ.

Qué es una fuente de luz?

Cuando la energía reacciona con cualquier material un proceso de conversión de energía toma lugar. Un material el cual convierte una porción de su energía en luz, es referido como una fuente de luz. Existen algunas fuentes de luz en el sistema solar; pero el sol es la mejor fuente de luz natural que radia a la tierra, ya que están cercanos.

El sol convierte la energía atómica en radiación electromagnética a través de un espectrum de longitudes de onda en el cual se incluye los rayos de luz. Cuando esta energía radiante alcanza la atmosfera terrestre, algunas longitudes de ondas son absorbidas por la atmosfera terrestre y nunca alcanzan la superficie terrestre. La energía que alcanza la superficie de la tierra en forma de rayos infrarojos, rayos ultravioletas y luz visible; son reflejados hacia la atmosfera o son convertidos en otras formas de energía. Naturalmente, la energía del sol la cual está en el espectrum visible es usada directamente e inmediatamente para iluminación.

El calor causa evaporaciones del agua de la tierra hacia la atmosfera. Cuando el vapor de agua se condensa y regresa hacia la tierra como lluvia u otra precipitación, alguna cantidad de agua es atrapada por presas construidas por el hombre. Esta agua puede crear energía eléctrica. La energía del sol tambien mantiene la vida animal y vegetal, los cuales almacenan la energía en la forma de productos combustibles como son madera, carbon de piedra, aceite y soto.

La energía almacenada es colectada y convertida en un período largo de tiempo pero podrá reconvertirse en calor y

luz en periodos relativos de corto tiempo. En la figura 1-1 se ilustran los caminos los cuales la energía solar es almacenada y ultimamente convertida a luz artificial.

Por lo tanto, las personas tienen la posibilidad de usar la energía almacenada para calor y luz, cuando y donde prefieran. Las fuentes las cuales pueden ser controladas por las personas, son referidas como fuentes especializadas o hechas por el hombre.

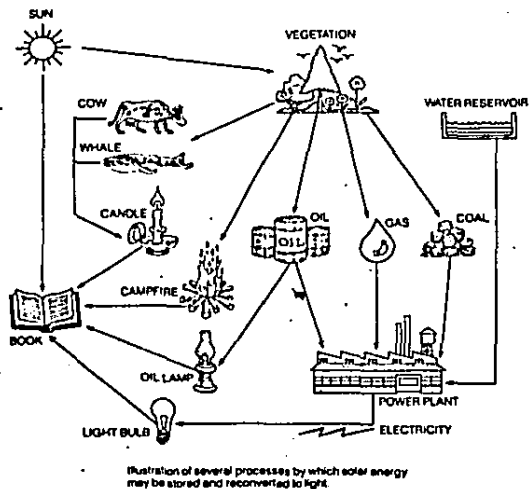


Figura 1-1 Conversión de la energía solar en luz.

Fuentes especializadas de luz.

Las fuentes especializadas de luz, son fuentes -- que pueden ser controladas por las personas y estas son caracterizadas por el hecho de que las personas las han adaptado --

para usarlas cuando y donde las necesiten. Como un resultado, algunas de las características de las fuentes de luz, las cuales son importantes en aplicaciones incluyen conversión de luz eficiencia, mantenimiento, seguridad, tiempo de vida y portabilidad. Estos son comparados para diferentes fuentes de luz en la tabla 1-2. Cada fuente de luz tiene sus ventajas y desventajas para un dado tipo de aplicación.

Light Source	Light Conversion Efficiency	Maintenance	Danger	Lifetime	Portability
Candle	M	H	H	L	L
Torch	LM	H	H	L	H
Candle	L	M	M	L	M
Oil Lamp	LM	M	M	M	M
Lantern	M	M	M	M	M
Incandescent Lamp	H	L	L	M	H
Neon Lamp	H	L	L	H	L
Semiconductor Lamp	L	L	L	H	M
Radioactive Lithium, Tritium and Radium	L	L	H	H	H

L=Low, M=Medium, H=High

Tabla 1-2. Características de algunas fuentes especializadas de luz.

Mencionaremos con detalle solo las fuentes de luz más importantes y que están relacionadas con la elaboración de esta tesis.

Lámpara incandescente.

La lámpara incandescente mostrada en la figura 1-3 fué inventada por Thomas A. Edison en 1870. Porque provee luz artificial ha contribuido en nuestra vida presente, por mucho; en los tiempos modernos. La educación, los negocios, y la industria pueden producir buenos servicios las 24 horas del día, de igual manera los servicios médicos y el disfrutar de un viaje placentero; todo esto gracias a la disponibilidad de una buena luz artificial. En la mayoría de las ciudades grandes la visibilidad difícilmente baja con la puesta del sol.

La disponibilidad de una buena luz y de la energía controlada no es debidamente apreciada, si no hasta que la oscuridad llega a nuestros hogares.

La lámpara incandescente supera algunas de las características de las lámparas de aceite como fuente de luz. La fuente de energía es una estación eléctrica la cual convierte la energía que tiene almacenada ya sea en forma de agua u otro elemento en electricidad. La energía es transmitida a través de líneas de transmisión eléctrica, hacia los clientes y su consumo es leído por aparatos de medición. La lámpara incandescente es fácil de apagar y encender, tiene un tiempo de vida bastante largo, es barato y fácil de reemplazar y además es seguro. Una desventaja de la lámpara incandescente es que produce una relativa cantidad grande de calor, lo cual puede provocar un incendio peligroso.

Las lámparas incandescentes de torrente usadas en teatros y estudios de televisión a color, generan tremendas cantidades de indeseable calor.

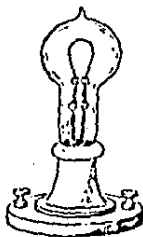


Figura 1-3. Lámpara incandescente de Edison.

Fuentes de luz semiconductoras.

Las relativamente nuevas fuentes de luz, las cuales producen luz por medio de electricidad; son las fuentes de

luz semiconductores.

La parte común es el diodo semiconductor, llamado LED (diodo emisor de luz). Eléctricamente es un dispositivo -- que tiene dos elementos que conducen en una dirección; por lo tanto, el nombre de diodo. Está hecho de material semiconductor que emite luz cuando una cierta cantidad de corriente eléctrica fluye en el diodo. Un LED puede construirse para emitir ciertos rayos de luz visibles o invisibles (infrarrojos).

El diodo emisor de luz visible (VLED) es una fuente de luz usada como una lámpara indicadora, puede estar solo una o en un orden. Un orden consiste de varios VLED's colocados de tal manera que un patrón o modelo es presentado cuando ciertos "unos" son encendidos. Los VLED's son muy confiables, pero producen un rango limitado de colores y pueden ser difíciles de ver en la luz solar o en otro ambiente de condiciones altas de luz. Los VLED son más usados como un equipo de encendido - apagado, datos o como indicador de control en unidades sencillas o en calculadoras, relojes o display de relojes de mano. El uso de VLED's en relojes ha sido limitado porque la potencia requerida es grande comparada con la potencia disponible de una pequeña pila.

Lasers.

Otra fuente especial de luz es el laser. Algunos laser son relacionados como fuentes de luz semiconductores, por que usan un cristal sencillo. El laser produce solo frecuencias coherentes de luz enfocadas en lámparas muy angostas y tienen algunas aplicaciones especializadas en comunicaciones, procesos industriales, técnicas medicas y quirúrgicas e investigaciones. Los videodiscos usan el laser para leer la información programada de un disco. Donde que no hay contacto friccional, el disco puede ser reproducido tantas veces sin ser degradado causado por una aguja modular.

Comparación de brillantes.

La tabla 1-2 compara la brillantes de las fuentes de luz más comunes. La brillantes está expresada en unidades - radiométricas de miliwatts por centímetro cuadrado y en unidades fotométricas de candela por metro cuadrado.

Esta comparación apunta también hacia afuera una significativa diferencia entre las unidades fotométricas y radiométricas. Notece que no es un factor constante que relacione los miliwatts por centímetro cuadrado con las candelas por metro cuadrado.

Source	Miliwatts/cm ²	Candela/m ²
Candle flame	1×10^1	1.03×10^1
Sun	45×10^6	1.5×10^6
Tungsten lamp		
incandescence	8×10^1	2.1×10^1
standard	13×10^1	8.0×10^1
standard	28×10^1	1.7×10^2
photo	25×10^1	3.1×10^1
Neon	8×10^{-2}	1.0×10^1
Fluorescent	3×10^1	8.0×10^1
Krypton flash	12×10^1	3.4×10^2

Tabla 1-2. Comparación de brillantes de las fuentes de luz.

Cómo trabaja una fuente de luz?

Ahora veremos como trabaja una fuente de luz. Imaginemos un dibujo en una alberca con el agua en calma. Una piedra se arroja a la alberca. Cuando esta entra en el agua, la piedra desplaza agua la cual causa una onda que es emitida del punto de entrada y se propaga através de la alberca. Notece que el movimiento del agua donde la piedra entra es causante de la onda. La luz, la cual consiste de ondas electromagnéticas, es emitida en una forma similar, cuando un electrón en

un átomo es obligado a vibrar por cualquier razón.

Pienso nuevamente que la piedra ha sido arrojada al agua nuevamente. Una onda frontal es producida desde el punto de impacto, ya que la energía es transferida de la piedra - al agua. Si no entran más piedras en el agua, la onda pasará por el observador y el agua volverá a la calma. Similarmente cuando un electrón de un átomo es obligado a vibrar en la frecuencia de la luz visible por la adición de un pulso de energía, una onda de luz es generada y propagada del electrón. Un detector detecta una pequeña explosión de luz.

Si el electrón en una estructura atómica es causado a vibrar continuamente por una continua adición de energía, entonces el detector detecta una continua fuente de luz.

Por lo tanto, cualquier mecanismo que cause la vibración a un electrón en un átomo causará la emisión de un flujo de ondas electromagnéticas. Si es vibrado lo suficientemente rápido para que las longitudes de ondas estén en el rango - del espectro electromagnético llamado luz, entonces la luz es emitida. Virtualmente cualquier mecanismo el cual resulte energía adherida a una apropiada sustancia que pueda causar la emisión de luz.

Luminiscencia.

La palabra luminiscencia fué introducida por E. Wiedemann alrededor de 1889 para describir la emisión de luz, la cual no es causada solamente por la temperatura de los materiales. La luminiscencia puede clasificarse por la clase de excitación de energía que produce la luminiscencia. Algunas de estas clasificaciones son quíaluminiscencia, bioluminiscencia y catodoluminiscencia.

CUALES SON LAS CARACTERISTICAS IMPORTANTES DE UNA PUENTE DE LUZ.

Distribución espectral.

La distribución espectral de una fuente de luz, es la luz relativa de salida contra la longitud de onda. Esta es una consideración importante en la observación del detector para sus aplicaciones. Por ejemplo, si el propósito de la lámpara es iluminar un display para su observación, una fuente -- infraroja podrá ser pobre, ya que la luz infraroja es invisible. La figura 1-4 muestra el espectro relativo de salida de una -- fuente de tungsteno y una de arseniuro de galio PN LED (TIL 31). También se muestra la respuesta de un fototransistor de silicio y del ojo humano.

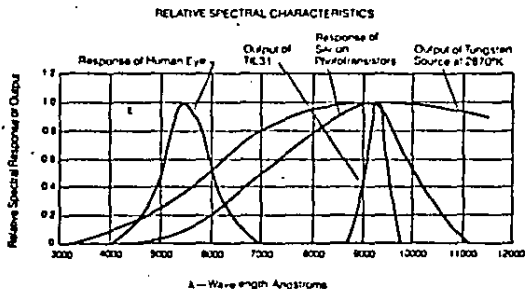


Figura 1-4. Curvas de respuesta espectral.

Angulo Visual.

No todas las fuentes de luz emiten uniformemente en todas las direcciones. La mayor parte que revela la información de la dirección acerca de las fuentes de luz, es su relativa salida contra el ángulo visual desplazado del eje óptico. La figura 1-5 muestra las curvas típicas del TIL 31 y TIL

33 LED's. Los difusores, reflectores o lentes; pueden usarse para controlar el angulo visual. Por ejemplo, el TIL 33, el - cual tiene un lente plano, tiene un angulo visual ancho como - el TIL 31 el cual tiene un lente como cupula.

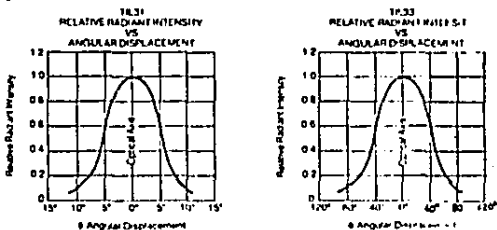


Figura 1-5. Curvas del angulo visual para el TIL31 y TIL33.

Eficiencia.

La eficiencia es la razón de la intensidad de la potencia luminosa de salida de un dispositivo a la potencia de entrada del dispositivo. En el sistema radiométrico, eficiencia es la razón de la potencia radiante de salida a la potencia -- eléctrica de entrada. En el sistema fotométrico, eficiencia es la razón de la potencia visible de salida en lumens a la potencia eléctrica de entrada.

Light Source	Efficiency
Edison Carbon lamp	1.8 lumens/watt
Tungsten lamp 1007	7.8 lumens/watt
Tungsten lamp 1950	13.9 lumens/watt
Xenon lamp	40.0 lumens/watt
Fluorescent lamp	70.0 lumens/watt

Tabla 1-3. Eficiencias de las fuentes de luz.

Seleccionando una fuente de luz.

Algunas cuestiones para considerar una fuente de luz son las siguientes:

- 1.- Es bastante brillante para la aplicación?.
- 2.- Es del color apropiado.
- 3.- Es de costo efectivo (costo inicial, etc).
- 4.- Se puso la luz donde es necesario ?.

DETECTORES DE LUZ.

Qué es un detector de luz?.

Un detector de luz es cualquiera que responda a la luz; pero en orden de un valor, el detector puede convertir la energía luminosa en otra forma de energía la cual se puede usar. Por ejemplo, el ojo convierte la luz en señales eléctricas las cuales son procesadas e interpretadas por el cerebro para producir el sentido de la vista. Un colector solar, tal como un calentador de agua solar, convierte la energía solar en calor, las celdas solares convierten la luz en electricidad la cual se puede usar inmediatamente o almacenarla en baterías para un uso futuro. En las plantas las cuales contienen clorofila y pigmentos, la fotosíntesis usa la luz para convertir -- bióxido de carbono y agua, en materia orgánica de la cual la planta está constituida.

En estos ejemplos podemos ver que el proceso directo de conversión produce formas útiles de energía de la luz. Otros procesos usan energía luminosa para el control de fuentes de energía tanto que producen energía. Por ejemplo, la energía luminosa controla la resistencia de un fototransistor la cual en turno controla la energía eléctrica. Otros ejemplos son fotodiodos, fototransistores, y fotoSCR's los cuales son controlados por energía luminosa y en turno pueden usarse para control

de potencia eléctrica.

COMO TRABAJA UN DETECTOR DE LUZ ? .

Los detectores de luz especializados pueden ser agrupados dentro de dos categorías, los detectores térmicos y los detectores cuánticos. Los detectores térmicos convierten la energía luminosa en calor, la cual es usada para producir otra forma de energía, usualmente eléctrica.

Los detectores cuánticos son comunmente divididos en tres subgrupos; fotoresistivos, fotovoltaicos y fotoemisores. Los detectores fotoresistivos usan la energía luminosa (fotones) para controlar la resistencia de un detector. Los fotoresistores son los que se emplean en el diseño del pantógrafo, en este caso. Los detectores fotovoltaicos usan la energía luminosa para producir un voltaje eléctrico. Los detectores fotoemisivos usan la energía luminosa para liberar electrones de la superficie del detector para producir una corriente.

Repaso de materiales semiconductores.

Antes de proseguir con el estudio de los detectores cuánticos de luz, daremos un repaso de como estan hechos los materiales semiconductores.

Un diagrama de una estructura del átomo de silicio se muestra en la figura 1-6. En el diagrama simplificado de la figura 1-6b, las cuatro líneas representan los cuatro electrones de valencia del silicio, los cuales son usados para formar enlaces covalentes con otros átomos.

Grupos de átomos con cuatro electrones de valencia se unen juntamente a un enlace covalente. En la banda covalente los electrones de valencia son repartidos por átomos adyacentes para llenar la banda de valencia de cada átomo con ocho eléc -

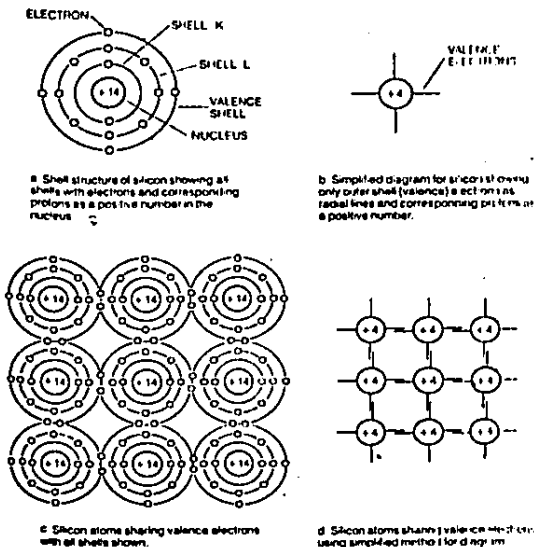


Figura 1-6. Estructura molecular del silicio.

trones para formar una estructura estable. Las figuras 1-6c y 1-6d ilustran un grupo de átomos de silicio compartiendo electrones de valencia para que cada átomo tenga acceso a ocho -- electrones para formar enlaces covalentes. La figura 1-7a muestra nuevamente el enlace covalente del silicio para comparar la figura 1-7b la cual ilustra un número de átomos con tres electrones de valencia (galio o indio) y átomos con cinco electrones de valencia (fosforo, antimonio o arsenico). Estos materiales son llamados semiconductores del grupo III y grupo IV. Con estas combinaciones, el electrón "extra" de cada grupo de cinco átomos llena el vacante del enlace covalente (no requieren

ocho electrones) creadas por el grupo de tres átomos. El resultado es un material que se comporta muy parecido al silicio o germanio (otro material con cuatro electrones de valencia) como un material semiconductor.

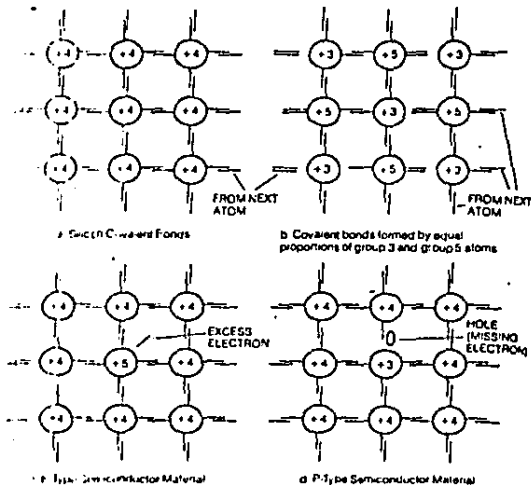


Figura 1-7. Estructura de los materiales de tipo N y tipo P.

Otras combinaciones de materiales que se comportan como materiales semiconductores son posibles. Algunas de estas combinaciones son fosforo de galio, arseniuro de indio y fosforo arseniuro de galio. Estas combinaciones son importantes porque estos materiales pueden usarse como emisores de luz visibles.

Si un átomo del grupo V (llamado átomo donador) es integrado a la estructura de cualquiera de las figuras 1-7a o 1-7b, el electrón extra nos es usado en el enlace covalente - como se muestra en la figura 1-7c. Este electrón extra es lla-

modo un electrón "libre" en el sentido que este no tiene forma de valencia en ese lugar. Este electrón está disponible como un portador de carga negativo y se mueve fácilmente a través del material. El material es referido como un material semiconductor "Tipo N" (carga excesivamente negativa).

Si un átomo del grupo tres (llamado átomo aceptor) es incorporado a la estructura de las figuras 1-7a o 1-7b, un vacante es creado en la estructura de valencia como se muestra en la figura 1-7d. Esta vacante es llamado "hueco". Este hueco es debido a la ausencia de un electrón (carga negativa), el hueco puede ser considerado como un portador de carga positiva. El material es referido como un material semiconductor de "Tipo P" (carga excesivamente positiva).

Como trabaja un detector fotoresistivo.

Un detector fotoresistivo está basado en el hecho que energía externa se agrega a un material pueda remover un electrón de su átomo de origen. El electrón libre está disponible como un portador de corriente y reduce la resistencia efectiva del material. La energía requerida para liberar el electrón es llamada la energía de brecha y depende del tipo de material como se muestra en la tabla 1-4.

Name	Chemical Symbol	ev at 300°K ¹ Optical Energy Gap
Cadmium Sulfoxide	CdS	2.4
Gallium Phosphide	GaP	2.2
Cadmium Selenide	CdSe	1.7
Gallium Arsenide	GaAs	1.4
Silicon	Si	1.1
Germanium	Ge	0.7
Indium Arsenide	InAs	0.43
Lead Sulfoxide	PbS	0.37
Lead Telluride	PbTe	0.26
Lead Selenide	PbSe	0.26
Indium Antimonide	InSb	0.23

¹Energy values at temperature reference to absolute zero (0°K) are given.
 Convert temperatures in °C can be converted to °K by adding 273 to the °C value.

Tabla 1-4. Energía de algunos materiales.

La relación entre la energía y la longitud de onda de la luz, está dado por la siguiente ecuación:

$$E(\text{ev}) = \frac{12,400}{\lambda(\text{angstroms})}$$

donde E = energía en electrón volts (ev) y λ = longitud de onda en angstroms.

Como muestra la figura 1-8, la unión o juntura no es necesaria para operar el dispositivo fotoresistivo. Una capa de material fotoresistivo es conectado a dos alambres, y -- como la intensidad luminosa se incrementa, la resistencia entre los alambres decrese. Porque este detector no genera voltaje, una fuente de voltaje externa puede ser usada para crear un -- flujo de electrones a través del detector y el circuito exterior. Porque la fotoresistencia decrece cuando la intensidad -- de luz incrementa, la corriente en el circuito incrementa cuando la intensidad luminosa incrementa. El objetivo de usar el -- detector es para convertir la luz en señales eléctricas, esto es deseable para que la fotoresistencia de un material no refleje la luz pero un porcentaje grande de fotones que caen sobre el detector para producir un par de electrón-hueco. La construcción típica es mostrada en la figura 1-8b.

Desde el punto de vista eléctrico, la característica más importante de un dispositivo fotoresistivo es la relación entre la oscuridad a la resistencia luminosa, la cual -- es típicamente cerca de 1000:1. Cualquiera de otros factores -- los cuales puedan influenciar en el dispositivo, la resistencia puede considerarse en una aplicación de un detector fotoresistivo. La temperatura es usualmente uno de los factores más con -- carnientes porque los cambios de temperatura causan cambios -- inherentes de resistencia y puede influir en la producción de pares electrón-hueco. Por lo tanto, la intensidad luminosa y

la temperatura pueden ser consideradas en las aplicaciones, y - en muchos casos la temperatura puede ser controlada.

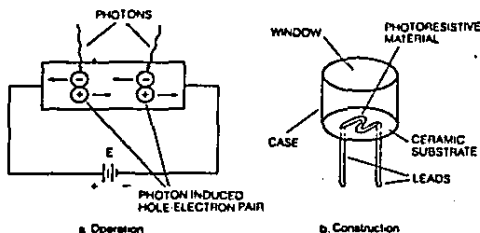


Figura 1-8. Dispositivo foto-resistivo.

CUALES SON LAS CARACTERISTICAS IMPORTANTES DE UN DETECTOR DE LUZ.

Respuesta espectral.

La respuesta espectral de un detector es una medida de la respuesta del detector a la misma cantidad de luz - de diferentes longitudes de onda. Esto es importante para entender que un detector puede sentir luz de una longitud de onda, mientras esta no puede responder a todas las otras. Por ejemplo, el ojo puede detectar luz en el rango visible; pero no verá una onda de radio.

Angulo visual.

No solo es importante conocer la respuesta de un detector al espectro de la fuente de luz, si no que tambien - tenemos que conocer como cambia la respuesta con los cambios en la dirección de la fuente de luz.

El ángulo visual es importante porque en algunas aplicaciones se requiere la anchura del ángulo visual, cuando la fuente de luz no está en una posición fija con respecto al detector, o el detector debe de ser sentido nuevamente por la fuente en diferentes posiciones.

Una anchura del ángulo visual se obtiene usualmente de la sensibilidad. Esto se ilustra en la figura 1-9. Con el lente el ángulo visual es reducido; pero más luz es enfocada sobre el chip cuando la fuente de luz está alineada con el eje óptico para producir más corriente de la luz.

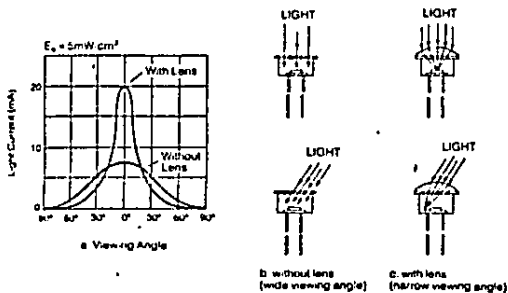


Figura 1-9. Comparación de corriente de luz para dispositivos con y sin lentes.

Eficiencia.

La palabra eficiencia es normalmente definida como la razón de la cantidad de un efecto deseado al esfuerzo -- requerido para obtenerlo. En otros casos, la eficiencia es la cantidad de la salida para una entrada dada, medida en las mismas unidades. En el caso de un detector electrónico, el efecto deseado es la corriente de luz y el esfuerzo requerido para -- producir la intensidad luminosa. Mientras más es la corriente de luz (el efecto deseado) para una cantidad de intensidad lu-

minosa dada (el esfuerzo requerido), mayor será la eficiencia. Un valor típico de eficiencia en un fotodiodo es de 0.008 amp. por watts por cm^2 en la superficie activa del detector.

Propiedades eléctricas.

El detector fotoresistivo está especificado usualmente por la resistencia vs la curva de luz o la relación la - resistencia luminosa. Estos dispositivos pueden obtenerse con valores de resistencia luminosa de unos pocos ohms a cientos - de ohms y una oscuridad para la relación de la resistencia luminosa de 1000:1. La potencia del dispositivo fotoresistivo - esta usualmente en el rango de los miliwatts. La potencia requereida puede calcularse usando la ecuación:

$$P = \frac{V_{\text{max}}^2}{R_{\text{min}}}$$

donde V_{max} es el voltaje máximo aplicado al dispositivo y R_{min} es la mínima resistencia luminosa del dispositivo.

Seleccionando un fotodetector.

Algunas de las preguntas que se deben considerar cuando se selecciona un detector de luz son:

- 1.- Es suficientemente sensible para la aplicación ?.
- 2.- Las características de las longitudes de ondas del detector son las de la fuente ?.
- 3.- Es efectivo el costo (costo inicial, costo de operación) ?.
- 4.- Puede verse la luz de la fuente o fuentes ?.
- 5.- Es eléctricamente compatible con el resto del sistema ?.

SISTEMAS ELECTRONICOS ACOPLADOS OPTICAMENTE.

Que es un sistema acoplado opticamente ?.

Las fuentes de luz y los detectores de luz son usados casi siempre juntos. De hecho, se puede argumentar que no se tiene una fuente de luz sin un detector o viceversa. En este caso, todos los usos de la luz pueden ser llamados sistemas opticos, siempre que se involucre alguna de las partes.

Un sistema acoplado opticamente es usado para obtener información o para transferir información de un punto a otro. Podemos entender las características de una fuente de luz y las características de un detector para que podamos garantizar que el detector y la fuente son compatibles.

El detector debe de ser capaz de "ver" la fuente; esto es, el detector debe producir una salida cuando se ilumina por la luz de la fuente. La iluminación puede viajar de la fuente al detector, através de un medio el cual ha sido llamado el medio de transmisión. Este puede ser aire, el espacio sideral, vacío o puede ser un material de una clase u otra. Por esta razón podemos decir que un sistema acoplado opticamente consiste de una fuente de luz, un detector de luz y un medio de transmisión seleccionado para trabajar junto con el sistema para ejecutar la tarea deseada.

CUALES SON LAS CARACTERISTICAS IMPORTANTES DE UN SISTEMA ACOPLADO OPTICAMENTE ?.

Son cuatro las características más importantes de un sistema acoplado ópticamente. Estos son: la razón de transferencia de corriente (CTR), la respuesta en frecuencia, la cantidad de aislamiento eléctrica y la inmunidad a fuentes de ruido externo o interno.

Característica de transferencia.

Si un sistema acoplado ópticamente es usado en una aplicación analógica (sistema lineal), el CTR es la relación de la corriente de salida del detector a la corriente de entrada dentro de la fuente. Este se muestra en la figura 1-10 para un dispositivo optoelectrónico consistente de una fuente y un detector. El CTR no es una constante pero varía como una función de la corriente de entrada. Como se muestra en la figura 1-11 depende también del medio de transmisión.

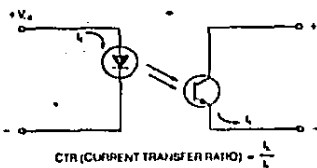


Figura 1-10. Current Transfer Ratio is Detector Current (I_2) Divided by Source Current (I_1)

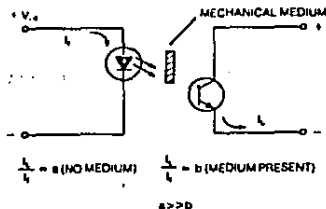


Figura 1-11. La razón de transferencia es reducida parcialmente bloqueando la luz.

Si el sistema acoplado ópticamente es usado en una aplicación digital, el CTR puede ser diferente. En los sistemas digitales binarios existen solo dos niveles de voltaje, alto y bajo. El voltaje de salida es cualquiera de los dos de-

pendiendo del valor de la señal de entrada. Como un resultado la función de entrada contra la función de salida incluye una corriente a un voltaje de transferencia y es a veces considerada, figura 1-12. Puede ser cualquiera de las curvas, la curva 1 o la curva 2.

Como la entrada es incrementada desde cero, no ocurren cambios en la salida, hasta que el punto de umbral (#1) es alcanzado. Incrementando la entrada más allá del umbral, causa que la salida cambie rápidamente a un nuevo nivel. Además el incremento en la entrada causa un pequeño cambio en la salida. En todos los sistemas digitales el nivel podrá ser un nivel A o un nivel B. Como un resultado la corriente de entrada a la fuente de luz para un sistema acoplado ópticamente puede ser relacionado como nivel A o nivel B.

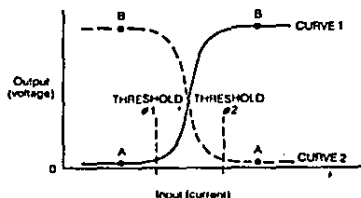


Figura 1-12. Salida típica v.s. función de entrada para sistemas digitales.

Un camino de especificación del CTR en sistemas digitales es considerado que el eje horizontal de la figura 1-12 es la corriente de entrada a la fuente y que el eje vertical es el voltaje de salida del circuito detector. Para este ejemplo, tomamos la curva 2. El CTR es especificado por decir que para una corriente de la fuente tan grande o igual al valor del umbral (#2), el voltaje de salida podrá ser tan menor o igual que al nivel A.

Respuesta en frecuencia.

La segunda característica importante de un sistema acoplado ópticamente es la respuesta en frecuencia. Esta característica no debe ser confundida con la respuesta espectral de un sistema. La respuesta espectral es el rango de las frecuencias de luz las cuales causaran un flujo de corriente detectable en el detector. La respuesta en frecuencia de un sistema - acoplado ópticamente es una medida de que tan rápido el sistema podrá responder a cambios en la señal de entrada, tal como un switchero de apagado-encendido. Si la intensidad de la luz es - variada (modulada) por alguna señal, el espectro de brillantes permanece constante; pero el sistema debe de ser capaz para - cambiar la corriente de salida al cambio de intensidad correspondiente del flujo.

Tiempos de switchero.

Un método para determinar la respuesta en frecuencia para un sistema acoplado ópticamente es medir los tiempos de switchero. Esto es, un pulso de corriente es generado en la fuente y el pulso de corriente de salida correspondiente produce en el detector una medida. Los varios tiempos de switchero son medidos como se muestra en la figura 1-13. El tiempo de retardo t_d es el tiempo desde el inicio del pulso hasta que la - amplitud del pulso de salida alcanza un 10% de su valor. El - tiempo de subida t_r , es el tiempo para que la amplitud del pulso de salida vaya del 10% al 90% de su valor. El tiempo de encendido t_{on} es la suma de t_d y t_r . El tiempo de almacenamiento t_s , es el tiempo desde el término del pulso de entrada hasta - que la amplitud del pulso de salida cae al 90% de su valor. El tiempo de caída t_f , es el tiempo en el que la amplitud del pulso de salida cae desde el 90% al 10% de su valor. El tiempo de apagado t_{off} , es la suma de t_s y t_f . El ancho del pulso t_w , es el tiempo entre el 50% de las porciones de subida y bajada del pulso de salida.

Frecuencia límite (f_c).

Otro método de caracterizar la respuesta en frecuencia para un sistema acoplado ópticamente es especificar la frecuencia de corte del sistema. Esta es la frecuencia en la cual la sensibilidad del detector es 0.707 del valor en un rango de frecuencia donde la sensibilidad es máxima. La frecuencia límite está relacionada al tiempo de subida por la ecuación:

$$f_c = \frac{0.35}{t_r}$$

la ecuación puede reacomodarse:

$$t_r = \frac{0.35}{f_c}$$

Para determinar el tiempo de subida. Por lo tanto un sistema acoplado ópticamente con una $f_c = 100$ KHz, tiene un tiempo de subida de

$$t_r = \frac{100\text{KHz}}{0.35} = 3.5 \mu\text{s}.$$

y un sistema con $t_r = 0.1$ s tiene una frecuencia límite de

$$f_c = \frac{0.1 \mu\text{s}}{0.35} = 3.5 \text{ MHz}.$$

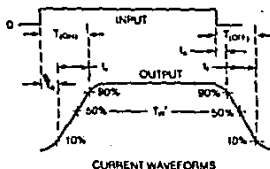
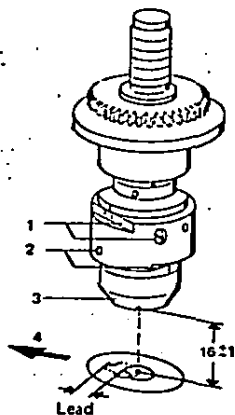


Figura 1-13. Tiempos de switchcoo.

La cabeza rastreadora.

La cabeza rastreadora sigue el contorno del dibujo y lo reproduce a una escala 1 a 1. La cabeza rastreadora se muestra en la figura 1-14. Se puede notar que en el modelo PH 19 el espacio libre entre la parte inferior de la cabeza rastreadora y el dibujo es de $16 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$.

Una pequeña sección del contorno es continuamente reproducida por un lente cóncavo en una escala 1 a 1 dentro de la cabeza rastreadora. En el capítulo siguiente se dará una mejor explicación al funcionamiento de la cabeza rastreadora, aquí solo se mostrara como es constituida.



- 1 Avance - Tornillo de ajuste y escala.
- 2 Compensación de corte - Tornillo de ajuste y escala.
- 3 Cono luminoso.
- 4 Dirección del recorrido.

CAPITULO II

El concepto de retroalimentación.

Los sistemas de control ejercen poderosa influencia sobre cada faceta de la vida moderna. Las secadoras y lavadoras automáticas, los hornos de microondas, satélites espaciales, plantas de proceso químico, sistemas de orientación y navegación, control de la contaminación, tránsito colectivo y regulación económica son unos cuantos ejemplos. En el sentido más amplio, un sistema de control es cualquier interconexión de componentes que satisfacen una función deseada.

La parte de un sistema que va a ser controlada se denomina planta o proceso. Esta parte es afectada por las señales aplicadas, llamadas entradas, y produce señales de interés particular, llamadas salidas, como se indica en la figura 2-1.

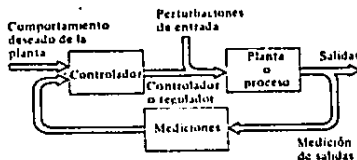


Fig. 2-2.

Cuando las entradas de control no son influenciadas por las salidas de la planta; es decir, no se produce retroalimentación alrededor de la planta, se dice que el sistema es de ciclo abierto.

Si las exigencias del sistema no pueden satisfacerse con un sistema de control de ciclo abierto, es deseable un ciclo cerrado o un sistema de retroalimentación o realimentación. Se dispone de una trayectoria de retorno de la salida al controlador. Una parte de las salidas del sistema, o todas ellas, se miden y son utilizadas por el controlador, como se indica en la figura 2-2.

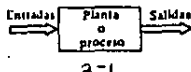


Figura 2-1. Una planta o proceso sujeto a control.

El controlador puede entonces comparar una salida deseada de la planta con la salida real y actuar en consecuencia para reducir la diferencia entre las dos.

Algunas de las ventajas que ofrece el control de realimentación son:

- 1.- INCREMENTO EN LA EXACTITUD. El sistema de ciclo cerrado se puede diseñar para llevar a cabo el error entre las respuestas deseadas y medidas.
- 2.- PEQUEÑA SENSIBILIDAD A LOS CAMBIOS EN LOS COMPONENTES. El sistema puede diseñarse para tratar de obtener error cero, a pesar de los cambios en la planta.
- 3.- REDUCIDOS EFECTOS EN LAS PERTURBACIONES. Se pueden atenuar notablemente los efectos de perturbaciones al sistema.
- 4.- INCREMENTO EN LA RAPIDEZ DE RESPUESTA Y ANCHURA DE BANDA. La retroalimentación puede utilizarse para incrementar la gama de frecuencias sobre la cual un sistema responderá y hacer que responda más satisfactoriamente.

En el diseño del pantógrafo se requiere una señal

de control para corregir el desplazamiento de la cabeza rastreadora con relación al contorno del dibujo, y así virar el motor hacia la derecha o izquierda según el dibujo. Esta señal de control es una señal retroalimentada por todos los conceptos antes citados.

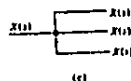
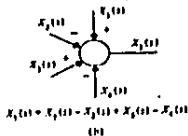
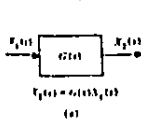
Diagramas de bloques.

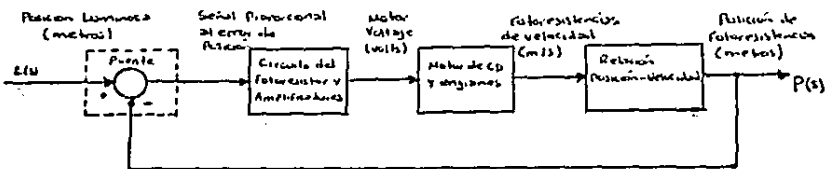
Los diagramas de bloques se utilizan para describir esquemáticamente los sistemas. Los diagramas de bloques pueden utilizarse para describir el funcionamiento interno de un sistema y ofrece una alternativa sumamente simple para estudiar directamente las ecuaciones.

En un diagrama de bloques, se utiliza un bloque para indicar una correspondencia proporcional entre dos señales transformadas de Laplace.

La función de proporcionalidad, o transmitancia, relaciona las señales de entrada y salida, esto se indica dentro del bloque. Un sumador se usa para indicar adiciones o sustracciones de señales. Este sumado puede tener cualquier número de señales entrantes, pero solo una señal de salida. Los signos algebraicos que se emplean en la suma se indican próximos a la punta de flecha de cada señal entrante. Una unión (algunas veces denominada "punta de reparto") indica que la misma señal sale hacia diferentes lugares. Ejemplos de cada uno de estos elementos se muestran en la figura 2-3.

Haciendo el diagrama de bloques para el diseño del pantógrafo, tomando en cuenta todos los puntos anteriores y haciendo una aproximación se llegó a lo siguiente:





Sistema de rastreo de una fuente luminosa.

La funcionalidad de este sistema es mejorado gracias a la adición de retroalimentación de velocidad y retroalimentación de posición. El acoplamiento de un tacómetro al eje del motor de excitación, producirá un voltaje aproximadamente proporcional a la velocidad del motor, el cual a su vez es proporcional a la velocidad de los fotorresistores. Al agregar una fracción de este voltaje al puente (el cual se amplifica y se aplica al motor) al resultado es el diagrama de bloques de la figura 2-4

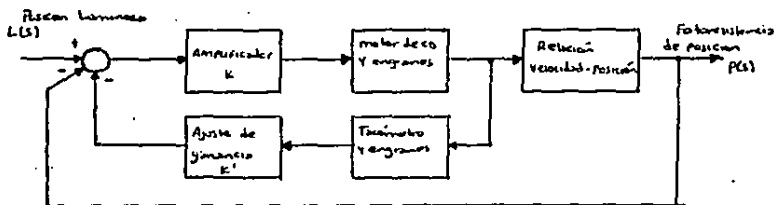


Figura 2-4. Sistema de rastreo de fuente luminosa con relación de compensación.

Interfase de entrada (Conversión A/D).

Muchas veces se requiere que un dato tomado de un sistema físico sea convertido a una forma digital. Tal dato podrá aparecer normalmente en una forma eléctrica analógica. Por ejemplo, una diferencia de temperatura puede estar representada por la salida de un termocople, la tensión de un miembro mecánico puede ser representado por un desbalance eléctrico de un puente de tensión, etc. Es por esto la necesidad de disponer de un dispositivo que convierta la información analógica a una forma digital.

En el caso del pantógrafo electrónico, se necesita convertir la señal luminosa que se recolecta en los fotoresistores (esto es una señal analógica), a una forma digital para que sea interpretado por las compuertas, Op-amp, etc. que constituyen el sistema de control.

Antes de pasar al estudio del sistema de control, daremos una breve descripción de los elementos más importantes que constituyen la etapa de rastreo del pantógrafo.

Amplificador operacional seguidor de voltaje.

El circuito que ilustra al Op-amp seguidor de voltaje, pero también se conoce con el nombre de: amplificador seguidor de fuente, amplificador de ganancia unitaria, o amplificador de aislamiento; se muestra en la figura 2-5. El voltaje de entrada. Si, se aplica directamente a la entrada (+). Ya que el voltaje entre las terminales (+) y (-) del Op-amp puede considerarse 0.

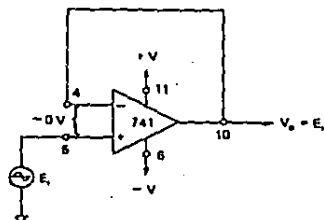
Obsérvese que el voltaje de salida iguala al voltaje de entrada tanto en magnitud como en símbolo o signo. Por lo tanto, tal como el nombre del circuito lo dice, el voltaje de salida sigue al voltaje de entrada o fuente.

La ganancia del voltaje es 1 (o la unidad), como se muestra por:

$$A_{CL} = \frac{V_o}{E_i} = 1$$

$V_o = E_i$

Figura 2-5.
Seguidor de voltaje.



Podría surgir la duda de porqué se utiliza un amplificador con ganancia unitaria?, la respuesta puede comprenderse mejor si se compara un seguidor de voltaje con un amplificador inversor. El interés no se centra en la polaridad del voltaje de ganancia, si no más bien en el efecto en la carga de entrada.

El seguidor de voltaje se utiliza porque su resistencia de entrada es alta (muchos megohms). Por lo tanto, extrae corriente despreciable de una fuente de señal.

Amplificador operacional diferenciador o comparador.

Un comparador analiza una señal de voltaje en una entrada con un voltaje de referencia en la otra entrada. El Op-amp trabaja con cc hasta algunas frecuencias con límite superior del orden de 1.0 MHz. La entrada (+) se llama sin inversión, debido a que la salida de esta fuente está en fase con la entrada. La entrada (-) con inversión tiene el comportamien

to opuesto, es decir, la salida que resulta de esa fuente está fuera de fase 180° con respecto a la entrada. Este tipo de amplificadores tienen una impedancia de entrada muy grandes, por lo que la corriente de entrada es esencialmente cero. La impedancia de salida es muy baja, generalmente menos de 1.0 ohm y la ganancia en circuito abierto es muy alta, del orden de -10^6 (120 dB). Este amplificador se muestra en la figura 2-6.

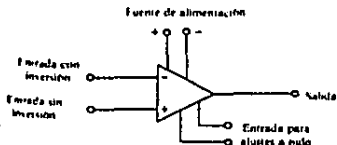


Figura 2-6. Esquema de un amplificador operacional.

La cabeza rastreadora.

La cabeza rastreadora es aquella parte de la maquina que se encarga de rastrear el dibujo, reproduciendolo a una escala de 1:1.

El contorno del dibujo (línea o borde) bajo la cabeza rastreadora del fotocaptor, es seguido por el trabajo de la maquina la cual está eslabonada con el fotocaptor. El fotocaptor es el conjunto del detector y fuente que hacen posible el rastreo. Basado en la observación de pruebas hechas se determinó que el espacio libre entre la parte inferior de la cabeza rastreadora y el dibujo debe de ser de $16 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$. Se debe de realizar un ajuste exacto a 16 mm a cada fotocaptor para un rastreo efectivo. Una pequeña sección del contorno de la línea es continuamente reproducida por un lente poderoso en una escala 1:1 dentro de la cabeza rastreadora. Los fototransistores son sensibles a la luz, están localizados en la imagen -

del plano. Los fotoresistores y sus soportes están dispuestos de tal manera que pueden ser empujados hacia el mecanismo y - eje de rotación óptico de la cabeza rastreadora. La distancia que son empujados hacia adelante en la dirección del recorrido es conocido como el avance de los fotoresistores.

El grado del avance puede ser adaptado para ajustar la velocidad de corte concerniente. No es posible aplicar un valor universal para el funcionamiento del rastreador; ya que depende de varios factores los que determinan la velocidad del avance, como son:

El ajuste del fotocaptor, ajuste del control coordinado, calidad del dibujo y calidad del papel en la que se vá a ser el dibujo. La dinámica del comportamiento de la máquina es también un factor importante y depende del tamaño y equipo de la máquina.

Por ejemplo, tomando todas los factores antes señalados, el modelo PH 19 de la casa Messer Griesheim; toma los siguientes valores como guías:

sobre	100 mm	0	-	0.5	unidades de escala
sobre	500 mm	0.5	-	1	unidades de escala
sobre	1000 mm	1	-	2	unidades de escala
sobre	2000 mm	2	-	3	unidades de escala
sobre	3000 mm	3	-	4.5	unidades de escala
sobre	4000 mm	4.5	-	6	unidades de escala
sobre	5000 mm	6	-	7	unidades de escala
sobre	6000 mm	7	-	9	unidades de escala

En la parte inferior de la cabeza rastreadora, - están las lámparas miniatura que iluminarán el dibujo. Una de las dos lámparas debe de ser ajustada de tal manera que su punto de luz marque la punta de la dirección del recorrido del -

fotocaptor.

RASTREANDO LA LINEA CENTRAL.

Juntamente con las resistencias R8 y R9, los fotoresistores FW1 y FW2 forman un puente el cual está conectado a 15 volts. Si ambos fotoresistores son igualmente iluminados, el voltaje de salida del puente es cero volts. Dependiendo de cual de los fotoresistores es oscurecido por la línea trazada, el subsecuente amplificador operacional P8a provee un voltaje de control positivo o negativo, el cual actúa via la terminal del amplificador, causando un giro en el motor del fotocaptor hacia la derecha o hacia la izquierda. Los amplificadores operacionales P7a y P7b están conectados como transformadores de impedancias y están diseñados para prevenir cargas variables en el puente foto-resistencias con diferentes modos de operación. Esto se ilustra en la figura 2-7.

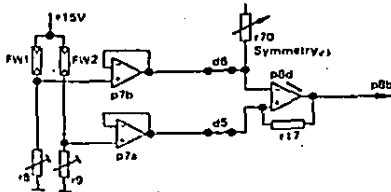


Fig. 4a Line tracing

Figura 2-7. Trazador de líneas.

RASTREADOR DE BORDES.

De igual manera que en rastreador de la línea central, los fotoresistores FW1 y FW2 forman juntamente con las resistencias R8 y R9, un puente el cual está conectado a 15 V. Una sección del puente está localizada directamente en la en-

trada del amplificador operacional P8 (término -), via el transformador de impedancias P7a. La segunda sección del puente, via el amplificador operacional P7c está localizado en la segunda entrada de P8 (término +) para señales inversas. El potenciómetro R8 es ajustado de tal modo que FW1 esté en la parte oscura y FW2 en la luz. Dependiendo de la dirección deseada del recorrido, la polaridad de la función puede invertirse con los relevadores d5, d6 y d7. El voltaje de entrada en P8a es cero cuando FW1 está en la luz y FW2 está sombreado (giro del motor IZQ/DER).

Dependiendo de cual fotoresistor esté oscurecido o iluminado por el contorno del dibujo, una señal positiva o negativa es producida en la entrada de P8a (+, -). Esta señal actúa via P8b en la terminal del amplificador, el cual gira el motor del fotocaptor en la dirección correspondiente hasta que la señal regrese a cero.

Esto se representa en las figuras 2-8 y 2-9.

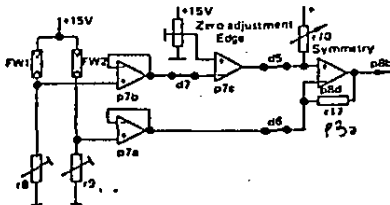


Figura 2-8. Borde giro del motor hacia la izquierda.

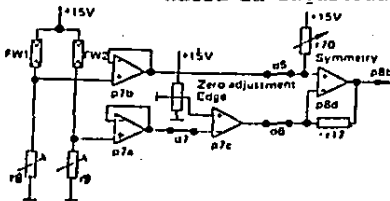
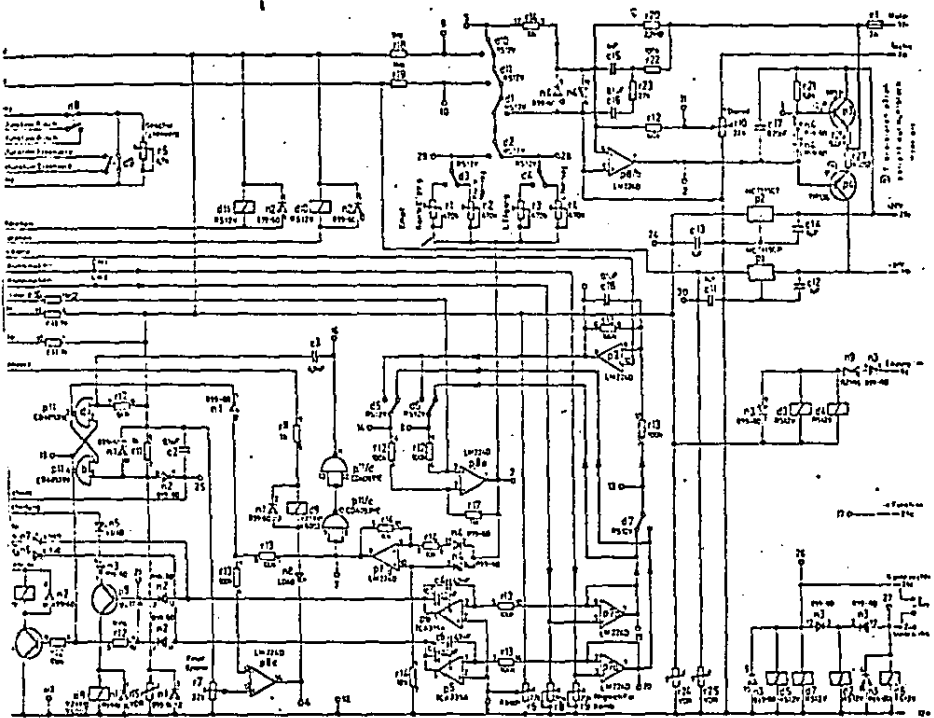


Figura 2-9. Bordo giro del motor hacia la derecha.

Figure 4 Wiring diagram 11543 Central control board P11 10

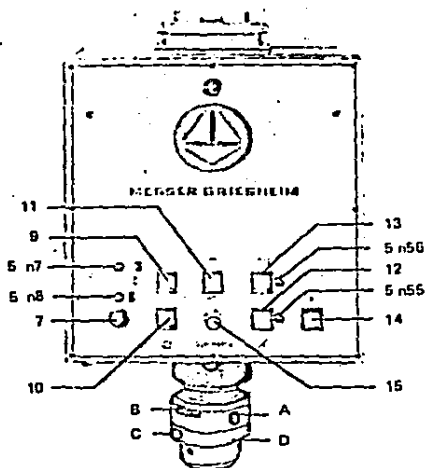


21100-10

El diagrama eléctrico se muestra en la figura 2-10 en donde se representa con más claridad y para su mejor entendimiento.

En el mercado existen varias marcas de pantógrafos electrónicos, aquí veremos el pantógrafo de la casa alemana Messer Griesheim; para dar una idea y un mejor planteamiento para el desarrollo de esta tesis.

El control fotoeléctrico PH 19 se muestra a continuación:



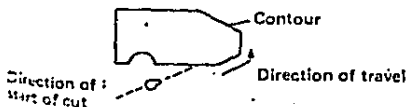
- 12 b9 Comienzo automático de corte
 13 b12 Apagado automático de corte.
 14 b13 función especial.

Comienzo automático de corte.

- A Tornillo de ajuste para el avance.
 B Escala para el avance.
 C Tornillo de ajuste para compensación de corte.
 D Escala para la compensación de corte.
 5 n7 Luz indicadora: Ajusto a coro para bordes.
 5 n8 Luz indicadora: Ajusto a cero para bordes.
 5 n55 Luz indicadora: Comienzo automático de corte.
 5 n56 Luz indicadora: Apagado automático de corte.
 7 r8 Ajusto a cero - borde.
 y b10 switch de cambio línea/borde.
 10 b8 Cabeza giratoria.
 11 b11 ON/OFF Corte lento en esquinas.

Tomando como base al control fotoeléctrico PH 19 mostrado en la parte superior, se tiene la siguiente explicación:

El switch b9, es el del "comienzo automático de corte", se oprime y el fotocaptor es movido en la dirección - descendida para comenzar el corte, usando el switch b8 "cabeza giratorio". La dirección en la cual el corte comenzará correrá en aproximadamente 45° hasta que alcance el contorno del dibujo.



La maquina puede ahora comenzar a trabajar. Al alcanzar el contorno el fotocaptor se pone en automático y empieza a seguir el dibujo.

La secuencia de operación electrónica es como sigue: Al desoprimir el botón 12 (b9, comienzo automático de corte), un impulso es pasado a la entrada 6 de P11/b. Este impulso es fuerte y switchea al relevador dl via P10. El contacto de dl cortocircuita la entrada de la etapa de salida.

Cuando una línea es alcanzada, la combinación fotoresistores produce una señal en la entrada del amplificador operacional P8/a. En este camino, la salida de P8/a llega a ser positiva o negativa. La señal alcanza P8/d via los diodos n4. Estos diodos garantizan que solo señales positivas estén dadas en la salida de P8/b.

Como la señal positiva se incrementa, C3 se descarga via P11/e - P11/d. Si los fotoresistores alcanzan el centro de la línea, el voltaje en la salida P8/d cae, causando que C3 sea descargado. El impulso resultante pone al relevador dl a ca

re movimiento via P11/a, P11/b y P10, así libera una vez más el control de voltaje para la etapa de salida. El LED 5 (n55, figura 2-11), muestra cuando el comienzo automático de corte ha sido seleccionado.

Corte lento en esquinas.

(circuito H 541, figura 2-10)

Si se encuentra una esquina aguda por el sistema de control, la velocidad de corte es automáticamente reducida, por el arreglo de corte lento en esquinas. Si se desea, se puede apagar por medio del switch 11 (b11) (figura 2-11). La sensibilidad del sistema de corte lento de esquinas puede ser ajustado por el potenciómetro r7, la velocidad reducida de la máquina puede ajustarse por el potenciómetro r5.

La secuencia de operación electrónica es como sigue: Si el voltaje en la salida de P8/d se incrementa más allá del valor determinado con r7 en la entrada no inversora del P8/e el voltaje en la terminal inversora de P8/c llega a ser más positivo que aquel que está en la entrada no inversora y P8/c switcha a -15 volts. El relevador d9 es llamado. El contacto de d9 hasta ahora lleva al potenciómetro r5 en secuencia con el giro de excitación de la función del transmisor. En este modo, tomamos en cuenta el ancho del corte. En este camino, la corriente de excitación es reducida y la velocidad de corte en las esquinas cae a el valor determinado en el potenciómetro r5.

La cabeza giratoria del PH 19.

Para girar la cabeza giratoria en una dirección deseada, por ejemplo, cuando comienza el corte, una señal es pasada al motor del fotocaptor via el switch 10 (b8, figura 2-11) o via el botón correspondiente en el panel de control de la máquina.

Cuando se suelta el botón b8, d10' (o d11), se cierra y se aplica un voltaje positivo (o voltaje negativo) a la entrada de la terminal del amplificador via r18.

El relvador d10 (d11) y r19 interrumpen la señal de voltaje existente y obligan al motor a girar.

Apagado automático de corte.
(circuito H 541, figura 2-10)

El sistema de control PH 19 está equipado con un apagado automático de corte. Si se pierde el contorno, por ejemplo en el caso de un dibujo defectuoso la maquina es parada automáticamente y la fuente de oxigeno de corte es apagada.

La lampara indicadora 5 (n56, figura 2-11), se enciende si el apagado automático de corte llega a ser efectivo. El apagado automático de corte puede ser apagado por el switch 13 (b12). Con el rastreador de bordes, el apagado de corte opera del mismo modo que para el rastreador de líneas. No obstante el PH 19 podrá continuar rotando uniformemente después que el contorno ha sido pèrdido.

La secuencia de operación electrónica es la siguiente: Si ambos foto-resistores estan en la luz, el umbral del switch es ajustado con r6 excedido. P5 y P6 van hacia "L" y P9 - switcha a d8.

El relvador d8 interrumpe el valor teórico y apaga la fuente de oxigeno del corte via un contacto adicional. La resistencia r12 garantiza que P9 permanezca bloqueado hasta que el comienzo automatico de corte ha sido desconectado.

PREPARACION DEL DIBUJO.

Trazando la línea.

El contorno del componente que ha sido cortado por fuera es dibujado a una escala de 1 a 1 con un ancho de 0.5 a 1.2 mm (anchura óptima 0.6 a 0.7 mm) con línea de color negro dibujada sobre papel blanco. Estas medidas son las que se determinaron para el mejor funcionamiento del pantógrafo. El ancho de la línea, el cual es importante para el funcionamiento del rastreador del sistema, no podrá ser alterado dentro de cualquier dibujo. Note que: el ancho de la línea, causa una mayor sensibilidad. Si es necesario, la sensibilidad puede requerir algunos reajustes en el caso de líneas gruesas. Esto es por supuesto, tener un dibujo provisional; por ejemplo, en lápiz negro. Sin embargo, la demanda hecha en el fotocaptor, podrá ser reducida en este caso; por ejemplo, evitar esquinas afiladas, usar un radio bastante mayor y no cortar a máxima velocidad.

Los fotoresistores exploraran ambos lados de la línea del dibujo. El centro de la línea del dibujo representa la línea de control. Se debe de utilizar un papel libre de distorsión y no reflejante o una lamina de plástico para preparar el dibujo, por ejemplo se puede usar un papel de fibra sintética o papel laminado con polietileno.

Redondeando el radio.

Cuando preparamos el dibujo, note que las esquinas y angulos afilados estan redondeados y que el ancho de la línea en las esquinas no exceda de 1.2 mm.

No es posible dibujar sobre una tabla universal - aplicable al radio, ya que el funcionamiento del rastreador del fotocaptor depende de un número de factores que son:

Ajuste al fotocaptor, ajuste del sistema de control coordinado, calidad del dibujo trazado y el tipo de papel usada. El funcionamiento dinámico de la maquina es tambien un factor

importante y depende del tamaño y equipo de la maquina.

El modelo PH 19 toma los siguientes valores como guías:

Velocidad de alimentacion mm/min	Radio mm
Hasta 1000	0
Hasta 2000	1.5
Hasta 3000	10
Hasta 4000	15
Hasta 5000	20
Hasta 6000	25

Note que el ancho de la diagonal de la linea del dibujo en la esquina no podrá ser mayor que 1.2 mm. Si es necesario, se debe "chaflanear" de la siguiente manera:



Rastreador de bordes.

Refiriendonos al modelo PH 19 nuevamente tenemos - que el ancho del conterno no podrá ser menor de 2 mm. Por otra parte el comentario hecho en la sección anterior "trazando la línea" tambien es aplicable al rastreador de bordes.

Tambien las tablas de radios de la sección anterior es aplicable al rastreador de bordes. Sin embargo, el ancho de la diagonal es insignificante y por lo tanto no es necesario re

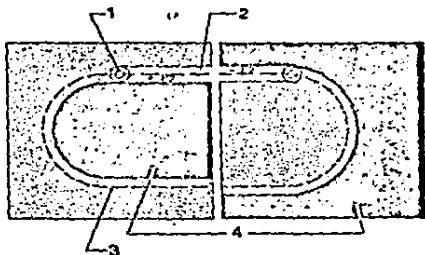
dondocar las esquinas a más de 500 ma/min.

Tomando en cuenta el ancho del corta.

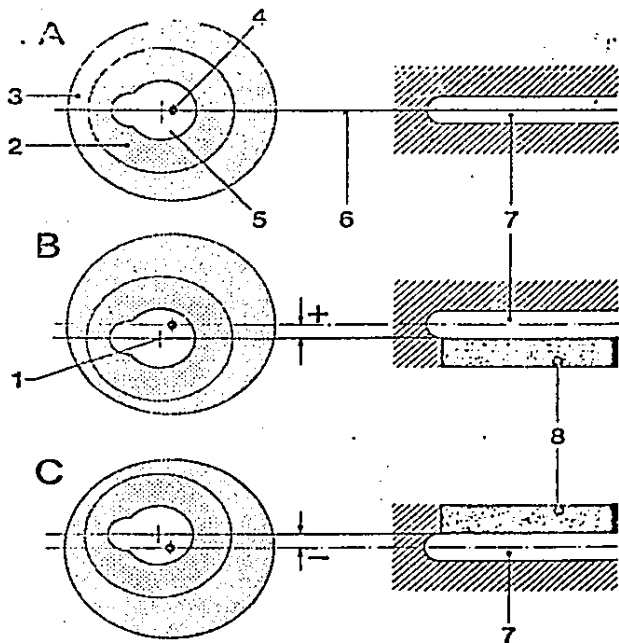
El ancho del corte de la placa debe de ser tomado en cuenta cuando se preparan los dibujos con las figuras que se desea cortar.

En el caso del sistema PH 19, el fotocaptor está equipado con una compensación de corte, esto hace que no sea necesario tomar en cuenta el corte cuando se prepara el dibujo. Cuando se selecciona la compensación de corte, se debe de estar seguro que el radio interior de las esquinas no es menor que el corte seleccionado.

A continuación se muestra la preparación del dibujo en el cual se toma en cuenta el ancho del corta.



- 1.- Antorcha de corte
- 2.- Corte
- 3.- Línea del dibujo
- 4.- Componente a ser cortado = pieza de trabajo

Compensación del corte.

- 1 Tracer head
- 2 Tracer head lower part
- 3 Tracer head upper part
- 4 Rotation axis

- 5 Illuminated area
- 6 Drawing line
- 7 Cutting kerf
- 8 Workpiece

- 1.- Cabeza rastreadora
- 2.- Parte baja de la cabeza rastreadora
- 3.- Parte superior de la cabeza rastreadora
- 4.- Eje de rotación
- 5.- Area iluminada
- 6.- Línea del dibujo
- 7.- Corte
- 8.- Pieza de trabajo

En el modelo PH 19. la compensación de corte se puede determinar en la cabeza rastreadora. Para este fin, los fotoresistores pueden ser ajustados hacia la derecha o izquierda en la dirección del recorrido, según la dirección en la cual el contorno del dibujo ha sido trazado. El ajuste está hecho a unos pocos milímetros, correspondientes a la mitad del ancho del corte. En este caso el ancho del corte no es tomado en cuenta en el dibujo. (1 graduación = 1 mm compensación = 2 mm de corte).

- A Normal: El corte ha sido tomado en cuenta en el dibujo de la pieza de trabajo.
- B El corte no ha sido tomado en cuenta en el dibujo. Se debe de ajustar la compensación de corte (+).
- C El corte no ha sido tomado en cuenta en el dibujo. Se debe de ajustar la compensación de corte (-).

CAPITULO III

En este capítulo veremos la parte final de la tesis o sea del funcionamiento electrónico del pantógrafo. Veremos primeramente la conversión D/A, para poder mover el motor de la cabeza rastreadora; veremos también los amplificadores de salida, así como el movimiento de los motores para el movimiento longitudinal y transversal.

Conversión D/A.

Algunos sistemas aceptan una palabra digital como una señal de entrada y la traducen o convierten en un voltaje o corriente analógico. Estos sistemas son llamados convertidores D/A o DACs. La palabra digital puede ser presentada en una variedad de códigos, el más común es el binario puro o decimal codificado en binario (BCD).

La salida V_o de un convertidor D/A de N-bit está dando por la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} V_o &= (2^{N-1}a_{N-1} + 2^{N-2}a_{N-2} + \dots + 2^1a_1 + a_0) V \\ &= (a_{N-1} + 1/2a_{N-2} + \dots + 1/2^{N-2}a_1 + 1/2^{N-1}a_0) 2^{N-1}V. \end{aligned}$$

donde V es el factor de proporcionalidad determinado por los parámetros del sistema y donde los coeficientes a_n representan la palabra binaria y $a_n = 1(0)$ si el n-avo bit es 1(0). El voltaje V_R es el voltaje de referencia estable usado en el circuito. El bit más significativo (MSB) es el que corresponde a a_{N-1} y su peso es $2^{N-1}V$, mientras el bit menos significativo (LSB) correspondiente a a_0 , y su peso es $2^0V = V$.

El ejemplo del convertidor D/A está dado en la figura 3-1.

Los blocks $S_0, S_1, S_2, \dots, S_{N-1}$ son switches electrónicos los cuales son controlados digitalmente. Por ejemplo, cuando se presenta un 1 en la línea MSB, el switch S_{N-1} conecta la resistencia R al voltaje de referencia $-V_R$; al contrario, cuando se presenta un 0 en la línea MSB, el switch conecta la resistencia a la línea de tierra. El switch es polo sencillo-doble tiro. El amplificador operacional actúa como un convertidor de corriente a voltaje. Podemos ver que si en MSB hay un 1 y todos los demás bits son ceros, la corriente a través de la resistencia R es $-V_R/R$ y la salida es $V_R R'/R$. Similarmente, la salida de LSB (si $N=5$) es $V_0 = V_R R' / 16R$. Si los cinco bits son 1, la salida será:

$$V_0 = (16 + 8 + 4 + 2 + 1) \frac{V_R R'}{16R}$$

lo cual concuerda con la ecuación anterior si $V = V_R R' / 16R$. Este argumento confirma que el voltaje analógico V_0 es proporcional a la entrada digital.

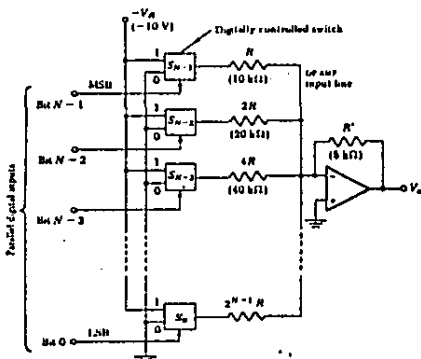


Figura 3-1. Convertidor D/A con resistencias de peso binarias.

Amplificador de salida.

Tomando nuevamente el modelo PH 19 tenemos lo siguiente:

Los transistores P3/P4 de salida son controlados por la señal que llega de P8a via P8b. El amplificador operacional P8a es un comparador el cual determina la intensidad luminosa de los fototransistores. Existe un voltaje de estabilización de motor que retroalimenta al amplificador operacional P8b para ejercer una mejor operación del motor; este voltaje de estabilización llega via r10 y r12.

La retroalimentación negativa c15 y r22 está diseñada para prevenir una oscilación de descontrol. La polarización para P3 está dada por los diodos n4.

Esto se puede observar en la figura del diagrama eléctrico del capítulo anterior (figura 2-10) y aquí se muestra en forma explícita en la figura 3-2.

A continuación se muestran los valores de los transistores P3 y P4 que tiene los números de fabricación TIP131 y TIP136 respectivamente.

Descripción y aplicación	voltaje col-baso BV _{CBO}	voltaje col-emi. BV _{CEO}	voltaje bas-emi. BV _{BE0}	máx. corriente de coloc.	máx. distancia de pación	ganancia de I _h _{FE}
TIP131 NPN-S1, Darlington Pwr Amp.	100	100	5	8	65	1000
TIP136 PNP-S1, Darlin.	100	100	5	8	65	1000

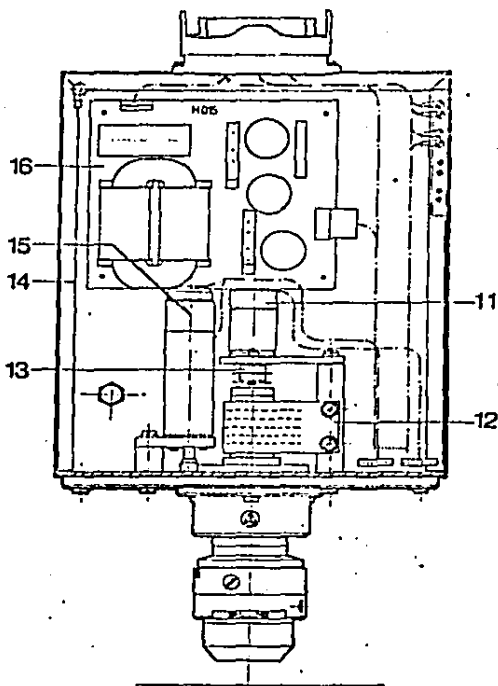


Figura 3-2a. Vista interior al sistema de control.

- 11 Función del transmisor.
- 12 Colector de corriente (cursor)
- 13 cople de placa y muelle.
- 14 cable de suspensión.
- 15 Motor.
- 16 Circuito impreso H 015

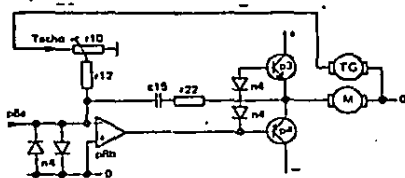


Figura 3-2. Amplificador de salida.

Estos transistores de salida son los encargados de mover el motor de la cabeza rastreadora, para así seguir el contorno del dibujo. Así, que el sistema detecta una línea hacia la derecha todo este arreglo hará posible que la cabeza rastreadora gire hacia la derecha, de igual manera si hay una línea hacia la izquierda, hará que gire hacia la izquierda.

En la figura 3-3 se muestra internamente el modelo PH 19 donde se localiza el motor del que hacemos mención.

Movimiento coordinado.

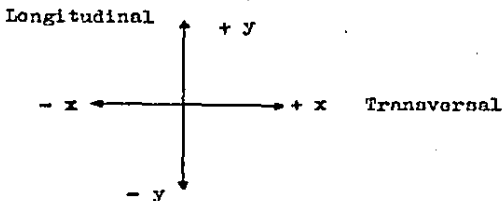
El modelo PH 19 está equipado con dos motores especiales que producen el movimiento coordinado, un motor sirve para el movimiento longitudinal y el otro motor para el movimiento transversal.

La velocidad de los dos motores está regulada por un sistema de control electrónico, de tal manera que un cambio sinusoidal en la velocidad de un motor induce un cambio cosenooidal en la velocidad del otro motor. Esto está dado bajo el principio de:

$$\sin^2 \theta + \cos^2 \theta = 1$$

La velocidad de manejo permanecerá constante para todos los ángulos con el sistema coordinado y por lo tanto, para cualquier dirección del recorrido.

Se pueden seleccionar las cuatro principales direcciones coordinadas por medio de un botón para que el corte de líneas rectas en la dirección longitudinal o transversal pueda hacerse automáticamente sin dibujos.



Todas las ruedas dentadas son de alta precisión, están montadas en un juego libre de cojinetes en una forma de caja. Estos son ajustables.

La armadura del motor y los piñones de manejo están eslabonados por una reducción de engranajes y un clutch electromagnético.

El sistema de control coordinado está totalmente transistorizado y permite una fácil supervisión, y se localiza en un compartimiento protegido contra el polvo.

Todas las conexiones eléctricas están hechas por cable de la caja de switch hasta los motores y el fotocaptor.

El movimiento coordinado del modelo PH 19, se muestra en la figura 3-4.

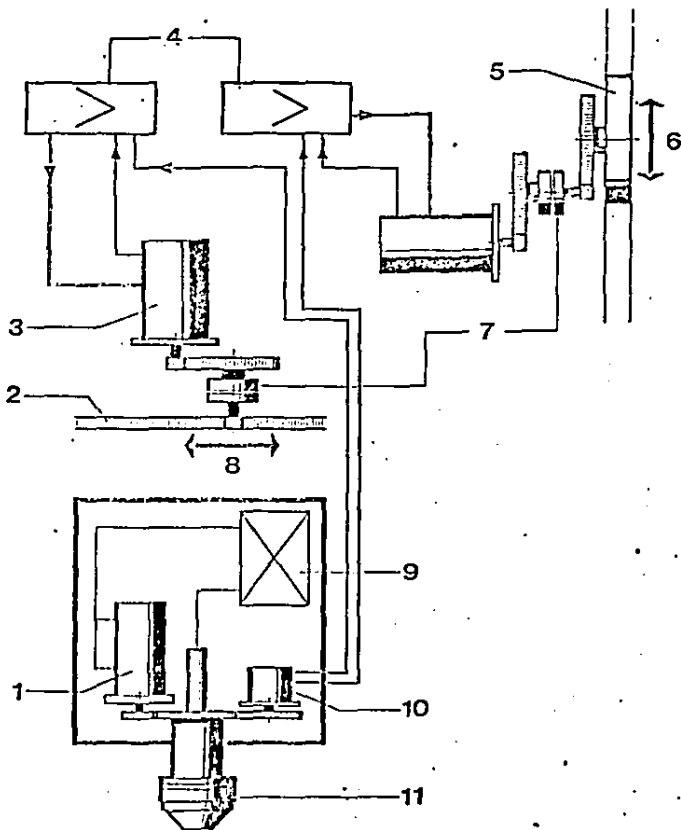


Figura 3-4. Diagrama del movimiento coordinado.

Co-ordinate drive with photoscope

- 1 Control motor
- 2 Rack
- 3 Motor
- 4 Amplifier
- 5 Drive wheel
- 6 Longitudinal drive

- 7 Clutch
- 8 Transverse drive
- 9 Amplifier
- 10 sin-cos transmitter
- 11 Photo-electric tracer head

CAPITULO 4ESTUDIO ECONOMICO

Los requerimientos en el corte de placas de acero se hace cada día mayor, ya que en diversos sectores de la industria se requieren con más frecuencia y además se requiere que esas placas cumplan ciertas especificaciones en las medidas. El pantógrafo es muy requerido para satisfacer las demandas que ocupa la industria, ya que este aparato satisface estos requerimientos de corte con una exactitud muy aceptable.

Es por esto que los distribuidores o vendedores de láminas de acero, requieran de este aparato en sus instalaciones para poder así ofrecer un servicio necesario e indispensable para el desarrollo de la economía nacional.

La elaboración de esta tesis ha tenido como objetivo poner en practica lo aprendido durante los estudios realizados en la carrera de Ingenieria Mecánica Eléctrica y además poder establecer un estudio del costo del sistema de control, el cual se llegó al siguiente estudio de costos:

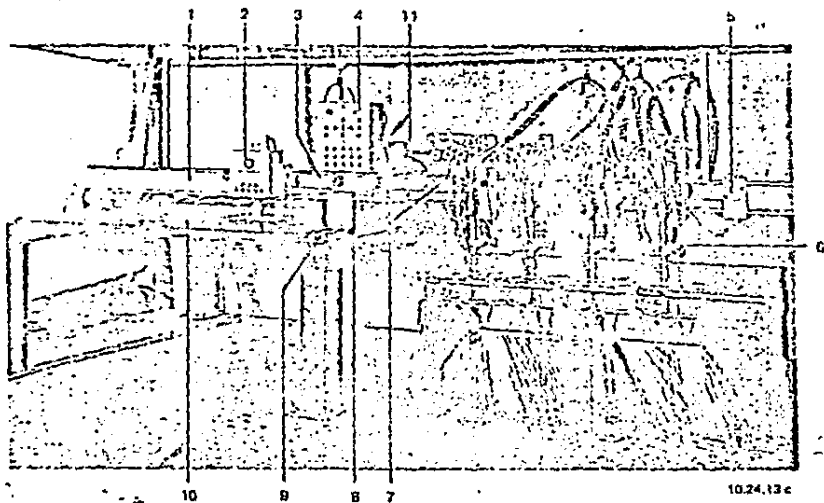
DESCRIPCION	NUMERO DE CLAVE	CANTIDAD	COSTO UNITARIO
Comparador	LM 224D	7	\$1450 -
Comparador	TCA 335A	2	\$1,450-
Compuerta NAND	CD 40938E	4	\$1,450-
Transistor	BC 177A	2	3800-
Transistor	TIP 131	1	\$1,650-
Transistor	TIP 136	1	\$1,950-
Diodos	899-60	14	3500-
Fotoresistencias	L 222	2	\$1,450-
Reguladores	MC 7815CT	2	\$990-
Relevadores	RS 12V	7	\$1,600-

DESCRIPCION	NUMERO DE CLAVE	CANTIDAD	COSTO UNITARIO
Potenci6metros	20K	2	\$1,530-
Potenci6metros	470K	4	\$1,600-
Capacitor	4.7 nF	3	\$230-
Capacitor	0.1 uF	3	\$540-
Capacitor	22 pF	2	\$110-
Capacitor	1 uF	4	\$130-
Capacitor	820 pF	1	\$660-
Capacitor	1 nF	1	\$630-
Resistencia	100K	13	\$100-
Resistencia	1M	1	\$100-
Resistencia	10K	3	\$100-
TOTAL			\$62,630-
GENERAL			

El costo de los componentes del sistema es relativamente barato, para el trabajo que realiza. Se hace notar que estos componentes solo son los m1s indispensables para construir el sistema de control y no son todos los elementos que componen al pant6grafo electr6nico. Este se compone de muchas partes como son:

- Brazos de extensi6n
- Soportes de riel
- Sopletes de oxigeno y acetileno (por lo regular son 4 sopletes, dependiendo del modelo)
- Central del control de gas
- Motores para el movimiento coordinado etc.

En la figura 4-1 se muestra el modelo PH 19 de la marca comercial WEBER CHIESHEIM que se ha tomado como referencia a lo largo de esta t6sis.



- 1 Brazos de extensión fijos.
 2 Fotocaptor.
 3 Riel de soporte.
 4 Caja de switch con el sistema de control KS-07.
 5 Cojinete de guía lateral.
 6 Suspensión del soplete con la maquina de corte.
 7 Cruce de transporte.
 8 Rueda de la caja.
 9 Vía de la maquina.
 10 Parte superior de la mesa.
 11 Engranaje de movimiento.

Hemos hecho un estudio del costo del sistema de control, utilizando las partes más importantes. Para tener un estudio más completo y más ilustrativo del costo de operación del pantógrafo, se llegó a lo siguiente:

COSTO DE CORTE CON PANTOGRAFO

CAL.	VEL.	Seg. X	GASTO	GASTO	COSTO	COSTO	COSTO	COSTO
mm.	mm/M	Pulg.	M3/HA	M3/HO	Pulg A	Pulg O	Pulg S	TOTAL
3	730	2.09	0.30	1.69	0.01	4.71	12.53	17.24
5	690	2.21	0.30	1.69	0.01	4.98	13.25	18.24
8	640	2.38	0.30	1.89	0.01	6.01	14.29	20.31
10	620	2.46	0.35	2.76	0.01	9.05	14.75	23.82
15	520	2.93	0.35	2.96	0.02	11.58	17.58	29.18
20	450	3.39	0.35	3.06	0.02	13.83	20.32	34.17
25	410	3.72	0.35	3.26	0.02	16.17	22.30	38.50
30	380	4.01	0.35	2.96	0.02	15.84	24.06	39.93
35	360	4.23	0.35	3.06	0.02	17.29	25.40	42.71
40	340	4.48	0.35	4.56	0.02	27.28	26.89	54.20
50	320	4.76	0.35	5.06	0.03	32.16	28.58	60.76
60	320	4.76	0.41	8.64	0.03	54.92	28.58	83.52
80	280	5.44	0.41	9.33	0.03	67.78	32.66	100.47
100	250	6.10	0.85	15.40	0.08	125.29	36.58	161.95
150	210	7.26	0.95	21.68	0.11	209.99	43.54	253.64
200	170	8.96	1.16	39.91	0.16	477.51	53.79	531.46
250	130	11.72	1.05	58.37	0.19	913.26	70.34	983.79
300	100	15.24	1.51	67.61	0.36	1375.18	91.44	1466.98

CAL = Espesor del material.

VEL = Velocidad de corte mm/minuto.

Seg = Tiempo de corte por pulgada.

M3/HA = Metro cúbico de gas (A).

M3/HO = Metro cúbico de oxígeno (O).

S = Costos fijos por pulgada.

Esta tabla de costos de corte son los correspondientes al modelo PH 19 de la casa alemana MESSER GRISHEIM. Se observa aquí que el grosor de las placas pueden ir desde los 3 mm hasta los 300 mm (30 cm), por lo que al ir aumentando el calibre la velocidad de corte se vá reduciendo para obtener un corte satisfactorio. Los valores de las columnas de gastos y costos está dado en pesos y estos gastos y costos corresponden al 13 de junio de 1988.

La tabla de costos y gastos son cantidades reales que se utilizan en el cobro del servicio de corte con el pantógrafo por cada pulgada cortada. En la parte inferior de la tabla se describen las abreviaciones que se utilizaron.

Existen varios tipos de pantógrafos industriales para todos tipos de necesidades, en la actualidad el costo de un aparato como este, está en \$40,000,000-; pero esta cantidad es redituable en un lapso relativamente corto.

Ventajas y desventajas.

Existen más ventajas que desventajas en el uso del pantógrafo electrónico. Veremos a continuación estos puntos:

VENTAJAS:

- Se desperdicia menos placa de acero, ya que los cortes son más próximos unos con otros.
- Se obtienen cortes con un error despreciable.
- Solo se necesita un operario para realizar los cortes, reduciendo así a varios obreros.
- Como la máquina opera independientemente el operario puede realizar otras actividades mientras se realizan los cortes.
- Se obtiene hasta cuatro piezas cortadas en

un solo rastreo.

-El costo de mantenimiento es barato.

-Si se siguen las instrucciones de operación fielmente, casi no se necesita realizar mantenimientos.

-Se pueden cortar placas de acero de hasta 300 mm (30 cm) de grueso, con una exactitud muy aceptable.

DESVENTAJAS:

-La velocidad de corte en placas de calibre grueso es demasiado lento, comparado con un cortador de agua a presión.

-Se está sujeto a un monopolio de vendedores de oxígeno, dependiendo a las condiciones de venta por parte de ellos.

-Ocupa mucho espacio en la planta.

Conclusiones.

Como se puede observar son mucho más las ventajas que las desventajas, es por esto que es muy útil el uso del pantógrafo en la industria. En la actualidad los vendedores o distribuidores de acero deben de contar con un pantógrafo electrónico en su planta, para poder así ofrecer mejores servicios a los clientes y poder así tener una mayor perspectiva de los servicios prestados y por lo tanto ser más competitivos en el mercado.

Es factible la compra del pantógrafo ya que el capital que se requiere, es redituable en un periodo corto de tiempo por todos los puntos señalados anteriormente.

En conclusión el diseño y uso del pantógrafo en la industria, lo hace ser un instrumento de vital importancia, para el desarrollo de México.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

BIBLIOGRAFIA:

- Understanding Optronics.
Understanding Series.
Larry B. Masten, Billy R. Masten.
Texas Instruments Learning Center.
Dallas, Texas.
1981.
- Microelectronics: Digital and Analog Circuits and Systems.
Jacob Millman.
McGraw-Hill, Tokyo, Japan.
1984.
- Sistemas de control.
G.H. Hostteter, C.J. Savant, R.T. Stefani.
Interamericana, México, 1984.
- Circuitos integrados Lineales y Amplificadores Operacionales.
Robert F. Coughlin, Frederick F. Driscoll.
Prentice-Hall, México.
1987.
- Revista Técnica Alemana "MESSER GRIESHEIM".