

**“IMPLEMENTACION DE UN SENSOR DE CORRIENTE ALTERNA PARA EL CONTROL DE CARGA DE UN MOTOR TRIFASICO PARA RECICLENE S.A.”**

**IMPLEMENTACION DE UN SENSOR DE CORRIENTE ALTERNA PARA EL  
CONTROL DE CARGA DE UN MOTOR TRIFASICO PARA RECICLENE S.A.**



**JEAN ANDRES PINZON MUÑOZ**

**PROGRAMA DE TECNOLOGÍA EN ELECTRÓNICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS  
SOACHA-CUNDINAMARCA**

**2011**

**IMPLEMENTACION DE UN SENSOR DE CORRIENTE ALTERNA PARA EL  
CONTROL DE CARGA DE UN MOTOR TRIFASICO PARA RECICLENE S.A.**

**JEAN ANDRES PINZON MUÑOZ**

**Director:**

**RAUL SOLANO**

**Ingeniero en Electrónico**

**Modalidad: Proyecto de Investigación**

**PROGRAMA DE TECNOLOGÍA EN ELECTRÓNICA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS**

**SOACHA-CUNDINAMARCA**

**2011**

## **DEDICATORIA**

*A MIS HIJOS QUE SON LO MEJOR DE MI Y ENTREGARLES UN MEJOR FUTURO, CON LA CAPACIDAD DE SUPERARSE Y APRENDER HASTA DE SUS PROPIOS ERRORES.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A MIS MAESTROS E INDUSTRIA QUE HAN COLOCADO EN MI EL INTERES DE MEJORAR DE ADENTRO HACIA FUERA.*

## RESUMEN

JEAN ANDRES PINZON MUÑOZ

**Título del Trabajo:** IMPLEMENTACION DE UN SENSOR DE CORRIENTE ALTERNA PARA EL CONTROL DE CARGA DE UN MOTOR TRIFASICO PARA RECICLENE S.A.

Nombre del Director del Trabajo de grado:

INGENIERO ELECTRONICO RAUL SOLANO

Resumen del Contenido:

En este documento presenta una alternativa para el control de corriente de un motor (trifásico de 5.5 hp.) implementado en el área de paletizado alimentador de carbonato a silos, peletizadora nº 5.

La alternativa presentada puede controlar la carga de corriente de un motor sin que se pare el proceso productivo y evitando fallas tales como el deterioro de bobinado y sobreesfuerzos en el equipo.

Se implemento un control de carga para un motor (trifásico de 5.5 hp.) midiendo el campo electromagnético generado por el consumo de energía del motor pasando una de las fases por un transformador de corriente, la señal de salida se rectifica por medio de un rectificador de precisión hecho con amplificadores operacionales, con la señal obtenida transformarla a una lectura decimal por medio de un indicador de temperatura y alarmas de entrada universal (Gefran 40t96) dándole a este la configuración adecuada, a la vez se configuran las alarmas de salida digital directa (NO) y/o inversa (NC), (estas controlan el abrir o el cerrar las válvulas de llenado del tornillo), este indicador tiene como ventaja que para controlar las salidas digitales se configuran dos set points (si se requieren).

## ABSTRACT

JEAN ANDRES PINZON MUÑOZ

**Job Title:** IMPLEMENTATION OF AN ALTERNATING CURRENT SENSOR FOR CONTROL OF A MOTOR LOAD PHASE FOR RECICLENE SA.

Name of Director of the thesis:

ELECTRONIC ENGINEER RAUL SOLANO

Summary of Contents:

This paper presents an alternative to current control of a motor (5.5 hp three phase.) Implemented in the palletizing area of carbonate feed silos, pellet No. 5.

The alternative presented can handle the load current with an engine is stopped the production process and avoid failures such as the deterioration of winding and overexertion on your computer.

Control was implemented for a motor load (three-phase 5.5-hp.) Measuring the electromagnetic field generated by the motor power consumption from one phase of a current transformer, the output signal is rectified by a rectifier of precision operational amplifiers made with the signal obtained transform a decimal reading through a temperature indicator and alarm universal input (Gefran 40t96) giving the proper configuration, while the alarms are set up direct digital output (NO) and / or inverse (NC), (they control the opening or closing valves filling the screw), this indicator has the advantage that the digital outputs to control two set points are set (if required).

## GLOSARIO

AMPERIO O AMPERE (SÍMBOLO A): es la unidad de intensidad de corriente eléctrica.

BOBINA: Arrollamiento de un cable conductor alrededor de un cilindro sólido o hueco, con lo cual y debido a la especial geometría obtiene importantes características magnéticas.

CORRIENTE ELÉCTRICA ALTERNA: El flujo de corriente en un circuito que varía periódicamente de sentido. Se le denota como corriente A.C. (Altern current) o C.A. (Corriente alterna).

CORRIENTE ELÉCTRICA CONTINUA: El flujo de corriente en un circuito producido siempre en una dirección. Se le denota como corriente D.C. (Direct current) o C.C. (Corriente continua).

ELECTROIMÁN: es un tipo de imán en el que el campo magnético se produce mediante el flujo de una corriente eléctrica, desapareciendo en cuanto cesa dicha corriente

FUERZA ELECTROMOTRIZ es toda causa capaz de mantener una diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito abierto o de producir una corriente eléctrica en un circuito cerrado.



## CONTENIDO

	pág.
CAPITULO 1: DELIMITACIONES.....	13
1.1 INTRODUCCIÓN.....	13
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	14
1.3 OBJETIVOS.....	15
1.3.1 GENERAL.....	15
1.3.2 ESPECÍFICOS.....	15
1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
1.5 SOLUCION DEL PROBLEMA.....	16
1.6 ANTECEDENTES.....	17
CAPITULO II: MARCO TEORICO .....	22
2.1 ESCOGER DEL TIPO DE SENSOR DE CORRIENTE DEACUERDO A VARIABLES.....	22
2.1.1 TRANSFORMADOR DE CORRIENTE .....	22
2.1.2 ELECTROMAGNETISMO.....	23
2.1.3 INDUCCIÓN MAGNÉTICA.....	25
2.1.4 CORRIENTE ELÉCTRICA .....	26
2.1.4.1 Requisitos Para Que Circule La Corriente Eléctrica. ....	28
2.1.4.2 Intensidad de la Corriente Eléctrica. ....	29
2.1.5 EL AMPERE.....	30
2.1.5.1 Definición. ....	30
2.1.5.2 Medición De La Corriente Eléctrica O Amperaje.....	30

2.2	AMPLIFICADORES OPERACIONALES .....	31
2.2.1	CONCEPTO GENERAL .....	31
2.2.2	AMPLIFICADOR OPERACIONAL IDEAL .....	31
2.2.3	AMPLIFICADOR OPERACIONAL REAL .....	31
2.2.4	APLICACIONES DEL AMPLIFICADOR OPERACIONAL CON REALIMENTACIÓN NEGATIVA .....	33
2.2.4.1	Lineales .....	33
2.2.4.2	No Lineales .....	33
2.2.5	RECTIFICADOR DE MEDIA ONDA .....	34
2.2.5.1	Rectificador De Media Onda Rápido (Inversor).....	35
2.2.6	RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA. ....	36
2.3	INDICADOR DE TEMPERATURA Y ALARMAS CON ENTRADA UNIVERSAL .....	38
2.3.1	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS .....	38
2.3.2	ENTRADAS LINEALES .....	38
2.3.3	PARÁMETROS ENTRADAS .....	39
2.3.4	ENTRADA DIGITAL .....	41
2.3.5	SALIDAS .....	41
2.3.6	FUENTE DE ALIMENTACIÓN .....	42
2.3.7	POTENCIA DEL TRANSMISOR DE SUMINISTRO .....	42
2.3.8	CONDICIONES AMBIENTALES .....	42
	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	45
	CAPITULO 3. IMPLEMENTACION.....	46
3.1	DISEÑO .....	58
3.2	RECTIFICADOR DE PRESICIÓN .....	58
3.3	PRUEBAS DE CARGA.....	62
	CONCLUSIONES .....	65
	RECOMENDACIONES.....	66
	BIBLIOGRAFIA.....	67
	ANEXOS .....	68
	INFOGRÁFIAS.....	69

## LISTA DE ILUSTRACIONES Y TABLAS

	<b>Pág.</b>
Ilustración 1. Control Coreano Marca IMIC .....	17
Ilustración 2. Control Alemán marca M202 TBB POWER .....	17
Ilustración 3. Control WEG serie SSW- 06 al 08.....	19
Ilustración 4. Principio de Electromagnetismo .....	23
Ilustración 5. Campo en enrollamiento de Cobre .....	23
Ilustración 6. Intensificación de campo magnético con un metal de núcleo.....	24
Ilustración 7. Midiendo inducción magnética .....	25
Ilustración 8. Rechazo de Conductor por el Campo Electromagnético .....	26
Ilustración 9. Sentido en el que corren los electrones.....	27
Ilustración 10. Requisitos para que circule la corriente eléctrica.....	28
Ilustración 11. Analogía hidráulica con la corriente eléctrica .....	29
Ilustración 12. Medición de corriente eléctrica .....	30
Ilustración 13. Concepto amplificador operacional.....	31
Ilustración 14. Comparación amplificador ideal con el real .....	32
Ilustración 15. SLEW RATE .....	33
Ilustración 16. Rectificador media honda con diodo.....	34
Ilustración 17. Grafico rectificador media onda.....	34
Ilustración 18. Esquema de opamp media onda.....	34
Ilustración 19. Graf. comparación con frecuencia variable elevada media onda ...	35
Ilustración 20. Rectificador inversor .....	35
Ilustración 21. Rectificador inversor rápido .....	35
Ilustración 22. Rectificador completo .....	36
Ilustración 23. Grafico rectificador completo .....	36
Ilustración 24. Diagrama de conexión.....	43
Ilustración 25. Vista de descripción.....	43
Ilustración 26. Moto reductor del tornillo .....	46
Ilustración 27. Transformador de corriente .....	47
Ilustración 28. Indicador Gefran 40t96 .....	47

Ilustración 29. Conexiones Gefran 40 t 96.....	48
Ilustración 30. Tablero eléctrico .....	49
Ilustración 31. Válvula de carga del tornillo Sin Fin.....	50
Ilustración 32. Tornillo Sin Fin desde plataforma .....	50
Ilustración 33. Diagrama de Control Válvulas Rotativas .....	51
Ilustración 34. Funcionamiento Sensor de nivel Gravimetrica · .....	52
Ilustración 35. Cambio de Estado Actuador Rotativo.....	53
Ilustración 36. Inserción de Contacto de Sensor Ampirerimétrico.....	54
Ilustración 37. prueba sensor de nivel gravimetrica 2 .....	55
Ilustración 38. Prueba Control Amperimétrito Gravimetrica 2 .....	56
Ilustración 39. Prueba Con Sensores De Nivel .....	57
Ilustración 40. Esquema sin Resistencia de Común .....	59
Ilustración 41. Onda Rectificada sin Resistencia de Común.....	60
Ilustración 42. Esquema de Circuito Rectificador Completo .....	60
Ilustración 43. Onda Rectificador Completo.....	61
Ilustración 44. Ajuste Generador de Señal Senosoidal.....	61
Ilustración 45. Gráfico de Onda Con 1mV .....	62
Ilustración 46. Comparación de Transformador con Rectificador. ....	63
Tabla 1. Comparación tipos de sensores de corriente.....	22
Tabla 2. Tabla escogencia Tipo amplificador utilizado.....	32
Tabla 3. Comparativa de Parámetros de Entradas .....	39
Tabla 4. Diagrama de Gant.....	45
Tabla 5. Convenciones de Diagrama de Control .....	51
Tabla 6. Prueba de Cargas.....	63

## **CAPITULO 1: DELIMITACIONES**

### **1.1 INTRODUCCIÓN**

La industria en la actualidad nos ofrece muchos campos de control en tecnologías y por medio de ellas logramos implementar y mejorar los procesos industriales, la utilización de los sensores y la forma de detectar por medio de ellos fallas, corregirlas sin interrumpir los procesos productivos hacen necesario la implementación de los mismos en sistemas tan sencillos que involucrarían la intención del conocimiento y la implementación de la tecnología.

Con este trabajo se conseguirá implementar un sensor de corriente alterna para el control de carga de un motor trifásico, implementado con el fin de solucionar el daño de motores trifásicos por exceso de carga ampliando su vida útil y evitando principalmente las paradas por daños en los equipos.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

Este escrito está enfocado a la mejora de un proceso productivo, a la reducción de costos, mejorar y ampliar la vida útil y evitar el mal funcionamiento de los equipos.

En el área de paletizado específicamente en la maquina peletizadora nº 5 hay motores trifásicos que se encuentran sometidos a largas jornadas de trabajo y grandes esfuerzos por los cambios de materiales realizados.

En el mes de junio del presente año, hubo daños en un motor reductor, el cual hace mover un tornillo sin fin que alimenta de carbonato de calcio, a los silos de las gravimetrías 2 y 3, al revisar el motor se observa recalentamiento del estator y quemado de bobinado; al hacer el reporte de daños por producción se detallo que la causa principal fue que el motor se frenaba, se saltaban las protecciones tales como el guarda motor y relé térmico con una frecuencia de 120 minutos desde la puesta en marcha hasta la siguiente parada del motor, también se le colocaba ventilación forzada (aire comprimido) y se reiniciar el equipo y en este proceso se tardaban 30 minutos.

Al hacerle seguimiento al motor acabado de cambiar se observa el mismo problema, revisando con una pinza amperimetrica el control de funcionamiento de carga, con este método se pudo observar la variación de corriente que tenia este motor y determinar así las posibles causas del daño de estos motores.

Posibles causas

1. El cambio de referencia que se estaba realizando con los carbonatos.
2. El taponamiento de la ventilación del motor.
3. La válvula de carbonato no cierra si no hasta que las gravimetrías estén llenas de material.
4. El mal diseño del tornillo y/o escogencia del motor reductor.

Se determina revisando detalladamente las causas de los daños y de acuerdo al trabajo que había tenido este equipo el último semestre, se decide cotizar un sensor de corriente.

De esta cotización se determina el alto costo del aparato y que tiene muchas mas funciones que las que se necesitan para la aplicación, de la cual se genera la idea de implementar un sensor de corriente con elementos que se tienen en la compañía.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 GENERAL

Implementar un sensor para corriente alterna y dar control de carga a un motor (trifásico de 5.5 hp.).

### 1.3.2 ESPECÍFICOS

- Determinar un elemento adecuado que pueda leer corriente.
- Determinar cuantos y que amplificador operacional es el mas adecuado para el rectificador de precisión.
- Diseñar un puente rectificador de precisión.
- Leer los niveles de voltaje a través de un indicador de alarmas con entrada universal (Gefran 40T 96).

#### **1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

¿Los motores se están Sobrecargando? ¿Son suficientes las protecciones para protegerlos?

#### **1.5 SOLUCION DEL PROBLEMA**

Implementar un sensor de corriente el cual por medio de un indicador de alarmas de entrada universal controle la apertura y cierre de una válvula lenteja y así cuando el tornillo sin fin se encuentre sobrecargado se cierre la válvula que lo alimenta y el mismo motor maneje la corriente para la cual esta diseñado.



## 1.6 ANTECEDENTES

En el mercado se encuentran diferentes tipos de sensores de corriente muchos de estos utilizados ampliamente en la industria cualquiera sea su razón.

Ilustración 1. Control Coreano Marca IMIC



- Este control es de la marca Coreana IMC (Digital Motor Controller), compuesto de medición de corriente, el relé de protección del motor (exceso de corriente, rotor bloqueado, de enganche de fase, desequilibrio, la protección de falla a tierra), control de secuencia diferentes, motor de encendido / apagado de la lámpara LED de estado de botón y, es el integrado Digital del relè de protección.

Ilustración 2. Control Alemán marca M202 TBB POWER



- Este control es de la marca Alemana TBB power. Relé inteligente de protección de motores M202 TBB POWER.

Características dominantes:

M201 y M202

- Controlado por microprocesador, conveniente para el motor debajo de 1200V.
- El ajuste del parámetro del botón, todo el ajuste se puede ahorrar mientras que energía apagado.
- Protección múltiple.
- El transformador de la protección de la tierra (RCT) es seleccionable.
- Corriente actual y media de la fase de la exhibición.
- El sensor de temperatura podía garantizar la remuneración correcta función de salida de la cresta de corriente 4-20mA.
- Tiempo inverso que dispara modelos matemáticos con cuatro niveles que disparan disponibles (manual fijado), que podrían ofrecer la mejor protección para los motores.
- RS485.
- Exhibición de LED, seleccionable.
- El acuerdo integrado "tres fases +" transformador corriente residual, hasta 7 veces de la corriente clasificada se puede medir sin el transformador adicional.

M202 solamente:

- Entrada de energía ancha 90-260VAC.
- Modelos matemáticos de la termodinámica múltiple del motor.
- Entrada aislada 3 (para el control de cadena alejado de la parada, del curriculum vitae y del proceso). - M202 solamente.
- Este control es de la marca Alemana WEG.

Ilustración 3. Control WEG serie SSW- 06 al 08



Se adapta a las necesidades del usuario a través de sus accesorios opcionales de fácil instalación. Además puede añadirse al arrancador opcionalmente, un teclado numérico, una interfaz de comunicación o una entrada ptc del motor.

#### Aplicaciones

Ventiladores (Baja inercia), Bombas Centrífugas, Bombas de Proceso, Compresores (en alivio), Filtros Giratorios, Tamiz / Mesas Vibratorias, Refinerías de papel, sistemas de aire acondicionado.

#### Características

- Reducción del estrés mecánico sobre los acoplamientos y equipos de transmisión.
- Aumento de la vida útil del motor y del sistema mecánico de la máquina debido a la reducción del estrés mecánico.
- Fácil operación, programación y mantenimiento.
- Instalación eléctrica y mecánica sencilla.
- Operación en ambientes hasta 55°C (sin reducción de corriente).
- Incorpora las protecciones electrónicas para el motor.
- Relé térmico electrónico incorporado.
- Función Kick-Start para arranque de cargas con alta inercia.
- Reducción del Golpe de ariete en aplicaciones de bombeo.
- Limitación de caída de tensión durante el arranque.
- Tensión universal (220 a 575 Vac).
- Fuente de alimentación conmutada con filtro EMC (110 a 240 Vac).

- By-pass incorporado permitiendo reducción del tamaño, aumento de la vida útil del sistema y ahorro de energía.
- Monitoreo electrónico de la tensión lo que permite back-up de los valores I x t (magnetérmica).
- Este control es de la marca Alemana WEG.

Los Arrancadores Suaves, serie SSW-06, son equipos estáticos de arranque, destinados a la aceleración, desaceleración y protección de motores de inducción trifásicos. El control de tensión aplicado al motor, bajo el ajuste del ángulo de disparo de los tiristores, permite obtener arranques y paradas suaves.

Aplicaciones:

Ventiladores / Extractores, Bombas Centrífugas, Centrífugas, Agitadores / Mezcladores, Compresores, Extrusoras de Jabón, Extrusoras, Inyectores / Sopladores, Pujadores, Granuladores, Bombas Dosificadoras, Bombas de Proceso, Filtros Rotativos, Hornos Rotativos, Cintas de Viruta, Calandras, Coaters, Refinadores de Papel, Cintas Transportadoras, Centrífugas Continuas, Mesas de Rodillos, Bombas, Paneras / Mesas Vibratorias, Separadores Dinámicos, Peletizadores, Cintas / Monovías, Secadores / Lavadoras, Transportadores, Agujerador / Rectificas, Trefilas, Molinos de Bolas / Martillo, Máquina de Fabricación de Botellas, Mesas de Rollos, Bandas Transportadoras, Sistemas de Aire Condicionado, Compresores de tornillo / Pistón, Sierras y Aplanadoras, Lijadoras, Picador de Madera, Sistemas de bombeo, Correas / Corrientes, Monovías / Norias, Escaleras Mecánicas, cintas de equipaje (Aeropuertos).

Características:

- Microcontrolador de alto desempeño tipo RISC 32 bits.
- Protección electrónica integral del motor.
- Relé térmico electrónico incorporado.
- Interfase Hombre Máquina extraíble y con doble pantalla (LED / LCD).
- Tipos de control totalmente programables.
- Función Kick-Start para el arranque de cargas con elevado atrita estática.
- Función Pump Control para control inteligente de sistemas de bombeo.
- Evita el Golpe de Ariete en bombas.
- Limitación de los picos de corriente en la red.
- Limitación de las caídas de tensión en el arranque.
- Tensión desde 220 hasta 690 Vac.
- Fuente conmutada de alimentación de la electrónica, con filtro EMC (90 hasta 250 Vac).

- By-pass incorporado al Arrancador (85 hasta 820 A), proporcionando reducción del tamaño y ahorro de energía.
- Monitoreo de la tensión de la electrónica, posibilitando hacer el back-up de los valores de I x T (imagen térmica).
- Protección contra desequilibrio de fases.
- Protección de sub / sobre tensión y corriente.
- Entrada para PTC del motor.
- Eliminación de choques mecánicos.
- Reducción de los esfuerzos en los acoplamientos y dispositivos de transmisión (reductores, poleas, engranajes, cintas).
- Aumento de la vida útil del motor y de las partes mecánicas de la máquina accionada.
- Facilidad de operación, programación y mantenimiento vía Interface Hombre Máquina.
- Instalación eléctrica sencilla.
- Puesta en marcha orientada.
- Posibilidad de conexión padrón (3 cables) o conexión dentro del delta del motor (6 cables).
- Único arrancador que mantiene protecciones integrales al motor para cualquier tipo de conexión.
- Protección de errores en la comunicación Serie o Fieldbus.
- Operación en ambientes hasta 55°C (sin reducción de la corriente para los modelos desde 85A hasta 820A).
- Operación en ambientes hasta 40°C ( sin reducción de la corriente para los modelos desde 950A hasta 1400A).

## CAPITULO II: MARCO TEORICO

### 2.1 ESCOGER DEL TIPO DE SENSOR DE CORRIENTE DEACUERDO A VARIABLES

Tabla 1. Comparación tipos de sensores de corriente

Tecnología del Sensor	Shunt de corriente	Transformador de Corriente	Sensor de Efecto Hall	Bobina Rogowski
Costo	Muy bajo	Medio	Alto	Bajo
Linealidad en el rango de la medición	Muy Buena	Buena	Pobre	Muy Buena
Capacidad de medición de alta corriente	Muy pobre	Buena	Buena	Muy Buena
Consumo de Potencia Problema de Saturación de Corriente DC	Alto No	Bajo Si	Medio Si	Bajo No
Variación de la Salida con respecto a la Temperatura	Medio	Bajo	Alto	Muy bajo
Problema Offset de DC	Si	No	Si	No
Problema de Saturación e Histéresis	No	Si	Si	No

#### 2.1.1 Transformador De Corriente

El transformador de corriente (TC) usa el principio de un transformador para convertir la alta corriente primaria a una corriente secundaria más pequeña. El TC es común entre los medidores de energía de estado sólido de alta corriente. Es un aparato pasivo que no necesita circuitos adicionales de control. Adicionalmente, el TC puede medir corrientes muy altas y consumir poca potencia. Sin embargo, el material ferrítico usado en el núcleo se puede saturar cuando la corriente primaria es muy alta o cuando hay un componente importante de DC en la corriente. Una vez magnetizado, el núcleo contendrá histéresis y su precisión se degradará a menos que éste se desmagnetice de nuevo.

A continuación relacionaremos los principios físicos que hacen parte de un transformador de corriente explicando cada uno de ellos.

## 2.1.2 Electromagnetismo

Ilustración 4. Principio de Electromagnetismo



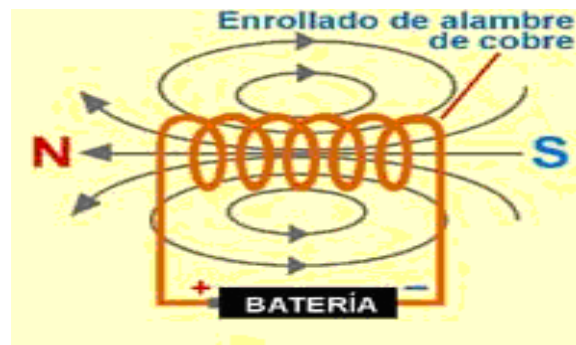
Fuente: @asifunciona.com2005

En 1820 el físico danés Hans Christian Oersted descubrió que entre el magnetismo y las cargas de la corriente eléctrica que fluye por un conductor existía una estrecha relación. Cuando eso ocurre, las cargas eléctricas o electrones que se encuentran en movimiento en esos momentos, originan la aparición de un campo magnético tal, a su alrededor, que pueda desviar la aguja de una brújula.

Si cogemos un trozo de alambre de cobre desnudo, recubierto con barniz aislante y lo enrollamos en forma de espiral, habremos creado un solenoide con núcleo de aire.

Si a ese solenoide le aplicamos una tensión o voltaje, desde el mismo momento que la corriente comienza a fluir por las espiras del alambre de cobre, creará un campo magnético más intenso que el que se origina en el conductor normal de un circuito eléctrico cualquiera cuando se encuentra extendido, sin formar espiras.

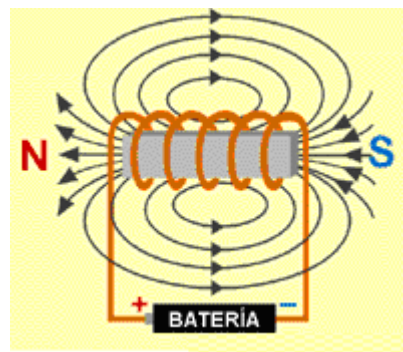
Ilustración 5. Campo en enrollamiento de Cobre



Fuente: @asifunciona.com2005

Después, si a esa misma bobina con núcleo de aire le introducimos un trozo de metal como el hierro, ese núcleo, ahora metálico, provocará que se intensifique el campo magnético y actuará como un imán eléctrico (o electroimán), con el que se podrán atraer diferentes objetos metálicos durante todo el tiempo que la corriente eléctrica se mantenga circulando por las espiras del enrollado de alambre de cobre.

Ilustración 6. Intensificación de campo magnético con un metal de núcleo



Fuente: @asifunciona.com2005

Bobina solenoide a la que se le ha introducido un núcleo metálico como el hierro (Fe). Si comparamos la bobina anterior con núcleo de aire con la bobina de esta ilustración, veremos que ahora las líneas de fuerza magnética se encuentran mucho más intensificadas al haberse convertido en un electroimán.

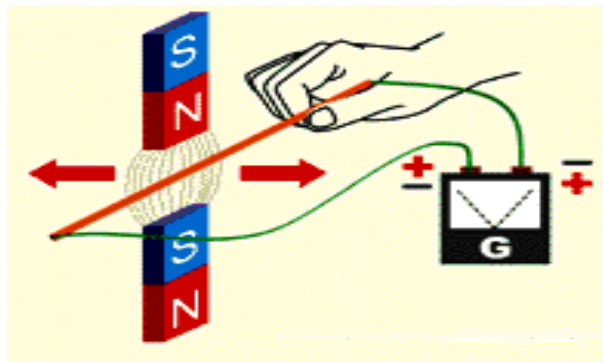
Cuando el flujo de corriente eléctrica que circula a través del enrollado de cobre cesa, el magnetismo deberá desaparecer de inmediato, así como el efecto de atracción magnética que ejerce el núcleo de hierro sobre otros metales. Esto no siempre sucede así, porque depende en gran medida de las características del metal de hierro que se haya empleado como núcleo del electroimán, pues en algunos casos queda lo que se denomina "magnetismo remanente" por un tiempo más o menos prolongado después de haberse interrumpido totalmente el suministro de corriente eléctrica.



### 2.1.3 INDUCCIÓN MAGNÉTICA

Si cogemos un alambre de cobre o conductor de cobre, ya sea con forro aislante o sin éste, y lo movemos de un lado a otro entre los polos diferentes de dos imanes, de forma tal que atraviese y corte sus líneas de fuerza magnéticas, en dicho alambre se generará por inducción una pequeña fuerza electromotriz (FEM), que es posible medir con un galvanómetro, instrumento semejante a un voltímetro, que se utiliza para detectar pequeñas tensiones o voltajes.

Ilustración 7. Midiendo inducción magnética



Fuente: @asifunciona.com2005

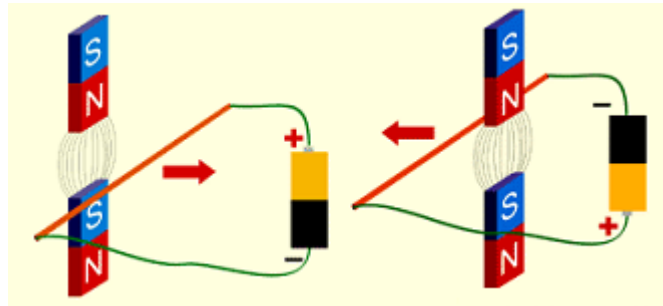
Este fenómeno físico, conocido como "inducción magnética" se origina cuando el conductor corta las líneas de fuerza magnéticas del imán, lo que provoca que las cargas eléctricas contenidas en el metal del alambre de cobre (que hasta ese momento se encontraban en reposo), se pongan en movimiento creando un flujo de corriente eléctrica. Es preciso aclarar que el fenómeno de inducción magnética sólo se produce cada vez que movemos el conductor a través de las líneas de fuerza magnética. Sin embargo, si mantenemos sin mover el alambre dentro del campo magnético procedente de los polos de los dos imanes, no se inducirá corriente alguna.

En esa propiedad de inducir corriente eléctrica cuando se mueve un conductor dentro de un campo magnético, se basa el principio de funcionamiento de los generadores de corriente eléctrica.

Ahora bien, si en vez de moverlo colocáramos el mismo conductor de cobre dentro del campo magnético de los dos imanes y aplicamos una diferencia de potencial, tensión o voltaje en sus extremos, como una batería, por ejemplo, el campo

magnético que produce la corriente eléctrica alrededor del conductor al circular a través del mismo, provocará que las líneas de fuerza o campo magnético de los imanes lo rechacen. De esa forma el conductor se moverá hacia un lado o hacia otro, en dependencia del sentido de circulación que tenga la corriente, provocando que rechace el campo magnético y trate de alejarse de su influencia.

Ilustración 8. Rechazo de Conductor por el Campo Electromagnético



Fuente: @asifunciona.com2005

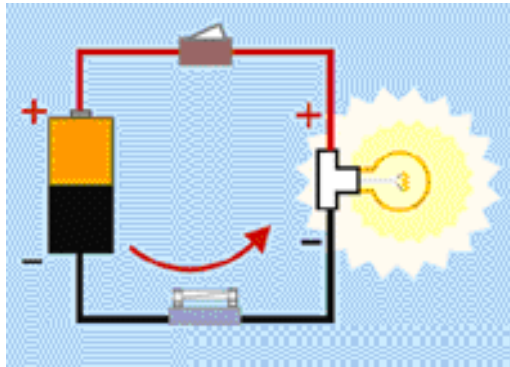
El campo magnético que se crea alrededor del alambre de cobre o conductor cuando fluye la corriente eléctrica, hace que éste se comporte también como si fuera un imán y en esa propiedad se basa el principio de funcionamiento de los motores eléctricos.

En la actualidad la magnetita no se emplea como imán, pues se pueden fabricar imanes permanentes artificiales de forma industrial a menor costo.

#### 2.1.4 CORRIENTE ELÉCTRICA

Lo que conocemos como corriente eléctrica no es otra cosa que la circulación de cargas o electrones a través de un circuito eléctrico cerrado, que se mueven siempre del polo negativo al polo positivo de la fuente de suministro de fuerza electromotriz (FEM).

Ilustración 9. Sentido en el que corren los electrones



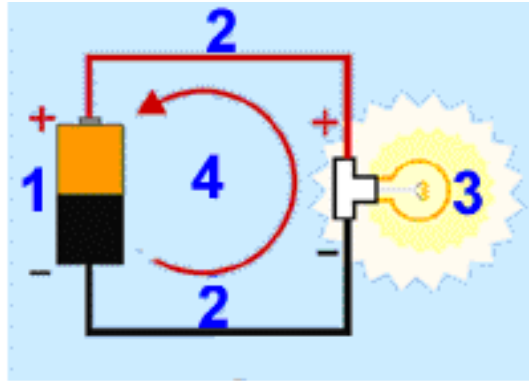
Fuente: @asifunciona.com2005

Quizás hayamos oído hablar o leído en algún texto que el sentido convencional de circulación de la corriente eléctrica por un circuito es a la inversa, o sea, del polo positivo al negativo de la fuente (FEM). Ese planteamiento tiene su origen en razones históricas y no a cuestiones de la física y se debió a que en la época en que se formuló la teoría que trataba de explicar cómo fluía la corriente eléctrica por los metales, los físicos desconocían la existencia de los electrones o cargas negativas.

Al descubrirse los electrones como parte integrante de los átomos y principal componente de las cargas eléctricas, se descubrió también que las cargas eléctricas que proporciona una fuente de FEM (Fuerza Electromotriz), se mueven del signo negativo (-) hacia el positivo (+), de acuerdo con la ley física de que "cargas distintas se atraen y cargas iguales se rechazan". Debido al desconocimiento en aquellos momentos de la existencia de los electrones, la comunidad científica acordó que, convencionalmente, la corriente eléctrica se movía del polo positivo al negativo, de la misma forma que hubieran podido acordar lo contrario, como realmente ocurre. No obstante en la práctica, ese "error histórico" no influye para nada en lo que al estudio de la corriente eléctrica se refiere.

**2.1.4.1 Requisitos Para Que Circule La Corriente Eléctrica.** Para que una corriente eléctrica circule por un circuito es necesario que se disponga de tres factores fundamentales:

Ilustración 10. Requisitos para que circule la corriente eléctrica



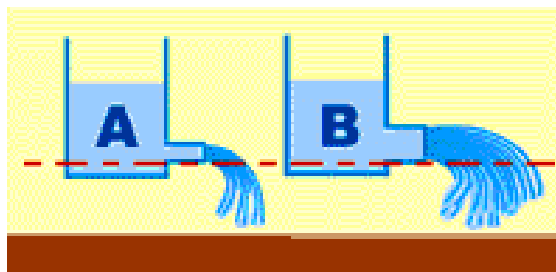
Fuente: @asifunciona.com2005

1. Fuente de fuerza electromotriz (FEM).
2. Conductor.
3. Carga o resistencia conectada al circuito.
4. Sentido de circulación de la corriente eléctrica.

1. Una fuente de fuerza electromotriz (FEM) como, por ejemplo, una batería, un generador o cualquier otro dispositivo capaz de bombear o poner en movimiento las cargas eléctricas negativas cuando se cierre el circuito eléctrico.
2. Un camino que permita a los electrones fluir, ininterrumpidamente, desde el polo negativo de la fuente de suministro de energía eléctrica hasta el polo positivo de la propia fuente. En la práctica ese camino lo constituye el conductor o cable metálico, generalmente de cobre.
3. Una carga o consumidor conectada al circuito que ofrezca resistencia al paso de la corriente eléctrica. Se entiende como carga cualquier dispositivo que para funcionar consuma energía eléctrica como, por ejemplo, una bombilla o lámpara para alumbrado, el motor de cualquier equipo, una resistencia que produzca calor (calefacción, cocina, secador de pelo, etc.), un televisor o cualquier otro equipo electrodoméstico o industrial que funcione con corriente eléctrica.

**2.1.4.2 Intensidad de la Corriente Eléctrica.** La intensidad del flujo de los electrones de una corriente eléctrica que circula por un circuito cerrado depende fundamentalmente de la tensión o voltaje (V) que se aplique y de la resistencia (R) en ohm que ofrezca al paso de esa corriente la carga o consumidor conectado al circuito. Si una carga ofrece poca resistencia al paso de la corriente, la cantidad de electrones que circulen por el circuito será mayor en comparación con otra carga que ofrezca mayor resistencia y obstaculice más el paso de los electrones.

Ilustración 11. Analogía hidráulica con la corriente eléctrica



Fuente: @asifunciona.com2005

Analogía hidráulica. El tubo del depósito "A", al tener un diámetro reducido, ofrece más resistencia a la salida del líquido que el tubo del tanque "B", que tiene mayor diámetro. Por tanto, el caudal o cantidad de agua que sale por el tubo "B" será mayor que la que sale por el tubo "A".

Mediante la representación de una analogía hidráulica se puede entender mejor este concepto. Si tenemos dos depósitos de líquido de igual capacidad, situados a una misma altura, el caudal de salida de líquido del depósito que tiene el tubo de salida de menos diámetro será menor que el caudal que proporciona otro depósito con un tubo de salida de más ancho o diámetro, pues este último ofrece menos resistencia de salida del equipo.

De la misma forma, una carga o consumidor que posea una resistencia de un valor alto en ohm, provocará que la circulación de los electrones se dificulte igual que lo hace el tubo de menor diámetro en la analogía hidráulica, mientras que otro consumidor con menor resistencia (caso del tubo de mayor diámetro) dejará pasar mayor cantidad de electrones. La diferencia en la cantidad de líquido que sale por los tubos de los dos tanques del ejemplo, se asemeja a la mayor o menor cantidad de electrones que pueden circular por un circuito eléctrico cuando se encuentra con la resistencia que ofrece la carga o consumidor.

La intensidad de la corriente eléctrica se designa con la letra ( I ) y su unidad de medida en el Sistema Internacional ( SI ) es el ampere (llamado también “amperio”), que se identifica con la letra ( A ).

### 2.1.5 EL AMPERE

De acuerdo con la Ley de Ohm, la corriente eléctrica en ampere ( A ) que circula por un circuito está estrechamente relacionada con el voltaje o tensión ( V ) y la resistencia en ohm (  $\Omega$  ) de la carga o consumidor conectado al circuito.

**2.1.5.1 Definición.** Un ampere (1A) se define como la corriente que produce una tensión de un volt (1V), cuando se aplica a una resistencia de un ohm (1  $\Omega$ ).

Un ampere equivale una carga eléctrica de un coulomb por segundo (1C/seg) circulando por un circuito eléctrico, o lo que es igual, 6 300 000 000 000 000 = (6,3 x 10<sup>18</sup>) (seis mil trescientos billones) de electrones por segundo fluyendo por el conductor de dicho circuito. Por tanto, la intensidad (I) de una corriente eléctrica equivale a la cantidad de carga eléctrica (Q) en Coulomb que fluye por un circuito cerrado en una unidad de tiempo.

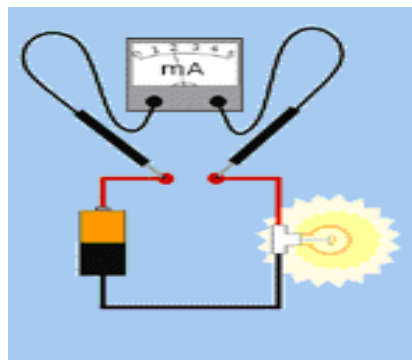
Los submúltiplos más utilizados del ampere son los siguientes:

miliampere (mA) = 10<sup>-3</sup> A = 0,001 ampere

microampere (  $\mu$ A ) = 10<sup>-6</sup> A = 0, 000 000 1 ampere

**2.1.5.2 Medición De La Corriente Eléctrica O Amperaje.** La intensidad de circulación de corriente eléctrica por un circuito cerrado se puede medir por medio de un amperímetro conectado en serie con el circuito o mediante inducción electromagnética utilizando un amperímetro de gancho. Para medir intensidades bajas de corriente se puede utilizar también un multímetro que mida miliampere (mA).

Ilustración 12. Medición de corriente eléctrica



Fuente: @asifunciona.com2005

El ampere como unidad de medida se utiliza, fundamentalmente, para medir la corriente que circula por circuitos eléctricos de fuerza en la industria, o en las redes eléctricas doméstica, mientras que los submúltiplos se emplean mayormente para medir corrientes de poca intensidad que circulan por los circuitos-electrónicos.

## 2.2 AMPLIFICADORES OPERACIONALES

### 2.2.1 CONCEPTO GENERAL

Amplificador diferencial con una ganancia de tensión elevada, acoplo directo y diseñado para facilitar la inclusión de una red de realimentación. El A.O. puede ser considerado como un bloque funcional analógico.

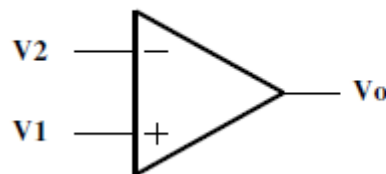
### 2.2.2 AMPLIFICADOR OPERACIONAL IDEAL

- Es un modelo matemático más que un circuito electrónico real.
- Impedancia de entrada: infinita Corrientes de polarización nulas.
- Impedancia de salida: cero Asimetrías (offsets) nulas.
- Ganancia de tensión en modo diferencial: infinita.
- Ganancia de tensión en modo común: cero.

Ancho de banda:  $f_L=0$  (DC) ;  $f_H$  infinita SlewRate: infinito (V/ $\mu$ s)

### 2.2.3 AMPLIFICADOR OPERACIONAL REAL

Ilustración 13. Concepto amplificador operacional



$$V_i = V_1 - V_2$$

$$V_o = A_v \cdot V_i$$

Ganancia de tensión (bucle abierto): 1000 a 100000 (60 dB a 100 dB) Amplificador operacional realizable como circuito electrónico

Impedancia de entrada: 2 M a 1G  
 Corr. Polarización  $I_b$ : 10 pA a 10  $\mu$ A

Impedancia de salida: 50 a 1 K  
 Offset  $V_{io}$ : 1 nV a 10 mV

CMRR: de 80 a 120 dB fH (ganancia 1)      100 KHz a 1 GHz  
 Slew Rate:      0.1 V/μs a 1000 V/μs

Tabla 2. Tabla escogencia tipo amplificador utilizado

TABLA COMPARATIVA DE OPERACIONALES REALES											
Tipo	Vcc	Icc	Vio	Ib	Iomax	R2R	Av	Ft	SR	Vn	In
Bipolar básico LM741	±15	1.7	2	80	25	no	2E5	1	0.5	30	?
BiFet básico LF356	±15	5	1	.03	25	no	2E5	4.5	12	15	0.01
CMOS básico TLC2272	±5	2.2	0.3	.001	3	out	$1.5E3$ (mA/V)	2.2	3.6	9	.001
BiFet rápido OPA656	±5	16	0.3	.002	70	no	$1E3$ RL=100	230	290	7	.0013
CMOS rápido OPA354	±2.5	5	2	.003	100	In & out	3E5	250	150	6.5	.05
Bipolar CFOA AD8002	±5	5	2	$3E3(+)$ $5E3(-)$	70	no	900 kΩ	600	1.2k	2	.002(+) .018(-)
	V	mA	mV	nA	mA			MHz	V/μs	nV/√Hz	pA/√Hz

Ilustración 14. Comparación amplificador ideal con el real

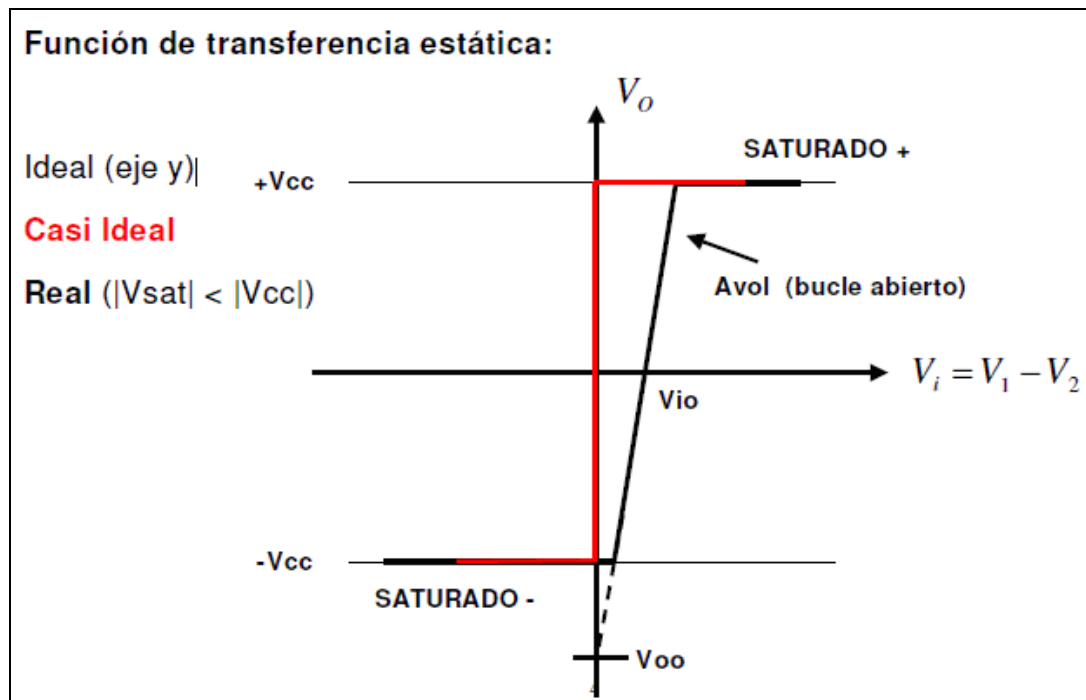
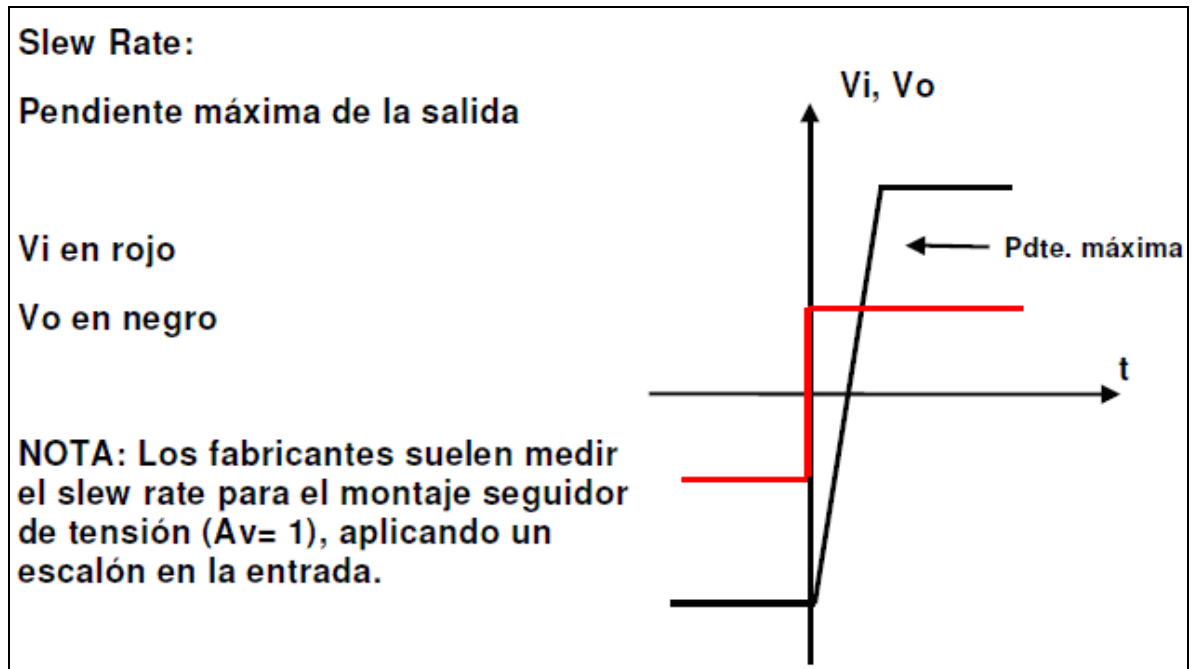




Ilustración 15. SLEW RATE



## 2.2.4 APLICACIONES DEL AMPLIFICADOR OPERACIONAL CON REALIMENTACIÓN NEGATIVA

### 2.2.4.1 Lineales

- Amplificador inversor.
- Amplificador no inversor y seguidor de tensión.
- Sumador.
- Amplificador diferencial.
- Convertidor V-I y convertidor I-V.
- Integrador y derivador.
- Con realimentación Negativa (cont).

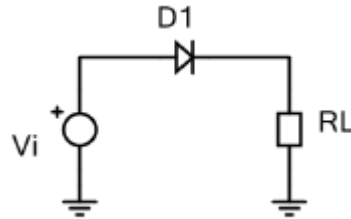
### 2.2.4.2 No Lineales

- Rectificadores de media onda.
- Rectificador de onda completa.
- Recortadores.
- Convertidor logarítmico (NO).

## 2.2.5 RECTIFICADOR DE MEDIA ONDA

La caída de tensión en el diodo del rectificador básico de la figura hace que la amplitud en  $V_o$  sea menor que la de la señal de entrada.

Ilustración 16. Rectificador media honda con diodo



El circuito con operacional evita este inconveniente. Cuando la señal  $V_i$  es positiva, la tensión de salida del operacional se eleva para compensar la caída de tensión en el diodo. Cuando la señal en  $V_i$  es negativa, el diodo no conduce, y el operacional queda en bucle abierto (sin realimentación). En estas condiciones la resistencia  $R_L$  mantiene la tensión de salida del rectificador a cero. Al mismo tiempo, la salida del operacional se satura negativamente.

Ilustración 17. Grafico rectificador media onda media onda

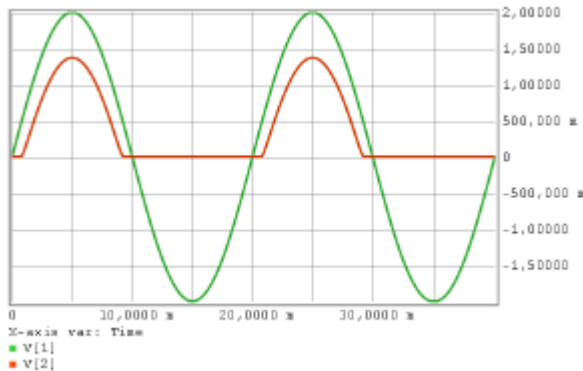
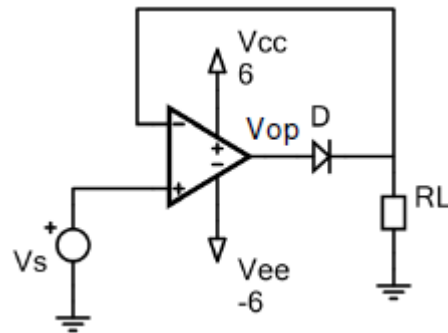
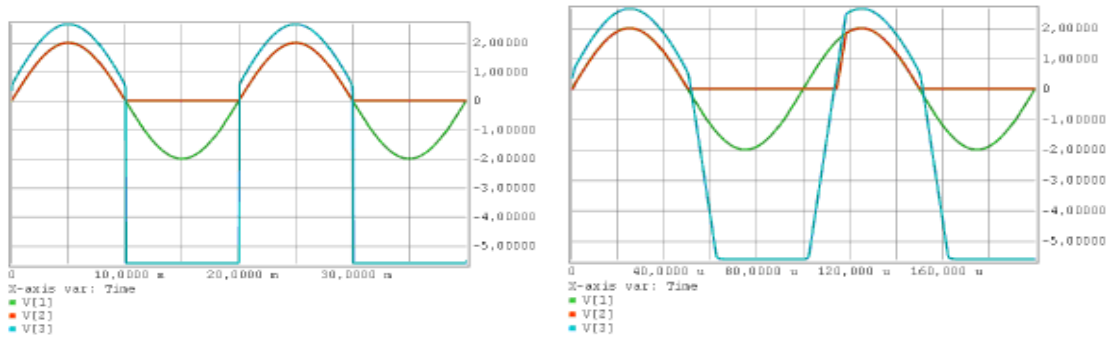


Ilustración 18. Esquema de opamp



( $V_s$  en verde;  $V_o$  en rojo;  $V_{op}$  en azul) El inconveniente de este circuito es que no rectifica correctamente si la señal  $V_i$  es de frecuencia elevada. Esto se debe a que el operacional tiene un slew-rate muy lento y tarda demasiado tiempo en pasar de  $-6V$  a  $0V$ . La gráfica superior se ha obtenido con una  $V_s$  de 50 Hz, y la derecha con 10 kHz.

Ilustración 19. Grafico comparación con frecuencia variable elevada media onda

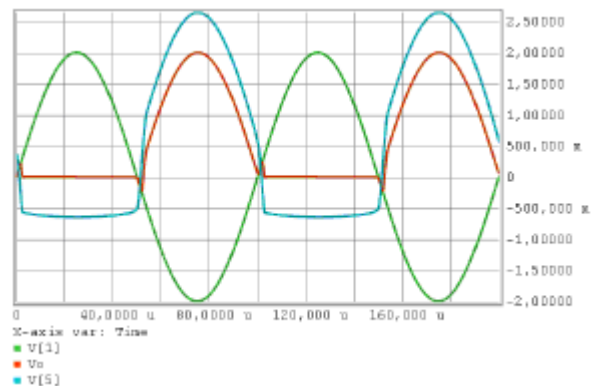
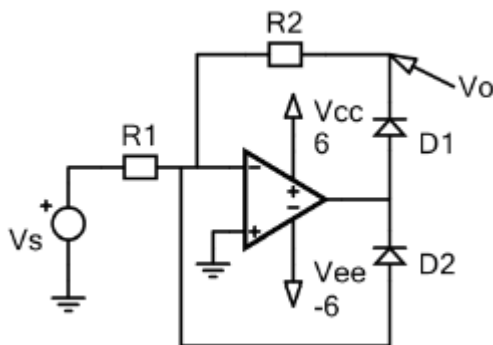


**2.2.5.1 Rectificador De Media Onda Rápido (Inversor).** Este rectificador es más rápido porque la salida del operacional no se satura en ningún momento, lo que se consigue utilizando dos diodos.

La salida del rectificador está marcada en la figura como  $V_o$ . Cada diodo conduce en medio ciclo de la señal de entrada. La gráfica se ha obtenido con una señal de entrada senoidal de 10 kHz (trazo verde). La salida  $V_o$  (trazo rojo) está invertida con respecto a la entrada (rectificador inversor). La señal, aunque no es perfecta, es claramente mejor que la del rectificador básico. El trazo azul corresponde a la salida del operacional ( $V_{op}$ ).

$$\begin{array}{lll} V_s < 0 & \text{Conduce D1} & V_o = -V_i & V_{op} = V_o + V_D \\ V_s > 0 & \text{Conduce D2} & V_o = 0 & V_{op} = -V_D \end{array}$$

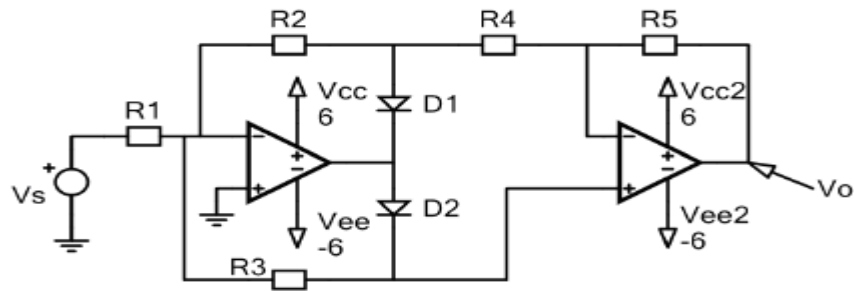
Ilustración 20. Rectificador inversor Ilustración 21. Rectificador inversor rápido



Hay una gran variedad de circuitos rectificadores de onda completa (patentes publicaciones). Referencia: "Versatile Precision Full-Wave Rectifiers...", Stephan J. G. Gift, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurements, October 2007.

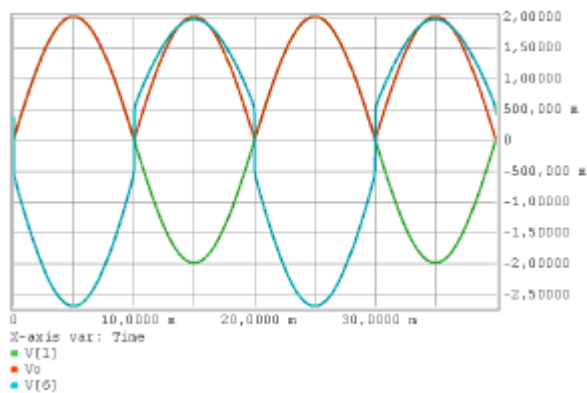
### 2.2.6 RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA.

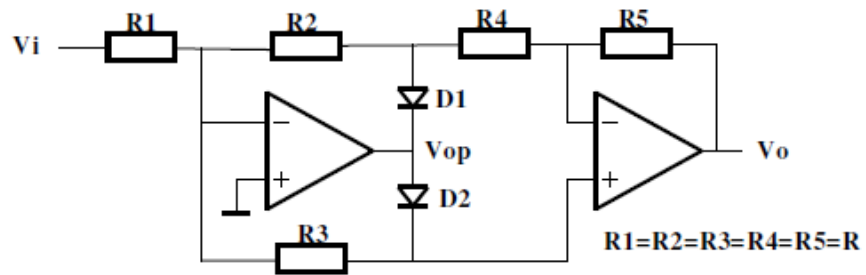
Ilustración 22. Rectificador completo



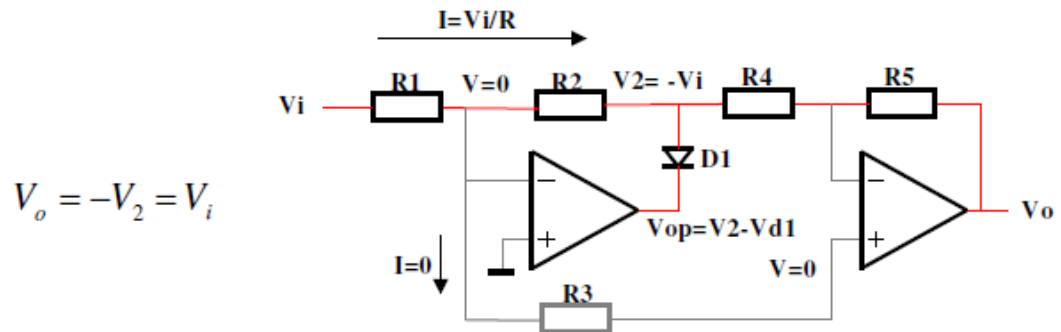
Vs= trazo verde  
Vop1= trazo azul  
Vo= trazo rojo

Ilustración 23. Grafico rectificador completo

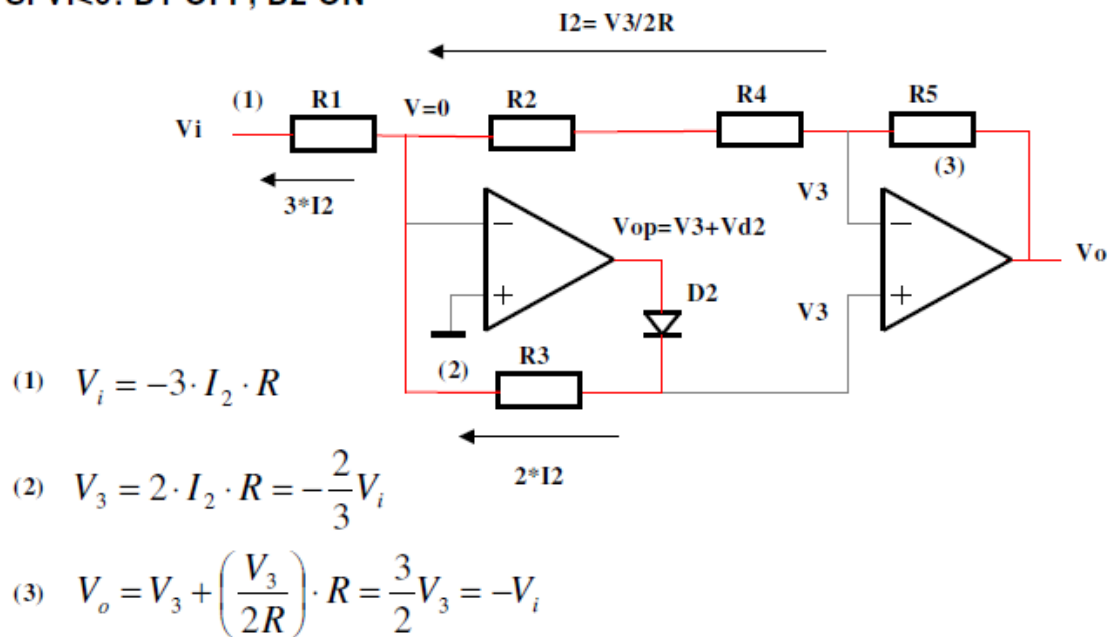




Si  $V_i > 0$ : D1 ON, D2 OFF



Si  $V_i < 0$ : D1 OFF, D2 ON



Por lo tanto, para ambas polaridades se obtiene:  $V_o = |V_i|$

## **2.3 INDICADOR DE TEMPERATURA Y ALARMAS CON ENTRADA UNIVERSAL**

### **2.3.1 PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS**

- Placa frontal de entrada configurable.
- Protegido por un código personal.
- Configurable por una conexión en serie.
- Transmisor de fuente de alimentación incorporada.
- Custom termopar linealización disponible.
- Linealización interna para las unidades de ingeniería.
- Etiquetas para las unidades físicas.
- Tiempo de muestreo y la intervención de viaje programable entre 15 y 120 mseg con una resolución de entre 4000 y 16000 pasos.
- Retransmisión de la medida señal variable.
- 4 puntos de disparo completamente configurable desde el teclado.
- RS-485 óptimamente aislado de la línea serie Protocolo: GEFran CenCal.
- MODBUS RTU.

Rápida configuración de PC con Winstrum paquete general, basado en un microprocesador, indicador 4 dígitos 96x48 (1 / 8 DIN) Formato fabricados con SMT. El instrumento tiene membranas de la placa frontal (que garantiza una IP65), tiene tres llaves, una cifra, formato de visualización, y 4 LED de para el estado de las salidas.

La señal de entrada se puede seleccionar de una amplia gama de sensores:

- Los termopares de tipo J, K, R, S, T, B, E, N, GOST L, U, G, D,
- Termo resistencias Pt100, Pt100J 2 / 3 hilos
- PTC y NTC thermistors

### **2.3.2 ENTRADAS LINEALES**

- 0 a 60/12 a 60mV
- 0 a 20 / 4 a 20 mA,
- 0 a 10 / 2-10 / 0-5 / 1 a 5 / 0 a 1 / 0 2 a 1V

La selección se realiza mediante el teclado. El instrumento está disponible en versión base, con dos salidas a Relé (2R), y versión expandible.

Los instrumentos tienen un máximo de 4 salidas que pueden ser relés mecánicos (5A,250Vac/30Vdc  $\cos = 1$ ) o de la lógica, salidas (de 0 a 11Vdc). Una entrada digital (24Vdc/5mA) está disponible (por la restauración, espera, flash, máximo el manejo o la liberación de cierre) y una salida de 0... 10 V, ó 4 a20 mA (máx. 500 $\Omega$ ) está disponible para retransmitir la señal de entrada medida.

La salida de retransmisión, la brecha digital entrada y salida de la tercera están disponibles contemporáneamente. La opción de comunicación serie (Disponible en el estándar RS485) permite conexión a los sistemas de supervisión y PLC con dos protocolos: GEFran CenCal y Modbus RTU. Por último, un triac puede ser equipado (como alternativa a la salida 1) a la unidad cargas resistivas hasta un máximo de 1A a 240V.

La programación del instrumento se facilitada por la agrupación de los parámetros en bloques funcionales (CFG para la alarma histéresis, Inp para las entradas, Out para las salidas) y por una base de datos simplificada entrada del menú.

La configuración se puede simplificar aún más con la programación de PC kit compuesto por un cable de conexión y un programa de guía de menú que se ejecuta bajo Windows (ver datos técnicos WINSTRUM). Un software personal configurable código de protección (protección por contraseña) se puede utilizar para restringir los niveles de edición y visualización de la configuración.

### 2.3.3 PARÁMETROS ENTRADAS

Precisión 0,2% fs  $\pm$  1 dígito. Tiempo de muestreo: 120 mseg para sensores de temperatura, configurable para entradas lineales, a un mínimo de 15msec con la reducción de la resolución a 4000 pasos. Posición del punto decimal configurable para entradas lineales, para el TC, RTD, PTC y Entradas NTC, de un solo dígito decimal es permitido en el rango máximo de la pantalla de -199,9 a 999,9 (4 dígitos), -99,9 A 99,9 (3 dígitos con signo), con indicación de circuito abierto termopar o RTD, PTC o NTC en circuito abierto o cortocircuito, indicación de fuera de carga de bajo rango para entradas lineales.

Tabla 3. Comparativa de Parámetros de Entradas

TC –	Termopar (4 dígitos)
J	0 ... 1000 ° C / 32 ... 1832 ° F
K	0 ... 1300 ° C / 32 ... 2372 ° F
R	0 ... 1750 ° C / 32 ... 3182 ° F
S	0 ... 1750 ° C / 32 ... 3182 ° F

T	-200 ... 400 ° C / -328 ... 752 ° F
B	44 ... 1800 ° C / 111 ... 3272 ° F
E	-100 ... 750 ° C / -148 ... 1382 ° F
N	0 ... 1300 ° C / 32 ... 2372 ° F
L-GOST	0 ... 600 ° C / 32 ... 1112 ° F
U	-200 ... 400 ° C / -328 ... 752 ° F
G	0 ... 2300 ° C / 32 ... 4172 ° F
D	0 ... 2300 ° C / 32 ... 4172 ° F
C	0 ... 2300 ° C / 32 ... 4172 ° F
personalizado -1999 ... 9999	
TC – Termopar (3 dígitos + signo)	
J	0 ... 999 ° C / 32 ... 999 ° F
K	0 ... 999 ° C / 32 ... 999 ° F
R	0 ... 999 ° C / 32 ... 999 ° F
S	0 ... 999 ° C / 32 ... 999 ° F
T	-200 ... 400 ° C / -328 ... 752 ° F
B	no disponible
E	-100 ... 750 ° C / -148 ... 999 ° F
N	0 ... 999 ° C / 32 ... 999 ° F
L-GOST 0	... 600 ° C / 32 ... 999 ° F
U	-200 ... 400 ° C / -328 ... 752 ° F
G	0 ... 999 ° C / 32 ... 999 ° F
D	0 ... 999 ° C / 32 ... 999 ° F
C	0 ... 999 ° C / 32 ... 999 ° F
medida -999 ... 999	
IDT	(2 ó 3 hilos)(4 dígitos)
PT	100 -200 ... 600 ° C / -328 ... 1112 ° F
JPt	100 -200 ... 600 ° C / -328 ... 1112 ° F
(3 dígitos + signo)	
PT	100 -200 ... 600 ° C / -328 ... 999 ° F
JPt	100 -200 ... 600 ° C / -328 ... 999 ° F
PTC	990Ω, 25 ° C -55 ... 120 ° C / -67 ... 248 ° F
NTC	1 k, 25 ° C -10 ... 70 ° C / 14 ... 158 ° F
DC	
- Lineal configurables dentro de la escala límites:	
-1999 ... 9999	(4 dígitos)
-999 ... 999	(3 dígitos + signo)
0 ... 60mV / 12 ... 60mV	



0 ... 10 V / 2 ... 10 V
0 ... 5 / 1 ... 5
0 ... 1 V / 0,2 ... 1V
0 ... 20 mA / 4 ... 20mA

Impedancia de entrada para las señales de tensión:

Ri > 1MΩ de fs 60mV / 1V,

Ri > 10 k para fs 5V / 10V.

Para Ri = 50Ω señales de corriente.

De 32 segmentos configurable linealización se puede utilizar Potenciómetro  
Suministro de 1,2 V > 100Ω

### 2.3.4 ENTRADA DIGITAL

PNP: Ri = 4,7 kW (24 V, 5 mA) 1500 V aislamiento.

NPN: contacto libre de tensión Función se puede configurar como alarma o restablecer la memoria, mantenga, flash cero, la pantalla del valor máximo (máx., min. o pico a pico).

### 2.3.5 SALIDAS

- 4 salidas configurables
- OUT1 relé o triac
- OUT2 a disposición de Relé, la lógica
- Disponibles sólo para Relé OUT3/OUT4 (\*) OUT4 alternativa a la analógica salida de retransmisión Relé (R código de pedido) con los contactos de potencia de 5A/250Vac/30Vdc a cos = 1.

Lógica (D en el código de pedido) 24Vdc, R out = 100Ω (10V/20mA) Triac (T en código de pedido) De 24 a 240 Vac ± 10%, 50/60 Hz, 1A max, I2 t = 128A2sec  
Actual en la pérdida de 1,5 mA máximo a 200Vac.

- Un máximo de 4 puntos de disparo se puede ajustar como absoluto, desviación simétrica alarmas de desviación.
- La histéresis de las alarmas se configurables de forma individual.
- Alarma adhesiva con la exclusión del poder arriba, con la memoria, el retraso y el mínimo la intervención del tiempo. El punto de disparo se puede establecer en cualquier punto de la escala.
- Retransmisión analógica  
0 ... 10V, 0/4...20mA, a 500Ω max
- Resolución de 12 bits, útil para la retransmisión de la variable.
- Línea serie

- Aislado 2 / 4 hilos, RS422/485 interfaz (1200, 2400, 4800, 9600, 19200)  
Prot.: GEFTRAN CenCal o MODBUS

### **2.3.6 Fuente De Alimentación**

Estándar: 100 a 240Vac/dc  $\pm$  10% 18VA max

Opcional: 11 a 27Vac/dc  $\pm$  10% máximo 11VA

50/60 Hz, protegido por un fusible interno (No es reemplazable por el operador).

### **2.3.7 Potencia Del Transmisor De Suministro**

24  $\pm$  10% estabilizada, 50 mA

15V para el transmisor, 50 mA

1,2 V para el potenciómetro > 100 $\Omega$

### **2.3.8 Condiciones Ambientales**

Temperatura de trabajo: 0 a 50 ° C

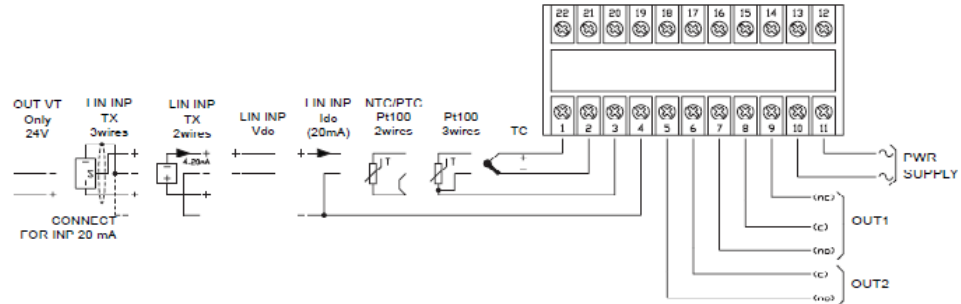
Temperatura de almacenamiento: -20 A 70 ° C

Humedad: 20 a 85% HR sin condensación

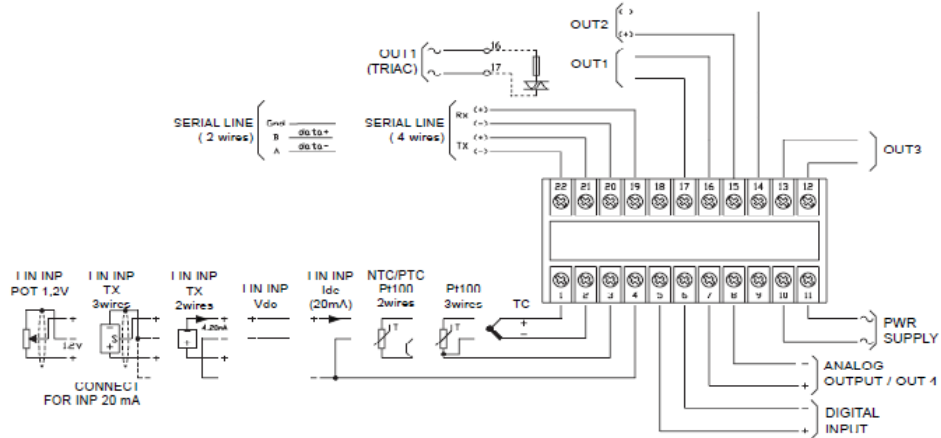
PESO 320g en la versión completa

## Ilustración 24. Diagrama de conexión

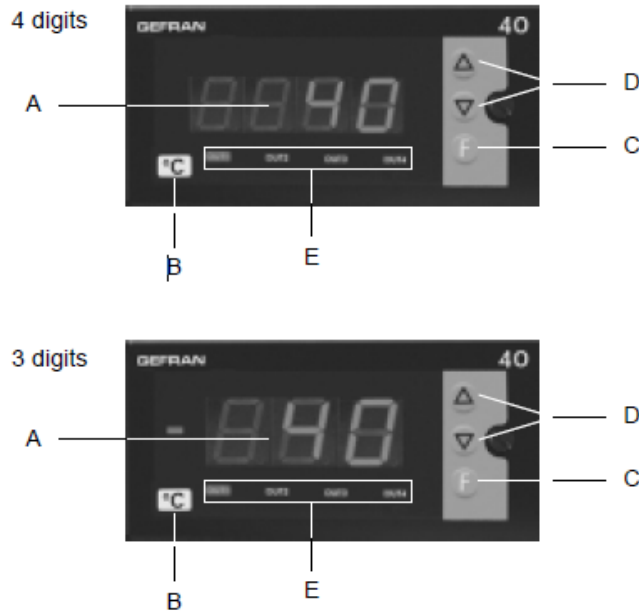
Version base with two relay of output (output 1, output 2 = 2R)



Expandible version



## Ilustración 25. Vista de descripción



- A - Indicación de proceso de variables dígitos h. 20mm  
(3 dígitos), 14mm (4 dígitos), pantalla de color rojo
- B - Etiqueta con unidad de ingeniería
- C - Tecla "Función"
- D - "Levante" y las teclas de "Baja"
- E - Indicación de los estados de las salidas, led rojo

## CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

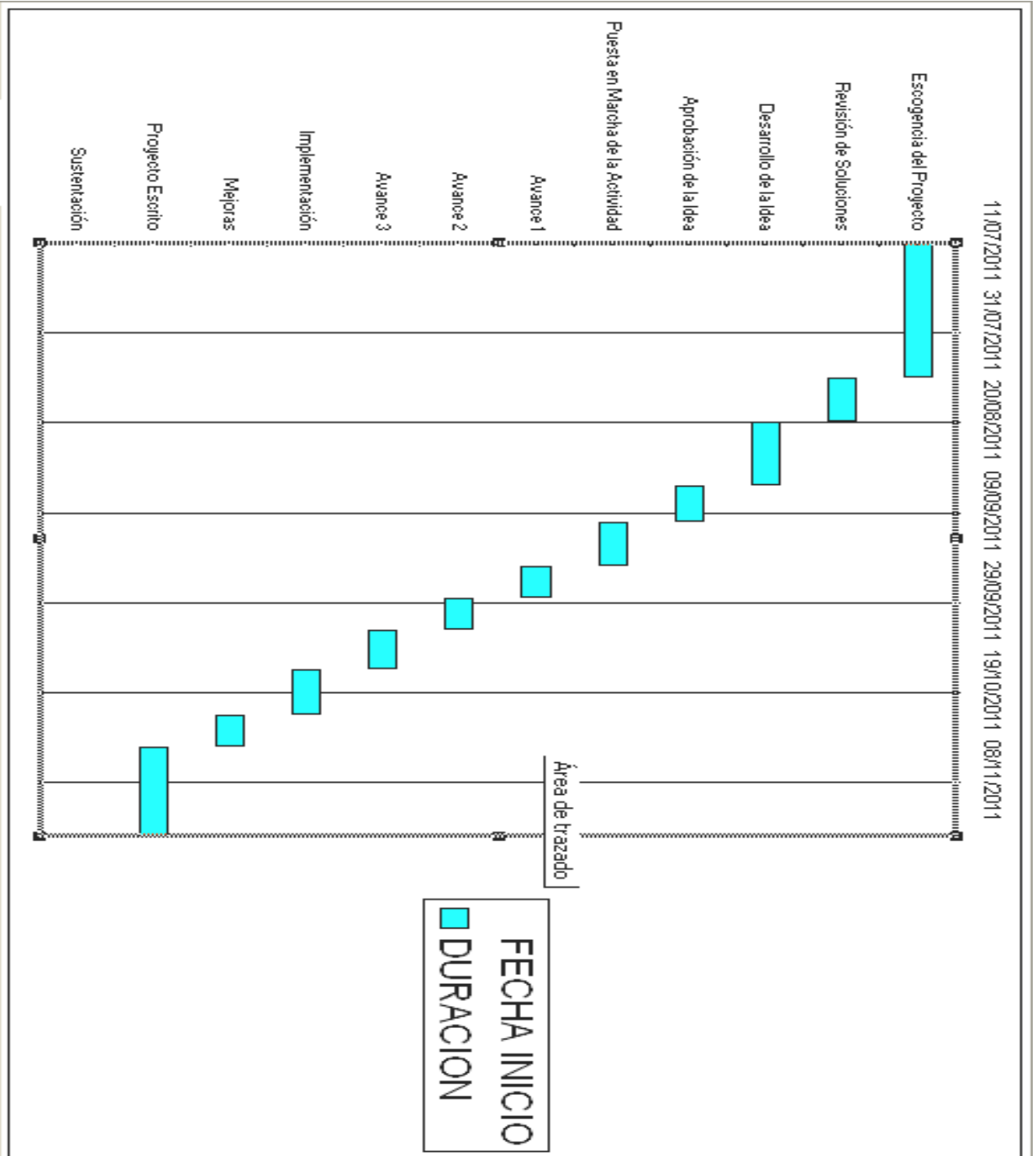


Tabla 4. Diagrama de Gant

### CAPITULO 3. IMPLEMENTACION

La implementación del sensor de corriente se basa fundamentalmente en el campo electromagnético producido por el trabajo de un motor trifásico, pasado por un transformador de corriente que toma este campo y lo convierte en un voltaje proporcional.

Ilustración 26. Moto reductor del tornillo



De acuerdo al numero de espiras con las que viene de fabrica en este caso 50/3, esta señal de voltaje la pasamos por un rectificador de precisión utilizamos un lm741 (amplificadores operacionales diodos y resistencias) logrando la misma señal con el mismo voltaje pero en corriente directa DC.

Ilustración 27. Transformador de corriente



La señal de salida de los operacionales la enviamos a un indicador de temperatura y alarmas con entrada universal.

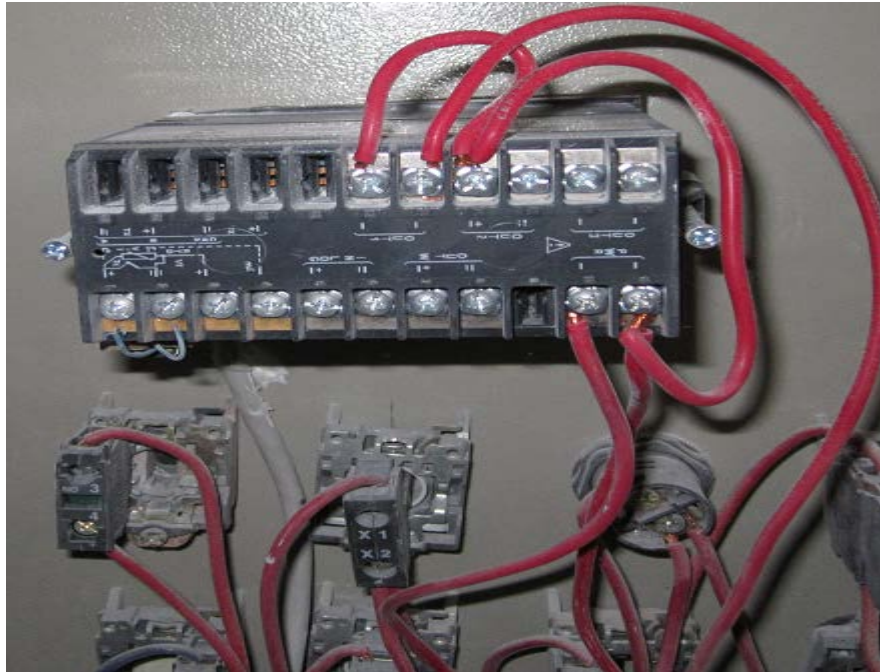
Ilustración 28. Indicador Gefran 40t96



Este instrumento puede leer la salida de voltaje proporcional que transmite el transformador con la señal ya rectificada por los operacionales. Con respecto al voltaje de entrada se configura el parámetro de entradas en el caso específico lineal entrada de 0 a 5 voltios, configurando el indicador la parte baja como (0) amperios y la parte alta como 50 amperios que es la máxima salida obtenida por nuestro transformador. Este

instrumento tiene la ventaja que se puede colocar y maniobrar a necesidad un set point de corte el cual maniobrara las salidas digitales (alarmas) bien sean abiertas o cerradas.

Ilustración 29. Conexiones Gefran 40 t 96



Estas salidas digitales se utilizan para el control de un relevo a 110 voltios el cual tiene un contacto (NO), normalmente abierto, el cual maniobra el cambio de una electro válvula 5/2 monoestable la cual cierra una válvula lenteja de 8" que es la que permite el control de carga del tornillo sin fin.



Ilustración 30. Tablero eléctrico

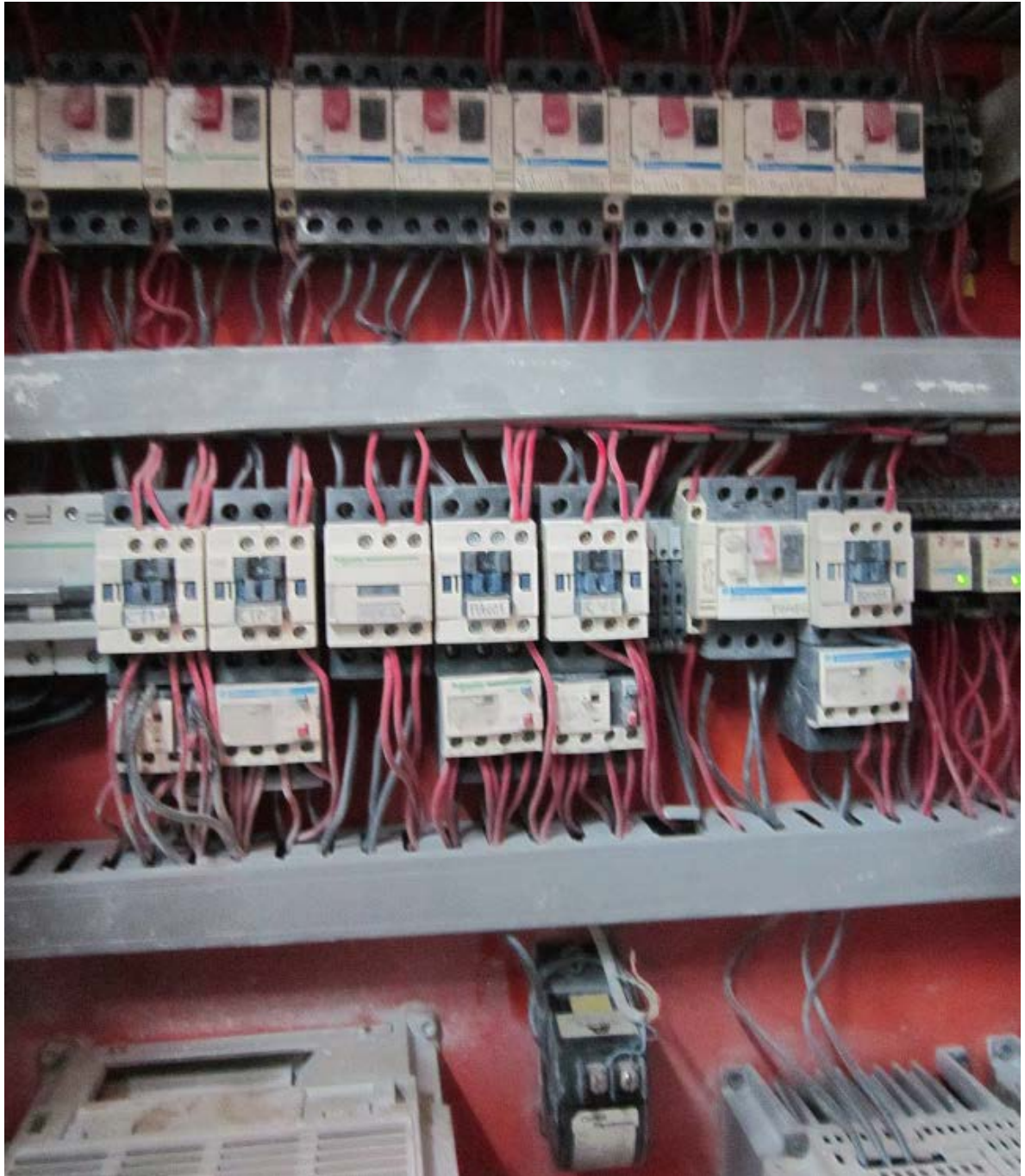


Ilustración 31. Válvula de carga del tornillo Sin Fin



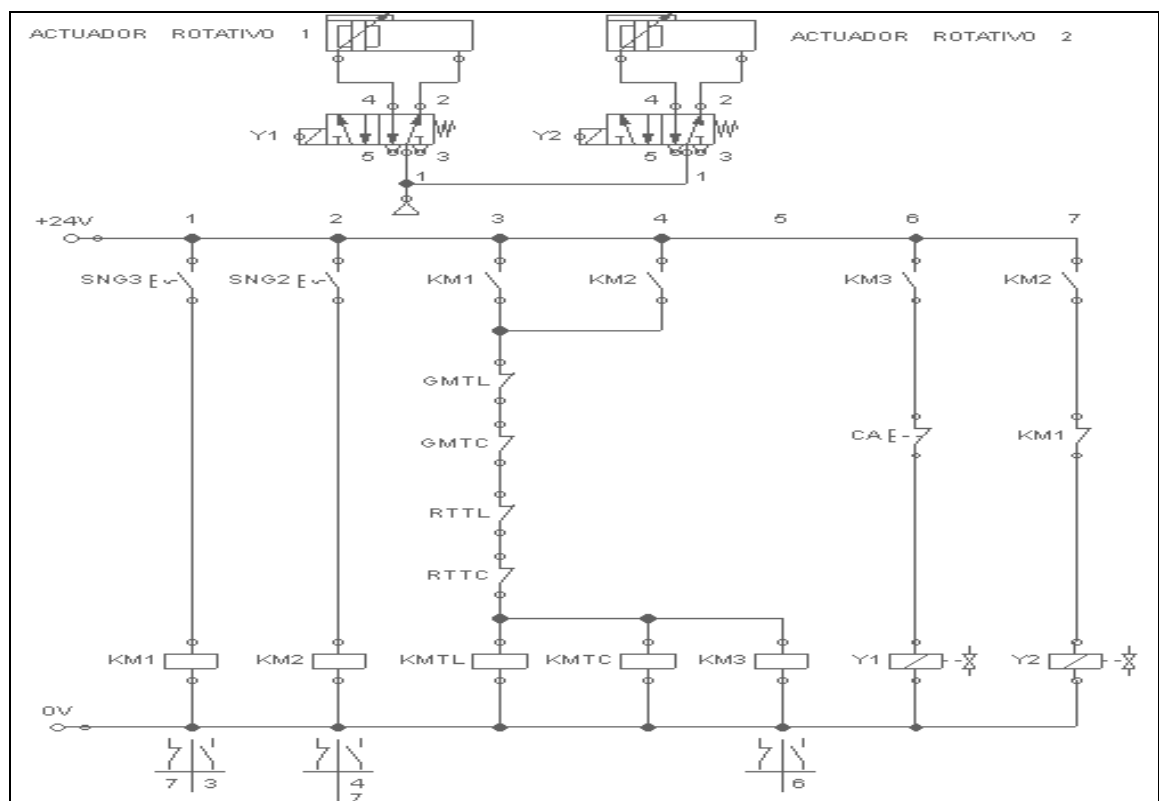
Ilustración 32. Tornillo Sin Fin desde plataforma



Tabla 5. Convenciones de Diagrama de Control

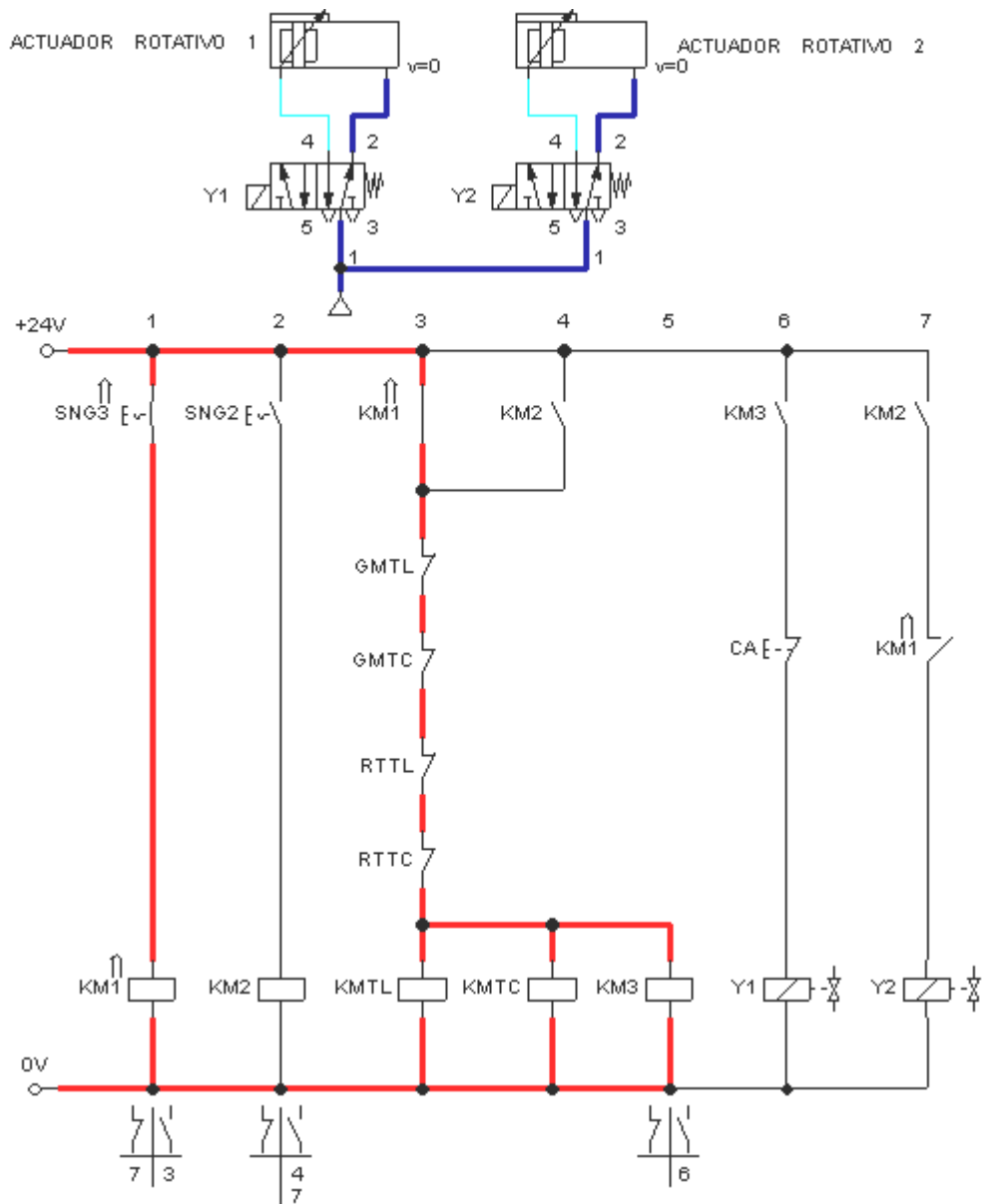
CONVENCIONES	
SNG3	SENSOR DE NIVEL GRAVIMETRICA 3
SNG2	SENSOR DE NIVEL GRAVIMETRICA 2
GMTL	BLOQUE AUX. GUARDAMOTOR TORNILLO LARGO
RTTL	RELE TERMICO TORNILLO LARGO
GMTC	BLOQUE AUX. GUARDAMOTOR TORNILLO CORTO
RTTC	RELE TERMICO TORNILLO CORTO
KMTL	CONTACTOR TORNILLO LARGO
KMTC	CONTACTOR TORNILLO CORTO
CA	CONTACTO CONTROL AMPERIMETRICO
Y1	BOBINA ELECTROVALVULA CARGA TORNILLO LARGO
Y2	BOBINA ELECTROVALVULA LLENADO GRAVIMETRICA 2

Ilustración 33. Diagrama de Control Válvulas Rotativas



El funcionamiento del dispositivo, inicia cuando los sensores de nivel SNG3 o SNG2 detectan que hace falta material en los silos de las gravimetrías y activan el movimiento de la moto reductora KMTL y KMTC.

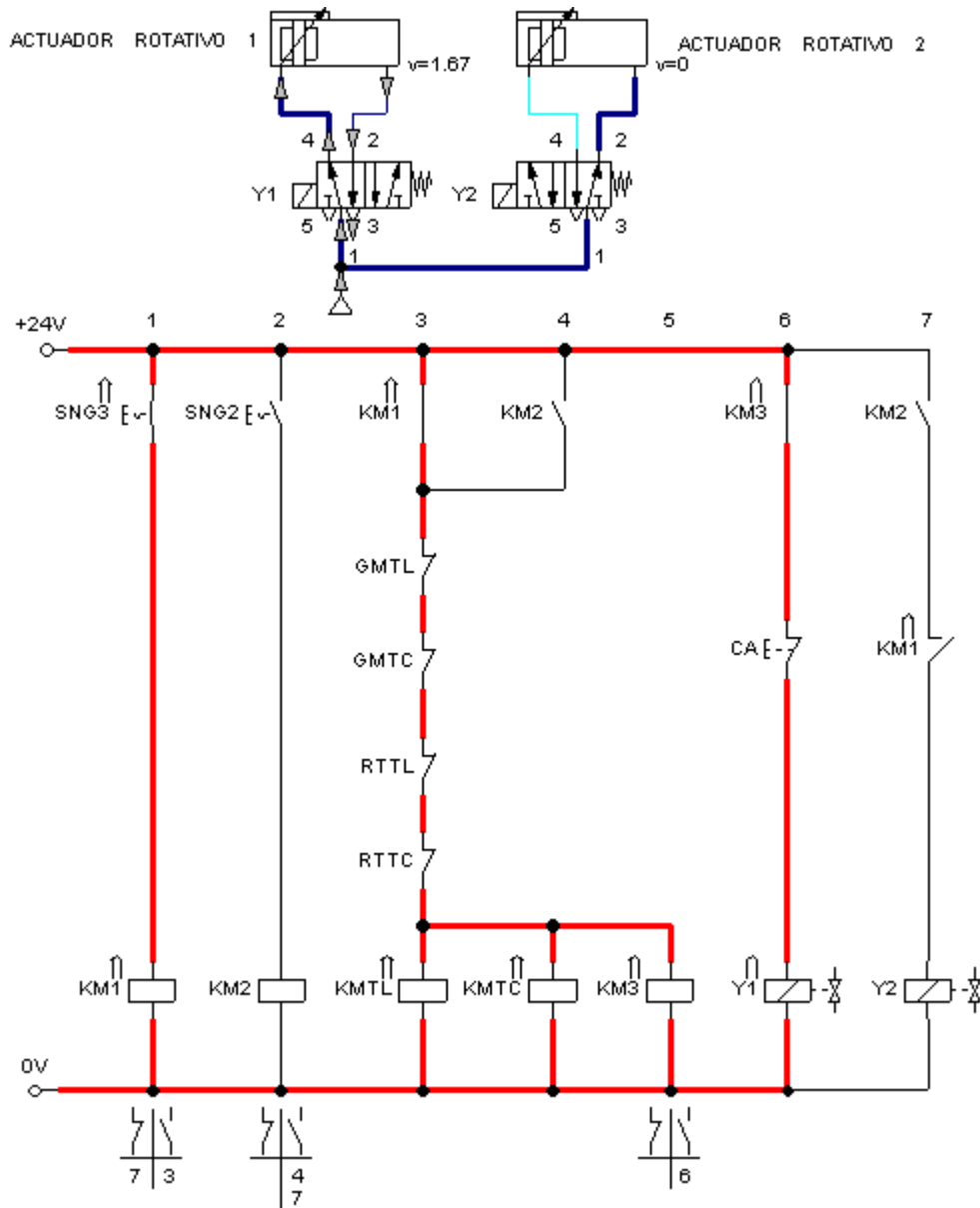
Ilustración 34. Funcionamiento Sensor de nivel Gravimetrica.



En el siguiente esquema se probara el funcionamiento de la gravimetrica 3.

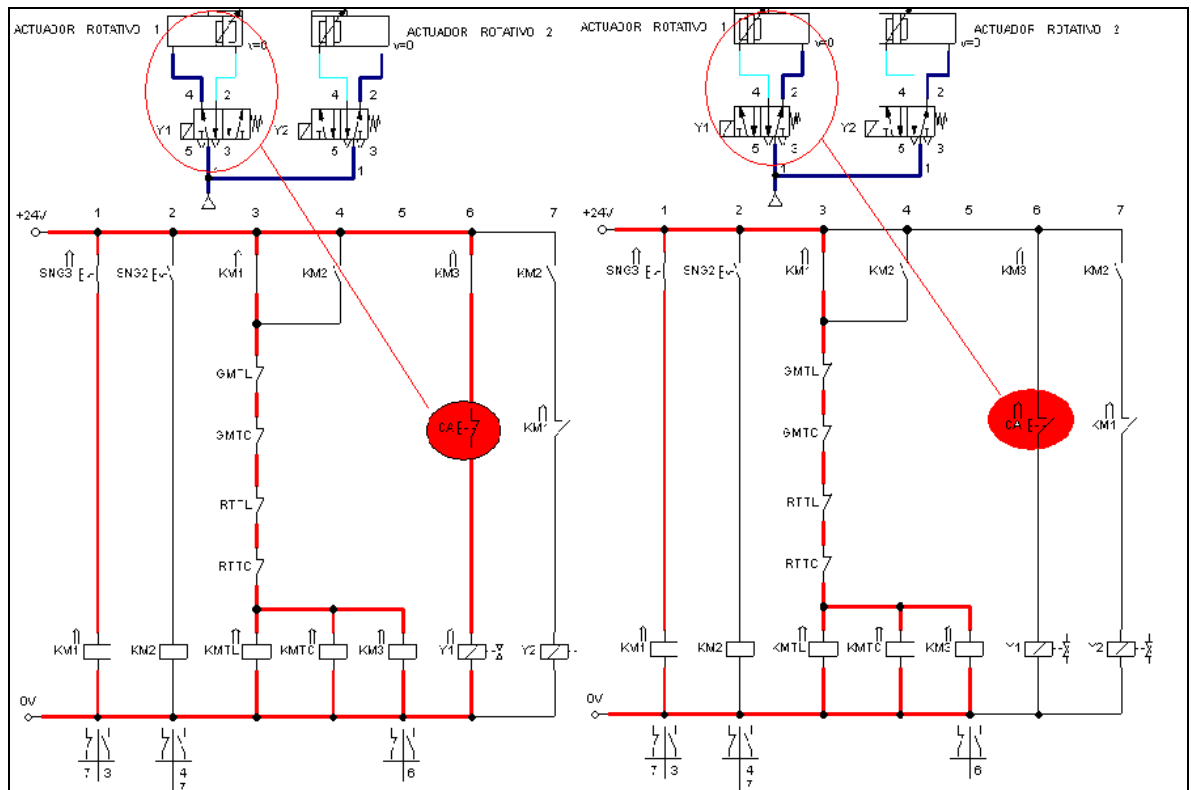
Al arrancar los moto reductores se activa también el cambio de estado de la electro válvula Y1 que proporciona la apertura de la válvula lenteja de carga del tornillo largo esta hecha por un actuador rotativo.

Ilustración 35. Cambio de Estado Actuador Rotativo



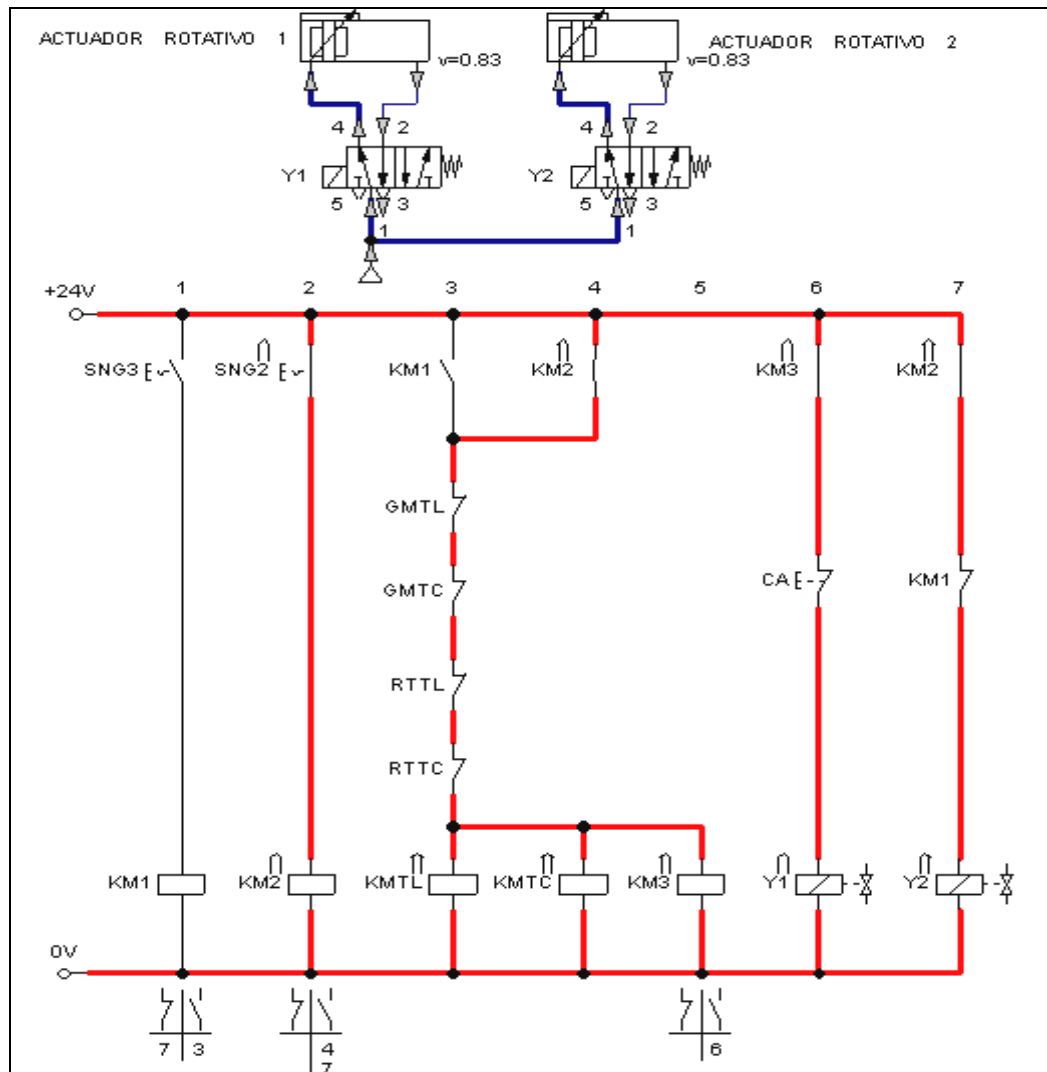
En el siguiente esquema podemos diferenciar cuando el contacto “CA” que es el que controla directamente el control amperimétrico, se activa por carga abriendo el contacto y retornando a la posición de cerrado el actuador rotativo y hasta cuando la corriente no baje no se vuelve a cerrar el contacto “CA”, Logrando evitar que el motor del tornillo largo se sobrecargue y genere el fallo de temperatura o de sobre corriente.

Ilustración 36. Inserción de Contacto de Sensor Ampirimétrico



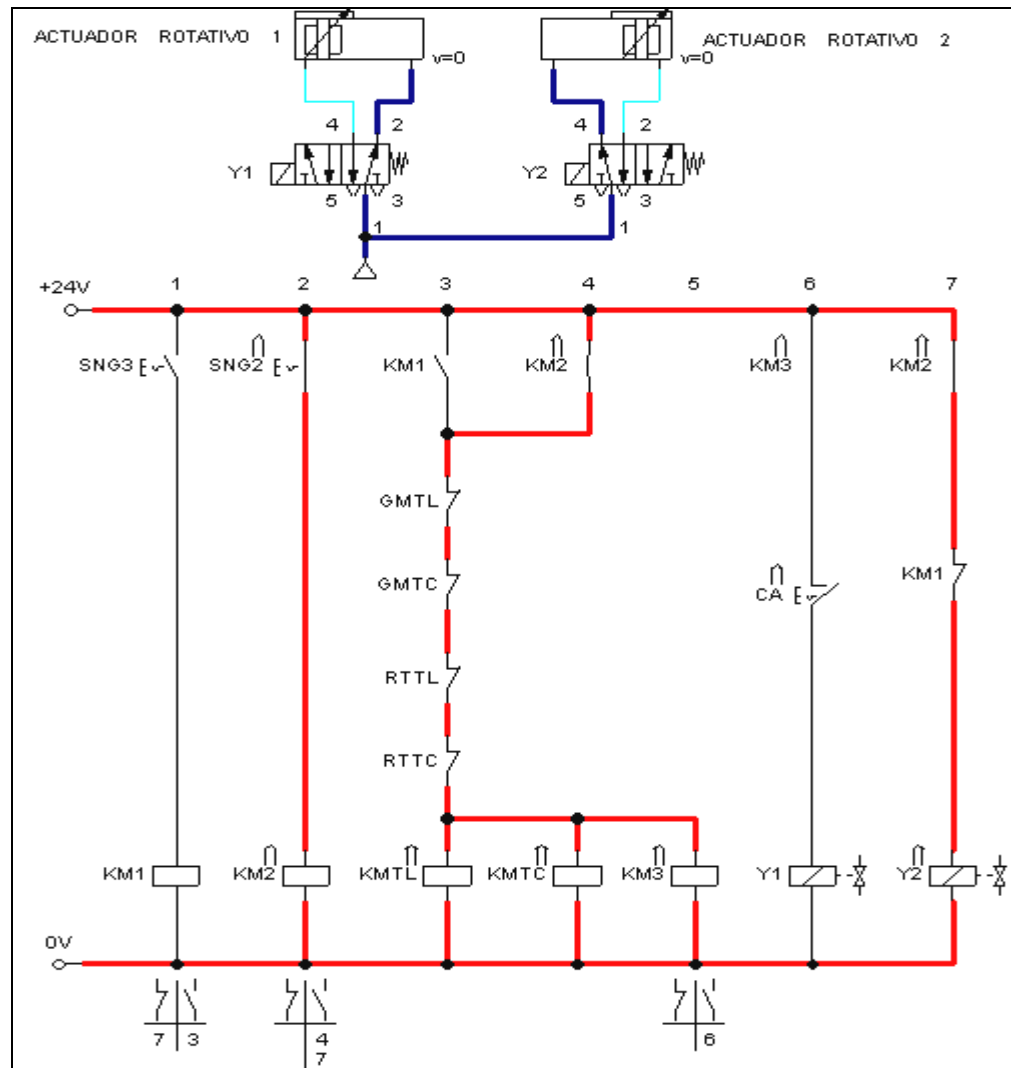
En el siguiente esquema utilizaremos el sensor de nivel de la gravimetrica 2 y observaremos que la única diferencia con la gravimetrica 3 es en el cambio de llenado “Y2”; prevalece siempre el llenado de la grav. 3 que es la que mas material consume.

Ilustración 37. prueba sensor de nivel gravimetrica 2



Ahora realizaremos la misma maniobra con el contacto del sensor amperimetro "CA" y obtendremos el mismo resultado que cuando utilizamos la grav.3.

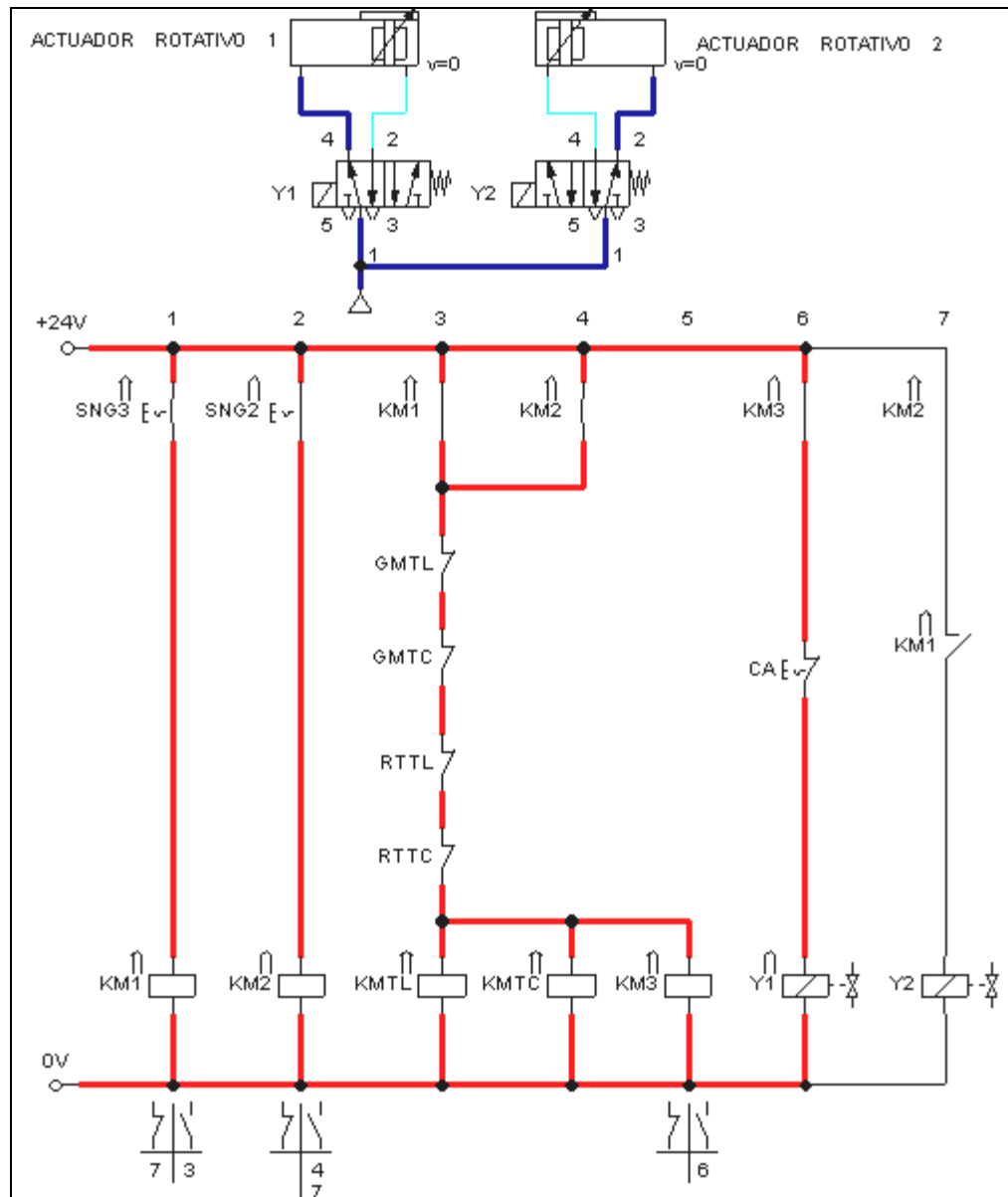
Ilustración 38. Prueba Control Amperimétrito Gravimetrica 2



Ahora incluiremos la gravimetrica 3 y observaremos el cambio en el actuador rotativo 2 que siempre tiene que llenar primero la grav.3 de sobre la grav 2.



Ilustración 39. Prueba Con Sensores De Nivel



Nota: para observar el funcionamiento completo en los anexos se puede encontrar la simulación en festo pneumim.

### 3.1 DISEÑO

El motor a trabajar tiene la siguiente tabla de referencia:

Motor marca	ABB
Kw	5
Hp	6.6
Rpm	1700
Amp Y 440 v	9.3 A
Amp Delta 220 v	19 A

De acuerdo a la tabla de referencia y sabiendo que la tensión trifásica manejada por la red es de 440 voltios podemos delimitar que la corriente nominal de este motor es de 9.3 amperios a plena carga y que es esta la máxima corriente de trabajo que debe alcanzar.

### 3.2 RECTIFICADOR DE PRESICIÓN

Lista de elementos:

2 amplificadores operacionales LM 741.

2 diodos 1n4001.

5 resistencias de 1K ohm a 1/8 W.

1 resistencia de 10K ohm a 1/8 W.

1 fuente externa dual con tap central 15, -15.

La experiencia con el rectificador de precisión comienza desde la teoría con un amplificador seguidor que al principio se cree que no se necesita para ninguna aplicación pero indagando bien es muy bien utilizado en la industria para darle seguimiento a señales de bajo voltaje y poderlas rectificar con un rectificador de precisión.

Todas las resistencias deben ser iguales.

$R1=R2=R3=R4=R5= 1K \text{ OHM}$ .

La resistencia de 10k OHM la colocamos al positivo del primer amplificador que va a tierra común, si se deja libre sin resistencia no genera la amplitud total de la onda en el semiciclo negativo.

Ilustración 40. Esquema sin Resistencia de Común

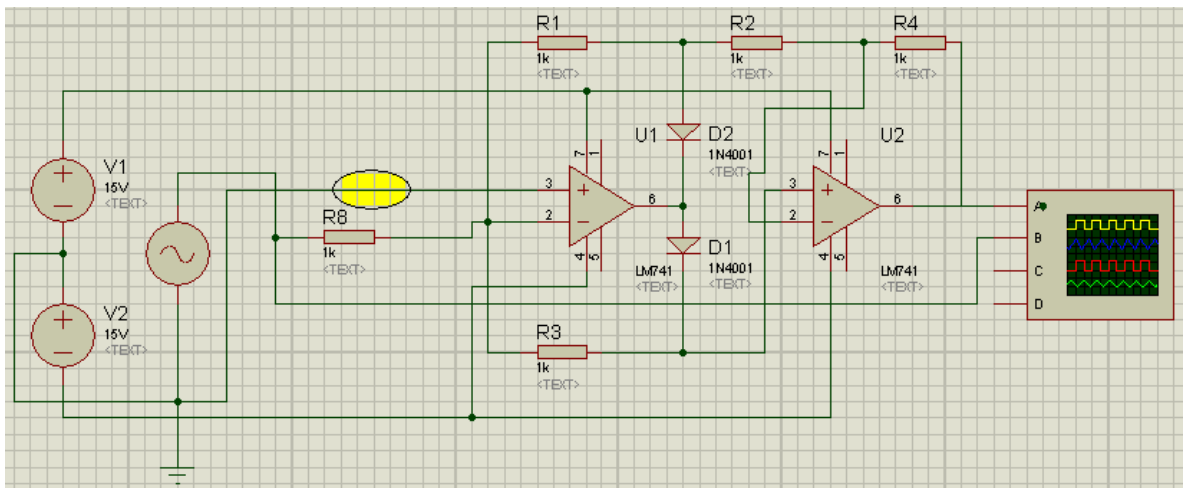
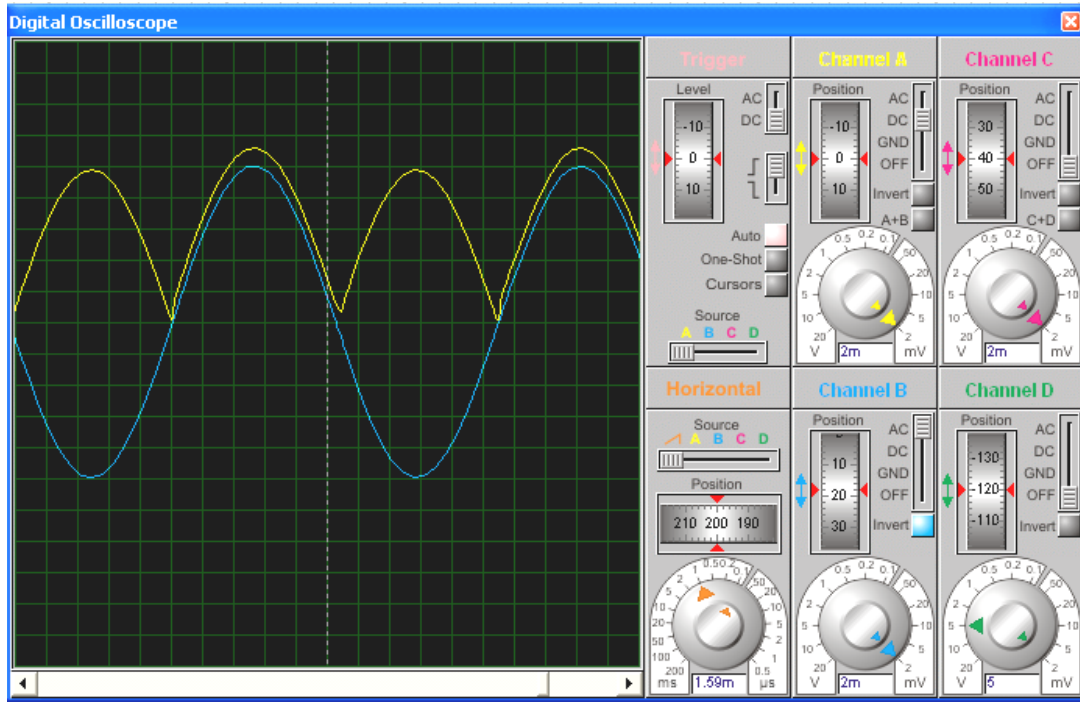


Ilustración 41. Onda Rectificada sin Resistencia de Común



En las siguientes 2 figuras se muestra el cambio de cuando se coloca la resistencia para el común de los amplificadores.

Ilustración 42. Esquema de Circuito Rectificador Completo

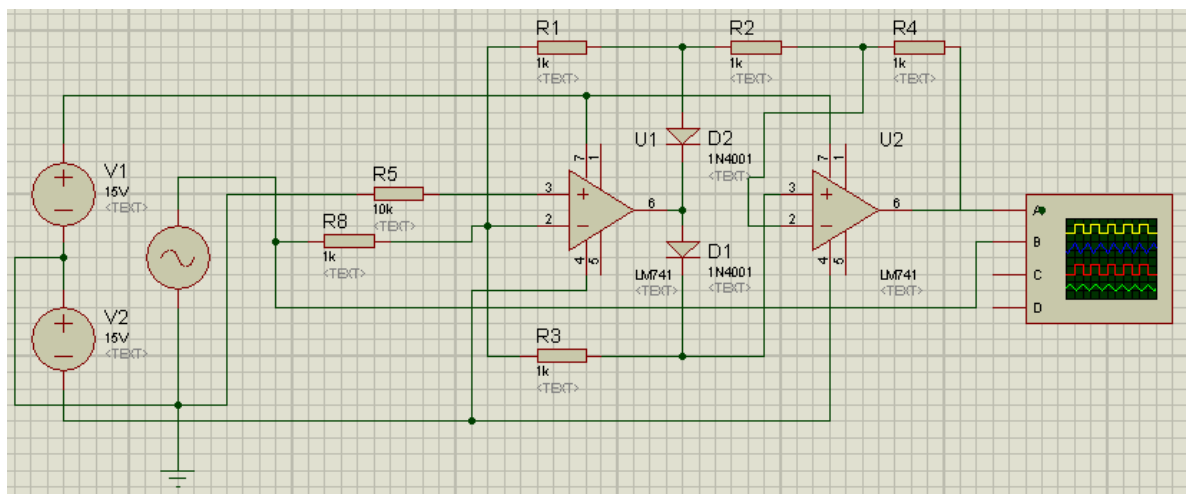
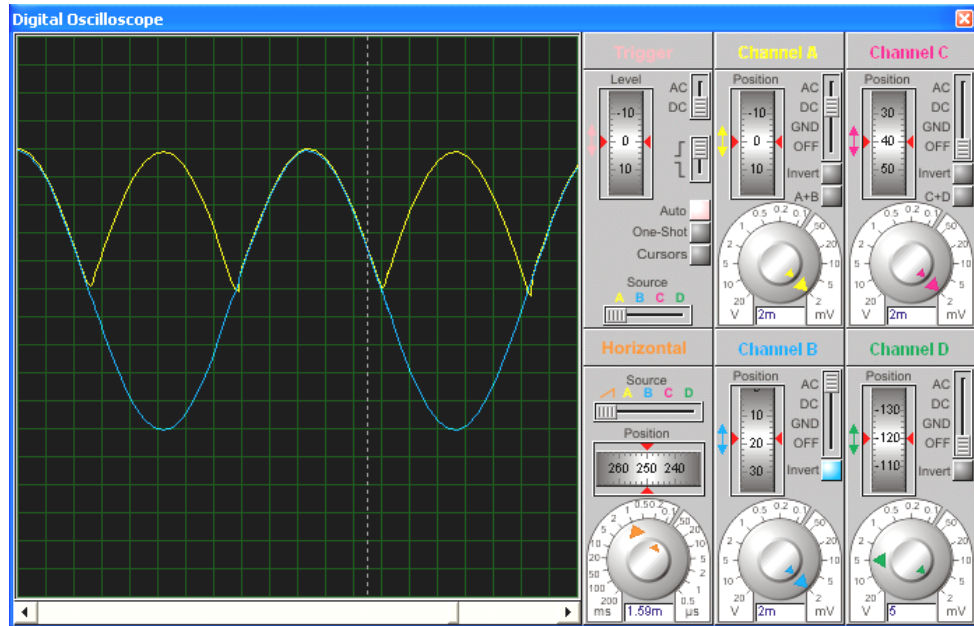
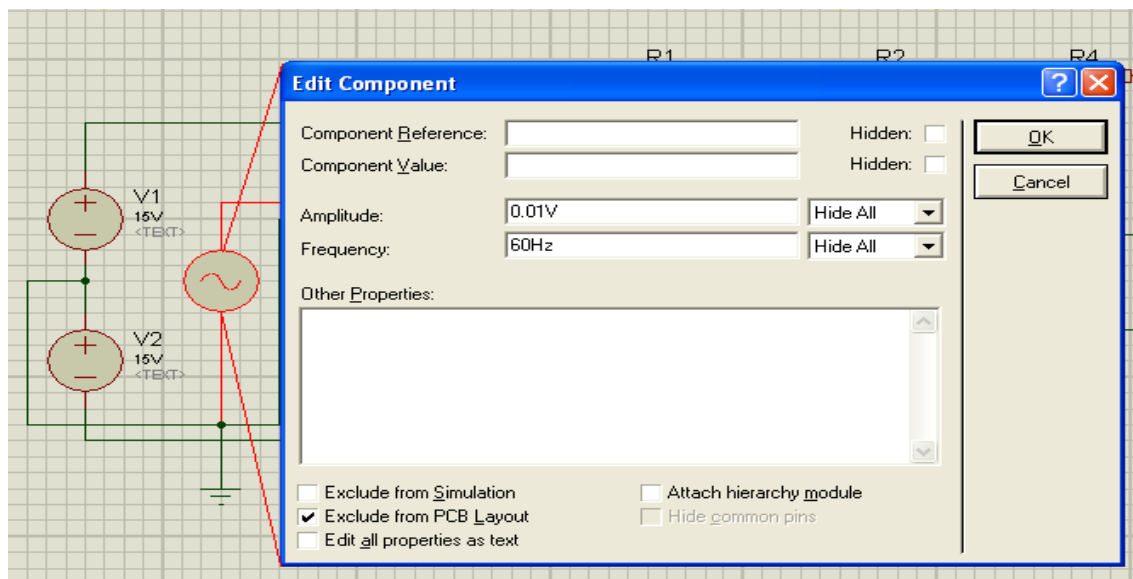


Ilustración 43. Onda Rectificador Completo



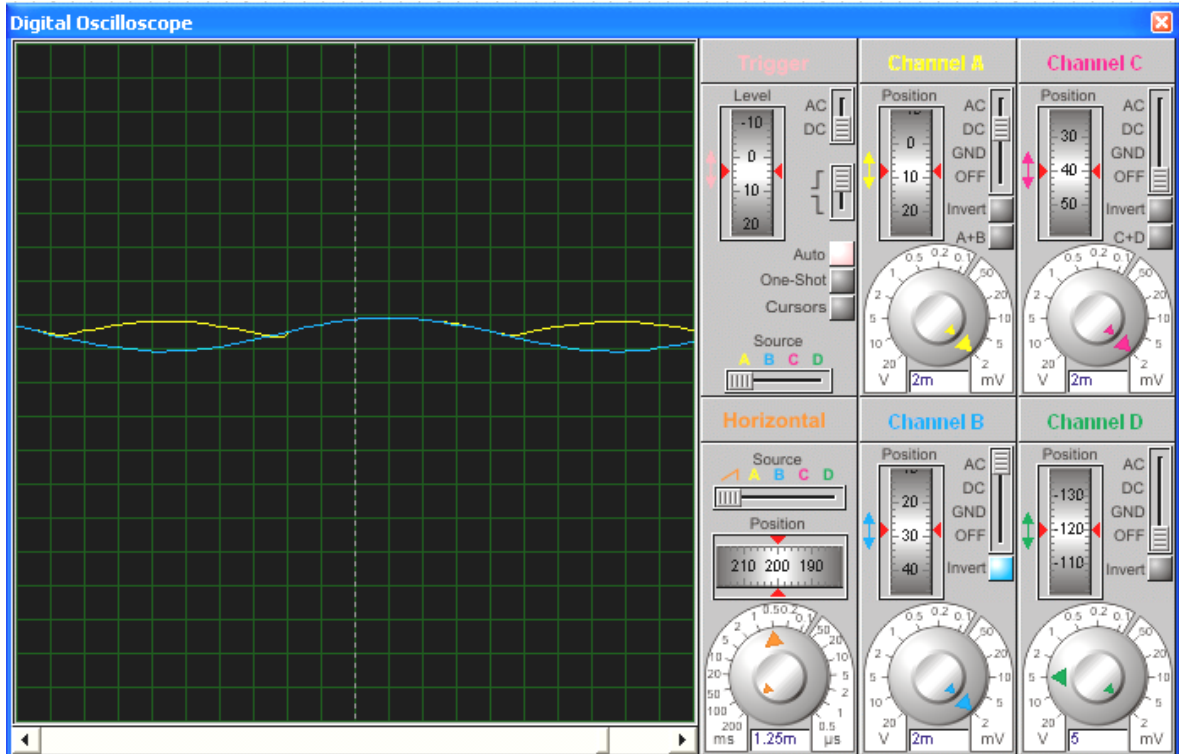
La siguiente ilustración muestra la salida del generador de acuerdo a la onda con una amplitud de 10mV a 60 Hz.

Ilustración 44. Ajuste Generador de Señal Senosoidal.



Esta simulación es con 1mV con un a frecuencia de 60hz y se observa la rectificación pulsante realizada por el rectificador de presicion

Ilustración 45. Gráfico de Onda Con 1mV



### 3.3 PRUEBAS DE CARGA

Estas pruebas se realizaron con los siguientes elementos:

1 taladro industrial (110 V con regulador de torque, desde 2 a 15 amperios)

1 pulidora industrial (110 V carga de entre 15 y 25 amperios al trabajo)

5 bombillos de 150w (110V cada bombillo consume 1.2 amperios).

1 transformador de corriente KBJ-03

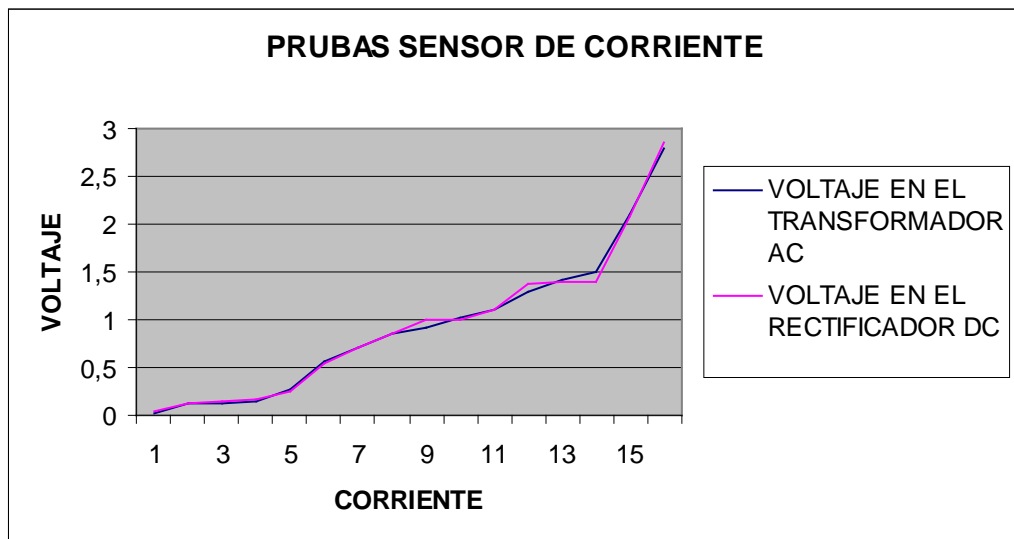
1 rectificador de presición.

1 multímetro digital fluye 665

Tabla 6. Prueba de Cargas.

TALADRO	PULIDORA	BOMBILLOS DE 150 W	VOLTAJE EN EL TRANSFORMADOR AC	VOLTAJE EN EL RECTIFICADOR DC
		1,2	0,02	0,05
2			0,12	0,12
		2,4	0,12	0,14
		3,6	0,15	0,17
4			0,28	0,26
		4,8	0,56	0,55
6		6	0,7	0,71
7			0,85	0,85
8			0,92	1
9			1,02	1
10			1,11	1,1
12			1,3	1,38
14			1,42	1,4
15	15		1,5	1,4
	20		2,1	2,09
	25		2,8	2,85

Ilustración 46. Comparación de Transformador con Rectificador.



Como podemos observar nuestro rectificador de presicion funciona correctamente aunque no sea lineal la salida de voltaje de nuestro transformador de corriente, el motor que manejamos tiene una corriente de 9.3 amperios, resaltado en la tabla de pruebas lo cual quiere decir que al indicador de alarmas con estrada universal Gefran 40T96 le colocaremos una entrada de 0 a 5 voltios con un set point a 1.1 voltios de entrada que son 10 amperios



## CONCLUSIONES

- Los transformadores de corriente son los elementos mas utilizado en la industria para la lectura de la corriente.
- La variedad de equipos y su alta versatilidad hacen la diferencia en el control de actuadores.
- La utilización de un puente rectificador de precisión para señales de muy bajo voltaje amplia el concepto de una señal y su mejor acondicionamiento y aprovechamiento.
- La utilización de indicadores de entrada universal y la versatilidad de uso y programación.
- El manejo de una programación en maquina con salidas digitales para el control de cualquier actuador.

## RECOMENDACIONES

1. Inspeccionar el funcionamiento del transformador y de la tarjeta de rectificación periódicamente.
2. Revisar el cableado tanto el de fuerza como el de control para evitar sulfataciones en los bornes y cortos circuitos.
3. Este sensor de corriente aplica para todo motor eléctrico que pueda sufrir este mismo problema de sobrecarga no solo por costo si no por la mejora de un proceso
4. La implementación de este sistema se acomoda a la necesidad, pero es necesario realizarle los ajustes para poder automatizar el equipo de manera que tenga comunicación con el PLC principal y este pueda gobernar.

## **BIBLIOGRAFIA**

MALONEY, Timothy J. Electrónica Industrial, Dispositivos y Sistemas, México, Prentice- Hall Hispanoamericana S.A, 1983.

FLOWER LEIVA, Luis. Controles y Automatismos Electrónicos, Teoría y Práctica, Novena edición, Bogotá, Panamericana Formas E Impresos S.A, 2005.

ELECTRONICS, INC. Semiconductors, Decimo Segunda Edición, Previous Edition, 2002.

## ANEXOS

- Anexo 1. Plano de fuerza y control de motor y electro válvulas tornillo alimentador de carbonato a silos gravimetricas 2 y 3.
- Anexo 2. Simulación en pneusim de festo de control de válvulas por actuador rotativo.
- Anexo 3. Plano del rectificador de precisión con Im 317
- Anexo 4. Catalogo de Instrumatic tipo de transformador de corriente jk 03 marca Ligth Star
- Anexo 5. Datashet amplificador operacional Im 317
- Anexo 6. Catalogo de precios sensores y similares (redes eléctricas industriales)
- Anexo 7. Catalogo de programación Gefran 40 t 96
- Anexo 8. Copia orden de producción a mantenimiento RECICLENE S.A. arreglo o cambio de motor tornillo sin fin carbonato
- Anexo 9. Simulación, Rectificador de Presición con Simulación de Ondas.

## INFOGRÁFIAS

[http://www.analog.com/static/imported-files/tech\\_articles/16792408482720MI\\_Issue3\\_2001\\_pg52-53\\_analog\\_Spanish.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/tech_articles/16792408482720MI_Issue3_2001_pg52-53_analog_Spanish.pdf)

[http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke\\_electromag/ke\\_electromag\\_3.htm](http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke_electromag/ke_electromag_3.htm)

[http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke\\_electromag/ke\\_electromag\\_2.htm](http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke_electromag/ke_electromag_2.htm)

[http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke\\_corriente\\_electrica/ke\\_corriente\\_electrica\\_1.htm](http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke_corriente_electrica/ke_corriente_electrica_1.htm)

[http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke\\_corriente\\_electrica/ke\\_corriente\\_electrica\\_2.htm](http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke_corriente_electrica/ke_corriente_electrica_2.htm)

[http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke\\_corriente\\_electrica/ke\\_corriente\\_electrica\\_3.htm](http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke_corriente_electrica/ke_corriente_electrica_3.htm)

[http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke\\_corriente\\_electrica/ke\\_corriente\\_electrica\\_4.htm](http://www.asifunciona.com/electrotecnia/ke_corriente_electrica/ke_corriente_electrica_4.htm)

[http://gefran.com/en/products/product\\_461.aspx](http://gefran.com/en/products/product_461.aspx)

<http://webs.uvigo.es/ario/docencia/eao/OPAMP1.pdf>

<http://www.directindustry.es/prod/tbb-power/relés-inteligentes-de-protección-de-motores-65229-474510.html>

<http://www.weg.net/cl/Productos-y-Servicios/Automatización/Comando-y-Protección-de-Motores/Rele-Inteligente-SRW01>

<http://www.weg.net/ar/Productos-y-Servicios/Automatización/Drives/Soft-Starter-SSW-06>

<http://www.directindustry.es/prod/ls-industrial-systems/arranadores-suaves-y-controladores-de-motor-19851-642042.html>