

Universidad Técnica Federico Santa María

Departamento de Ingeniería Eléctrica

Valparaíso - Chile



“MODELADO Y ACTUALIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA
TREFILADORA 040 COCESA”.

CAMILO JESÚS FONSECA HERNÁNDEZ

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTRICISTA

Profesores Guías

DR. ALEJANDRO ANGULO CÁRDENAS

ING. ALEJANDRO PORZIO LÓPEZ

17 de julio de 2022

Material de referencia, su uso no involucra responsabilidad del autor o de la Institución.

“Somos lo que hacemos día a día. De modo que la excelencia no es un acto sino un hábito.”
— Aristóteles

Agradecimientos

En nuestra vida siempre existen personas que conoces un día y al siguiente se van, hay otras que las conoces durante días, meses, años y hasta toda una vida y nunca dejas de conocerlas, estas personas son las importantes para el desarrollo de cada persona, estas personas que comparten tu andar por este mundo frívolo y lo hacen más agradable y amigable. Este pequeño agradecimiento es para todas aquellas personas que se han quedado a mi lado por largo tiempo sin importar si ya se fueron o no.

Quisiera agradecer especialmente a mi familia en especial a mi madre Marisol Hernández que siempre ha estado conmigo a pesar de mis errores y problemas brindándome el apoyo y la fuerza necesaria, además quisiera agradecer a algunos grandes amigos que me han acompañado durante estos años en especial a Cristian Cortes por su gran apoyo, a Claudio Zamorano y a Pedro Salgado por mostrarme que ningún muro es suficientemente alto que no se pueda cruzar, a Edson Contreras por su inquebrantable espíritu. Quizás se me quedan muchos en el tintero pero quisiera agradecer a todos los que me han ayudado y en especial a mis profesores de los cuales he obtenido un modelo de excelencia y constancia.

Finalmente, agradezco a ANID, que por medio del proyecto basal FB0008 “Advanced Center for Electrical and Electronic Engineering, AC3E” y el proyecto Fondecyt Regular N° 1210625, colaboró con el desarrollo de este trabajo.

Índice general

1. Introducción	1
2. Fundamentos para el análisis y el modelado del proceso	4
2.1. Línea de trefilado	4
2.1.1. Proceso de Trefilado	4
2.1.1.a. Trefilado en frío	5
2.1.1.b. Trefilado en caliente	5
2.1.2. Recocido	5
2.1.2.a. Recocido por cortocircuito	6
2.2. La línea 040	7
2.2.1. El problema de la línea 040	9
2.2.1.a. Fallas y Falta de confiabilidad	10
2.2.1.b. Sistema de control poco flexible	11
2.2.1.c. Variabilidad el producto	12
2.2.1.d. Falta de repuestos	12
2.3. Las consideraciones del control	13
2.3.1. Trefilado	13
2.3.1.a. Equipos que intervienen en el trefilado	13
2.3.1.b. Control del trefilado	14
2.3.2. Recocido	14
2.3.2.a. Equipos que intervienen en el recocido	14
2.3.2.b. Control del recocido	15
2.3.3. Almacenamiento receptor 1 (carrete)	15
2.3.3.a. Equipos que intervienen en el almacenamiento	15
2.3.3.b. Control del almacenamiento receptor 1	16
2.3.4. Almacenamiento receptor 2 (tambor)	17
2.3.4.a. Equipos que intervienen en el almacenamiento	17
2.3.4.b. Control del receptor 2	17
2.4. Producción y pérdidas de la línea 040	18
2.4.1. Producción antes de actualización de la línea	18
2.4.2. Pérdidas asociadas a la producción	18
2.5. Fundamentos teóricos para el modelado	18
2.5.1. Máquina de corriente continua	18
2.5.1.a. Ecuaciones de equilibrio eléctricas	19
2.5.1.b. Ecuaciones de equilibrio mecánicas	21
2.5.2. Controlador PID	21

2.5.2.a.	Ajuste de los controladores PID	23
3.	Modelado del proceso	25
3.1.	Estrategia de control propuesta	25
3.2.	Modelo del Trefilado	27
3.2.1.	Hipótesis de modelado	30
3.2.2.	Ajuste de Controladores PI de corriente del motor de trefilado	31
3.2.2.a.	Ajuste de Controlador PI con PID tuner de MatLab	31
3.2.3.	Ajuste de controlador PI de velocidad del motor de trefilado	34
3.2.4.	Pruebas de los controladores PI en el modelo del Drive	36
3.2.4.a.	Pruebas de control en modo control torque	36
3.2.4.b.	Pruebas de control en modo control de velocidad	37
3.3.	Modelo de recocido por Corto Circuito	37
3.3.1.	Hipótesis de modelado	38
3.3.2.	Ajuste de control PID	40
3.3.2.a.	Estimación de lazo abierto por Zigler-Nichols	40
3.3.2.b.	Prueba del PI de tensión	42
3.4.	Modelo receptor de carrete	42
3.4.1.	Hipótesis de modelado	42
3.4.1.a.	Ajuste PI de corriente con PID tuner del Control System Tool- box de MatLab	43
3.4.2.	Pruebas de controlador PI de corriente	45
3.5.	Modelo receptor de tambor	46
4.	Resultados de las simulaciones	47
4.1.	Primera simulación	48
4.1.1.	Resultados del trefilado	48
4.1.2.	Resultados del recocido	49
4.1.3.	Resultados del receptor de carrete	52
4.2.	Segunda simulación	54
4.2.1.	Resultados del trefilado	54
4.2.2.	Resultados del recocido	55
4.2.3.	Resultados del receptor de carrete	57
4.3.	Análisis de productividad de la línea 040	59
5.	Conclusiones	61
5.1.	Estrategia de Control	61
5.2.	Control de motores	62
5.3.	Modelado del proceso	63
Anexos		65

Índice de figuras

2.1. Proceso de trefilado	4
2.2. Horno para recocido de alambre de acero	6
2.3. Esquema básico del sistema de recocido por cortocircuito	6
2.4. Composición del proceso de trefilado de la línea 040	7
2.5. Componentes del área de recocido	8
2.6. Parte del sistema de control obsoleto de la línea 040	10
2.7. Panel de control antiguo	11
2.8. Entregador de carrete no controlado	13
2.9. Entregador de torre no controlado	14
2.10. Diagrama esquemático de la maquina de corriente continua [1]	20
2.11. Circuito equivalente de la maquina de corriente continua	20
2.12. Controlador PID paralelo	22
2.13. Respuesta escalón para ajuste de PID [2]	23
2.14. Tabla de sintonizacion Ziegler-Nichols [2]	23
2.15. Forma de onda esperada para aplicación de método de Ziegler-Nichols de lazo cerrado [3]	24
2.16. Tabla de sintonización de Ziegler-Nichols de lazo cerrado [3]	24
3.1. Primer diagrama de control propuesto	25
3.2. Segundo diagrama de control propuesto	26
3.3. Selección de datos acorde a los calibres de trabajo de la trefiladora C-13	27
3.4. Diagrama esquemático de la disposición de poleas y dados al interior de la trefiladora	30
3.5. Diagrama de bloques del sistema de control interno del <i>drive</i> DC4 de SIMSCA-PE de Simulink	32
3.6. Diagrama equivalente para máquina DC	32
3.7. Modelo en Simulink del PI de corriente	33
3.8. Ajuste de PI de corriente de motor del trefilado	34
3.9. Diagrama de bloques de control de velocidad del motor del trefilado	35
3.10. Ajuste de PI de velocidad del motor de trefilado	35
3.11. Modelo para pruebas de control de torque con ajustes de controladores PI	36
3.12. Respuesta de control de torque del motor de trefilado	36
3.13. Modelo utilizado para probar el control de velocidad del motor del trefilado	37
3.14. Respuesta del control de velocidad motor de trefilado	37
3.15. Diagrama que representa la disposición de los triac respecto a los devanados del transformador	38
3.16. Modelo del proceso de recocido	40

ÍNDICE DE FIGURAS

3.17. Respuesta de planta en lazo abierto para usar método de Ziegler-Nichols	40
3.18. Formulas de Ziegler-Nichols para lazo abierto	40
3.19. Respuesta de lazo abierto del convertidor de recocido	41
3.20. Prueba dinámica del recocido	42
3.21. Modelo utilizado para ajustar el PI de corriente del recibidor de carrete	43
3.22. Ajuste de PI de corriente recibidor de carrete	44
3.23. Modelo simplificado para las pruebas de controlador PI	45
3.24. Respuesta de control del motor del recibidor 1	45
4.1. Dinámica de variables mecánicas de la trefiladora, simulación 1	48
4.2. Dinámica de variables eléctricas de la trefiladora, simulación 1	49
4.3. Dinámica de tensión del recocido y ángulo de disparo, simulación 1	50
4.4. Tensión en devanados primario y secundario del transformador de recocido, si- mulación 1	51
4.5. Forma de onda a la entrada y salida del rectificador.	51
4.6. Tensión del hilo de cobre en el proceso de trefilado, simulación 1	52
4.7. Dinámica de variables eléctricas motor recibidor de carrete, simulación 1	53
4.8. Dinámica de variables mecánicas motor recibidor de carrete, simulación 1	53
4.9. Dinámica de variables mecánicas de la trefiladora, simulación 2	54
4.10. Dinámica de variables eléctricas de la trefiladora, simulación 2	55
4.11. Dinámica de tensión del recocido y angulo de disparo, simulación 2	55
4.12. Tensión en devanados primario y secundario del transformador de recocido, si- mulación 2	56
4.13. Señales de entrada y salida del rectificador	56
4.14. Tensión del hilo de cobre en el proceso de trefilado, simulación 2	57
4.15. Dinámica de variables eléctricas motor recibidor de carrete, simulación 2	58
4.16. Dinámica de variables mecánicas motor recibidor de carrete, simulación 2	58

Índice de Tablas

3.1. Esta tabla muestra los diámetros del hilo de cobre a medida que pasan por los distintos <i>dados</i> y las reducciones de área correspondientes a cada dado para una salida de 13 <i>AWG</i>	28
3.2. Esta tabla muestra los diámetros del hilo de cobre a medida que pasan por los distintos <i>dados</i> y las reducciones de área correspondientes a cada dado para una salida de 18 <i>AWG</i>	29
3.3. Características eléctricas del motor DC modelado para la trefiladora	31
3.4. Datos del transformador de recocido	39
3.5. Datos del rectificador de recocido	39
3.6. Datos del controlador de recocido	39
3.7. Caracterización del motor del receptor 1	44
4.1. Datos para la primera simulación	47
4.2. Datos para la segunda simulación	47
4.3. Tabla comparativa de la productividad y pérdidas antes y después de la actualización del sistema de control	60

Capítulo 1

Introducción

El mercado de los materiales eléctricos siempre se encuentra en proceso de evolución constante para obtener mejores productos y utilidades en una férrea competencia por el liderazgo del sector. En este duro mercado marcado por las nuevas prestaciones de los productos, menores costos de producción y producciones personalizadas acorde a las necesidades de cada cliente, nos encontramos con la industria nacional del cable. Esta industria fue liderada originalmente por tres compañías: MADECO, COVISA y COCESA. Estas empresas, inicialmente de capitales completamente nacionales, han pasado en su mayoría a ser filiales de multinacionales tales como General Cable, Nexans, Phelps Dodge y Prismian Group entre otras. Destaca el hecho de que entre ellas se han fusionado o asociado en más de alguna ocasión. Este es el caso de la empresa nacional Cobres Cerrillos S.A. (COCESA), la cual fue fundada en 1950 con el objetivo de manufacturar productos de cobre, aluminio y sus aleaciones.

La empresa COCESA durante más de 65 años se ha dedicado a la fabricación de conductores de cobre y aluminio, pero es en el año 1968 cuando se asocia con la firma norteamericana *Phelps Dodge Corporation* en esos años uno de los líderes mundiales de la minería del cobre, cuyo mercado abarcaba desde la explotación minera hasta la comercialización de cables eléctricos y otros productos industriales. A pesar de tener este gran aliado, el mercado está en constante cambio, es así como en 2007 COCESA pasa a formar parte de la multinacional General Cable, una de las principales compañías del mundo que desarrolla, diseña, manufactura, comercializa y distribuye cables de cobre, aluminio y fibra óptica en los segmentos de energía, industria, especialidades y comunicaciones. Cabe destacar que la filial chilena de General Cables solo manufactura productos para baja, media y alta tensión dejando de lado la fabricación de cables de instrumentación y comunicaciones a sus filiales en Perú y Colombia.

En este contexto COCESA ha solicitado a la empresa INSAA una actualización y *overhaul* de la línea productiva 040 de la planta N°1, lugar donde se encuentra emplazada la trefiladora intermedia C13, cuyo sistema de control data de los años '80. Las razones más importantes para realizar esta actualización son:

- Baja productividad de la línea (velocidad de producción actual 500 *m/min*).
- Demasiadas paradas no programadas para mantenimiento correctivo (1 a 3 días a la semana).
- Problemas de mantenimiento: escasez de repuestos, tiempos de detención demasiado largos, etc.

- Dificultad de operación (requiere demasiado tiempo y material para entrenamiento de operadores).

Además se espera que una vez terminada la actualización del sistema de la línea 040, esta tenga las siguientes características:

- Velocidad de producción entre 900 *m/min* y 1200 *m/min*.
- Reducir las paradas no programadas a una o menos mensual.
- Reducción del SCRAP en un 10 % (pérdida de material).
- Operación fácil con *Set-Point* único, válido para toda velocidad de operación.

Objetivos

Objetivo general

Proponer una estrategia de control que permita mejorar el rendimiento, aumentar la continuidad y disminuir las pérdidas de material de la línea de trefilado 040, instalada en la Planta 1 de Cobres Cerrillos S.A. filial de General Cable.

Objetivos específicos

- Analizar la situación operacional actual de la trefiladora 040, cuantificando las brechas de rendimiento, continuidad operacional y pérdidas de material.
- Modelar el comportamiento de la trefiladora 040, considerando el recocido por cortocircuito, e incluyendo accionamientos, máquinas y esquemas de control.
- Validar el modelo propuesto, contrastando los resultados simulados con los registros históricos del proceso.
- Proponer una estrategia de control capaz de disminuir las pérdidas de la línea y asegurar uniformidad del producto, sin sacrificar eficiencia operacional.
- Implementar y evaluar el desempeño de la propuesta mediante simulación computacional, cuantificando las mejoras obtenidas mediante indicadores pertinentes.

Estructura del documento

Este documento se divide en cinco capítulos que buscan desarrollar un modelo computacional y una estrategia de control acorde para controlar los accionamientos de las distintas máquinas para lograr una operación más productiva y continua para la línea de trefilado 040 de Cobres Cerrillos S.A. En los anexos se encuentra la información complementaria a este estudio, tales como los planos de la implementación real del sistema de control, detalles del modelo realizado junto a sus parámetros, además de fotos del sistema real. A continuación, el detalle del presente estudio:

Capítulo 2 expone la descripción del proceso y los fundamentos para su análisis y modelado del proceso.

Capítulo 3 presenta la estrategia de control propuesta y el procedimiento que se tomó para modelar el proceso por cada una de los componentes de la línea.

Capítulo 4 muestra los resultados obtenidos de las simulaciones para distintas condiciones de operación.

Capítulo 5 expone las conclusiones y análisis obtenidos del estudio.

Capítulo 2

Fundamentos para el análisis y el modelado del proceso

2.1. Línea de trefilado

2.1.1. Proceso de Trefilado

El trefilado es un proceso para reducir la sección transversal de un material, dicho proceso consta de múltiples etapas donde el material va reduciendo su sección poco a poco. En este caso el alambre de cobre pasa a través de distintos “dados” (piezas metálicas con orificios cónicos) los cuales disminuirán paulatinamente la sección del alambre hasta tener el calibre deseado.

El proceso de trefilado es de forma escalonada y cada uno los “dados” disminuye su sección transversal en pasos de 20 a 25 % (ver Figura 2.1), de esta forma se evita el corte de material pudiendo así mantener un proceso continuo. La característica principal de este proceso es que genera un torque inverso constante, debido a esto, a medida que aumentamos la velocidad de trefilado la potencia necesaria subirá proporcional a esta.

Durante el proceso de trefilado los “dados” ejercen trabajo sobre el alambre para poder disminuir su sección. Esto genera un gran roce que hace necesaria la refrigeración y lubricación para facilitar el proceso. Si bien es posible lograr el trefilado sin estos elementos, al no tenerlos es imposible desarrollar un proceso continuo debido al sobrecalentamiento de los orificios. Esto, junto con la fricción, terminarán dañando los “dados”, deformando su orificio de salida y alterando el calibre del hilo de cobre. Además, al no lograr una buena lubricación, el torque necesario para arrastrar el hilo de cobre es mayor pudiendo producirse rupturas en el material.

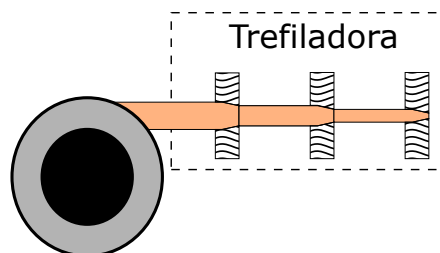


Figura 2.1: Proceso de trefilado

2.1.1.a. Trefilado en frío

El trefilado en frío, como su nombre indica, es un proceso de trefilado en el cual el material se encuentra a temperatura ambiente, lo que provoca que a medida que pasa por las distintas etapas del trefilado el material en cuestión se va volviendo rígido debido a que el proceso de acomodación para adquirir el diámetro de salida en cada etapa, lo que genera tensiones internas en el material provocando que este sea menos dúctil cada vez que pasa por un “dado”. Por esta razón que el proceso no puede ser muy largo, es decir, si el cambio de sección desde la entrada hasta la salida de la trefiladora es demasiado grande el material no tendrá la capacidad de deformarse lo suficiente y se cortará.

Para evitar el corte de material se debe dividir el proceso de trefilado y añadir un proceso de recocido entre los procesos de trefilado, de esta forma se alivian las tensiones del material y este recupera la ductilidad necesaria para continuar con el trefilado.

2.1.1.b. Trefilado en caliente

El trefilado en caliente, se realiza a altas temperaturas para aprovechar la alta ductilidad de los materiales. Cabe señalar, que a medida que avanza el trefilado el material se enfriará a la vez que va perdiendo ductilidad, esto hace necesario recalentar el material en etapas intermedias si el proceso es muy largo. Dicho tipo de trefilado normalmente se aplica a materiales poco dúctiles tales como el acero.

2.1.2. Recocido

El recocido es un tratamiento térmico cuya finalidad es el ablandamiento, la recuperación de la estructura cristalina o la eliminación de tensiones internas de los materiales generalmente en metales. Cualquier metal que haya sido tratado tiene como resultado una alteración de las propiedades físicas del mismo. El recocido consiste en calentar el metal hasta una determinada temperatura para después dejar que se enfríe lentamente, habitualmente, apagando el horno y dejando el metal en su interior para que su temperatura disminuya de forma progresiva (ver Fig. 2.2). El proceso finaliza cuando el metal alcanza la temperatura ambiente. Mediante la combinación de varios trabajos en frío y varios recocidos se pueden llegar a obtener grandes deformaciones en metales que, de otra forma, no podríamos conseguir. [4]



Figura 2.2: Horno para recocido de alambre de acero

2.1.2.a. Recocido por cortocircuito

El recocido por cortocircuito es un tratamiento térmico donde se utiliza corriente eléctrica para realizar el recocido, el cual tiene como fin principal ablandar el metal usando el efecto Joule para generar calor en los materiales y regenerar la estructura cristalina de estos, debido a que han acumulado tensiones internas y que es imprescindible eliminarlas, en el caso del cobre, para obtener un cobre de alta conductividad eléctrica es necesario recocer o revenir el metal. [5]

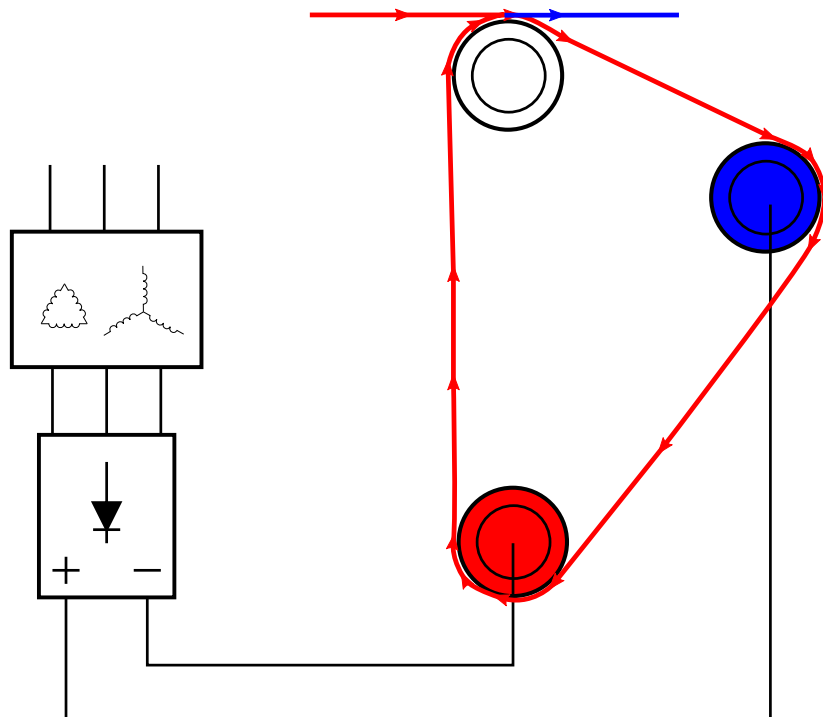


Figura 2.3: Esquema básico del sistema de recocido por cortocircuito

2.2. La línea 040

La empresa General Cable COCESA posee una línea de trefilado compuesta por cinco elementos principales (ver Fig. 2.4):

1. Entregador (no controlado)
2. Trefiladora C-13.
3. Cámara de recocido por cortocircuito.
4. Recibidor de carrete (*Recibidor 1*).
5. Recibidor de tambor (*Recibidor 2*).

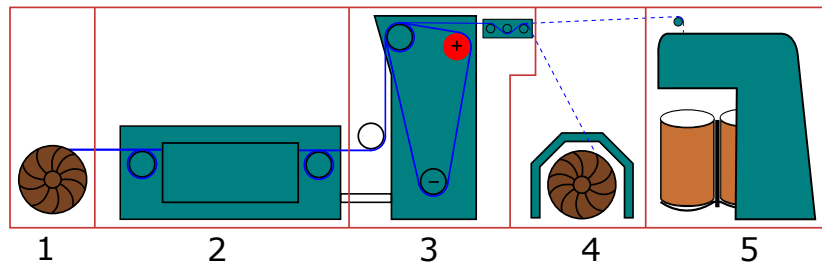


Figura 2.4: Composición del proceso de trefilado de la línea 040

La trefiladora intermedia modelo C-13 de Syncro Machinery CO. es la única trefiladora que trabaja las medidas intermedias en la empresa. Debido a esta condición es de gran importancia para el proceso de producción en general. Los calibres procesados por esta línea de producción son principalmente de cobre recuperado de otros procesos. Esto quiere decir que la máquina tiene por función bajar las pérdidas de material, reinsertando deshechos en la línea productiva, y bajando con esto los costes productivos.

La cámara de recocido es bastante simple (ver Fig 2.5), son básicamente un par de poleas energizadas inmersas en una atmósfera de nitrógeno gaseoso y una cámara de enfriamiento líquido. La atmósfera de nitrógeno se usa para evitar el envejecimiento del cobre por oxidación durante el recocido. Esto quiere decir que cuando el cobre se calienta a altas temperaturas (adecuadas para el recocido), el material tiende a reaccionar con el oxígeno del ambiente. La capa superficial del hilo de cobre comienza a oxidarse y se observa que el color del hilo cambia tornándose un poco más oscuro.

La cámara de enfriamiento líquido es parte de la cámara de recocido y tiene por función enfriar el hilo de cobre para que este no se oxide fácilmente. Además, controla la temperatura del material para evitar potenciales riesgos del operador de la línea. Esta cámara es refrigerada directamente por una solución de agua y aceite, normalmente llamada lechada debido a su color blancuzco.



Figura 2.5: Componentes del área de recocido

Además de estos elementos, existen variados servicios auxiliares que apoyan las distintas etapas del proceso. Estos servicios auxiliares son sumamente importantes para el funcionamiento de la línea productiva y sus componentes principales son:

- Sistema de lubricación de la trefiladora.
- Sistema de refrigeración del trefilado.
- Sistema de refrigeración en el recocido.
- Sistema de nitrógeno para el recocido.
- Sistema neumático para la gestión de carretes en el recibidor 1.
- Sistema neumático para cambio de tambor en recibidor 2.

Estos sistemas son extremadamente simples y solo requieren el comando de partida y de parada acordes a las necesidades del proceso. Dichas necesidades son enumeradas por subsistema a continuación:

Sistema lubricación El sistema de lubricación de la trefiladora debe estar activo durante todo momento mientras la trefiladora esté en funcionamiento.

Sistema de refrigeración trefilado El sistema de refrigeración del trefilado debe estar encendido mientras esté encendido el trefilado.

Sistema de refrigeración recocido El sistema de refrigeración del recocido debe estar encendido mientras esté encendido el recocido.

Sistema de nitrógeno El sistema de nitrógeno consta de una electro-válvula y debe actuar para proporcionar nitrógeno mientras el recocido este encendido.

Sistema neumático recibidor 1 Este sistema tiene dos componentes:

- **Freno** Este freno está para detener el carrete cuando se desactiva el motor del recibidor (para no cortar el hilo de cobre).
- **Expulsión de carrete** La expulsión de carrete se realiza por comando del operador a un costado del carrete para poder manipular el carrete que una vez lleno pesa entre 350 a 500kg.

Cambio de tambor Este sistema realiza una secuencia tres pasos con actuadores neumáticos cada vez que el operador lo requiera:

- Retención de caída de cable
- Giro de 180° del soporte de tambor.
- Soltar retención de caída de cable.

Al tratarse de solo sistemas de partida y parada donde no existe un control más complejo estos sub-sistemas no serán considerados para los posteriores análisis.

2.2.1. El problema de la línea 040

La línea 040 tiene un sistema de control (antes de la actualización) que tiene cinco problemas básicos:

- Falta de confiabilidad, fallas constantes hasta tres eventos por semana.
- El sistema de control poco flexible y muy dependiente de ajustes operacionales cada vez que se utiliza la máquina.
- Alta variabilidad en el recocido y calibres del material.
- Escasez de repuestos para reparar el sistema ante una falla mayor de la máquina.
- La calidad del producto depende de la capacidad del operador de ajustar correctamente los parámetros de la máquina.

Con base en los indicadores anteriormente descritos, se puede concluir que estos problemas se deben básicamente a que el sistema de control presenta las siguientes situaciones: obsolescencia, data de los años '80 (ver Fig 2.6), mantenimiento inadecuado o incompleto, sistema de control está basado en tarjetas electrónicas lo que hoy en día lo hace poco fiable y difícil de ajustar para los operadores. Esto conlleva que se pierda alrededor de un 10 % del cobre que se procesa en la línea el cual es desechado como scrap (chatarra), las pérdidas en su mayoría se deben a las pruebas para poder ajustar los parámetros para los distintos puntos de operación y los distintos tipos de productos que salen de la línea de producción.

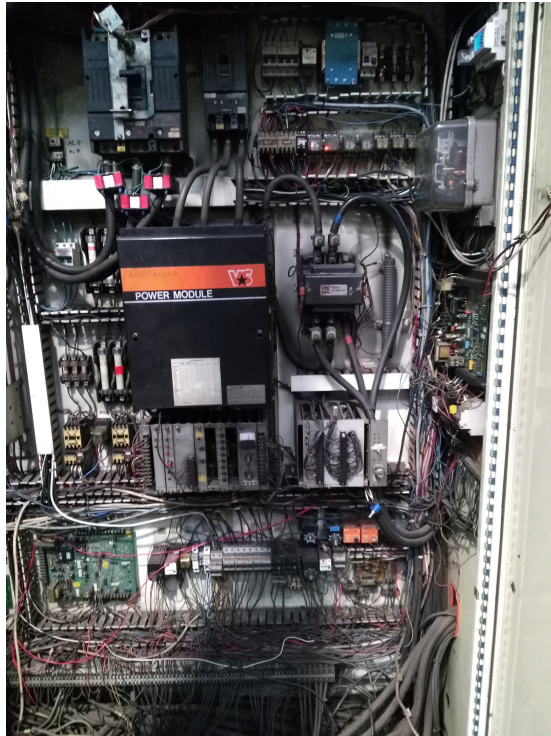


Figura 2.6: Parte del sistema de control obsoleto de la línea 040

2.2.1.a. Fallas y Falta de confiabilidad

Las fallas son recurrentes en el sistema de control y ya son bien conocidas por parte del personal de mantenimiento de COCESA. Uno de los problemas más recurrente del proceso es la falla de un integrado en la tarjeta que controla el sistema actual del recocido; éstas son tan recurrentes que se ha llegado al punto de tener al menos 10 integrados de repuesto dentro del mismo tablero donde está la tarjeta.

Esta situación conlleva a que uno de los principales requerimientos por parte de la empresa sea aumentar significativamente la confiabilidad de la operación en la línea 040, puesto que esas múltiples fallas afectan constantemente la producción del cobre trefilado en esta línea (grandes tiempos de detención, hasta 3 días semanales), lo cual afecta y demora la producción en otras zonas de la fábrica generando grandes cantidades de pérdidas de material, puesto que esta línea

recicla material de otras líneas productivas.

2.2.1.b. Sistema de control poco flexible

El actual sistema de control de la trefiladora no cuenta con la capacidad de controlar sus variables con exactitud en regímenes dinámicos, esto se debe a que todas las referencias del sistema están dadas a partir de potenciómetros, cuyas referencias son:

- Velocidad de trefilado.
- Factor de tensión de recocido.
- Tensión del cable.

Cada una de estas variables tenía su propio comando e indicador en el panel de operación, esto se puede observar en la Fig 2.7.



Figura 2.7: Panel de control antiguo

Las referencias del sistema están dadas a través de potenciómetros lo cual no tiene nada de malo normalmente (a excepción de su exactitud), pero en este caso es algo más complejo, dado que las referencias de velocidad solo están ligadas de forma automática con la tensión aplicada para el recocido de cortocircuito, mas el proceso no solo depende de la tensión del recocido sino que también de otra variable, el torque aplicado por el motor del recibidor, el cual no se ajusta automáticamente. Esto implica que para distintas condiciones de operación, los ajustes de torque varían ya que, el recibidor cuenta con una caja de velocidades, además de operar con diferentes tipos y tamaños de carretes por lo cual las inercias son distintas.

Estas condiciones implican que el operador debe ajustar constantemente el torque aplicado por el motor del recibidor, esto es necesario porque la tracción de todas las poleas del conjunto

Trefiladora-Recocido depende de que el cable esté suficientemente tenso. De no tener la tensión adecuada en el cable, las poleas del sistema no tendrán la tracción necesaria lo cual puede generar dos problemas principales: Primero puede disminuir la velocidad real del hilo de cobre por la falta de tracción, lo que a su vez genera que al someterse al recocido, la tensión eléctrica aplicada no sea la correcta para esta velocidad, provocando un sobrecalentamiento que genera varios efectos:

- Hilo de cobre se funde por sobrecalentamiento.
- Hilo de cobre se recuece demasiado quedando fuera de los parámetros de fabricación.

Segundo, puede que la tensión mecánica del cable sea demasiado alta lo que nos genera un problema de calibre a la salida del recocido, dado que al estar tan tenso el cable y con la alta temperatura que alcanza en el recocido los efectos que puede presentar son:

- Sobre estiramiento del cable por muy alta tensión mecánica que genera un corte del hilo debido a la alta temperatura del recocido que aumenta la ductilidad del material.
- Sobre estiramiento debido a la alta temperatura que alcanza el hilo de cobre, generando una disminución de su sección transversal fuera de lo aceptable.

2.2.1.c. Variabilidad el producto

Con las dificultades presentes en el actual sistema de control, la calidad del producto no es fácil de asegurar, generando bastante variabilidad en el calibre del cable y el grado de su recocido. Debido a esto, la línea de producción cada vez que cambia el tipo de producto a procesar requiere gran cantidad de material para poder ajustar el sistema de control y que el cable procesado cumpla con los estándares exigidos por la industria. Estas propiedades se miden cada vez que se comienza a procesar un producto. Los valores a revisar son el diámetro del cable el cual no puede tener un error más allá del 5 % mientras que el grado de recocido se mide por medio de la ductilidad del producto, con un medidor de estiramiento.

2.2.1.d. Falta de repuestos

El actual sistema de control, como se mencionó anteriormente, esta basado en tarjetas electrónicas de la década del '80 y actualmente ya no son un estándar para la industria, generando la escasez o nula existencia de repuestos, por lo cual la empresa en más de una ocasión se ha visto en la necesidad de mandar a reparar las placas a empresas externas especializadas. Dichas reparaciones le significan a la empresas altos costos económicos y tiempos de detención demasiado largos, generando grandes pérdidas de producción.

2.3. Las consideraciones del control

2.3.1. Trefilado

2.3.1.a. Equipos que intervienen en el trefilado

En el proceso de trefilado intervienen múltiples equipos para que esta parte del proceso sea posible entre los más importantes están:

Entregador: El entregador tiene dos posibilidades una es la utilización de una torre de cobre lo cual básicamente es una bobina de cobre horizontal (ver Fig. 2.9) o un carrete que es una bobina vertical (ver Fig. 2.8), este último se sitúa sobre un eje el cual tiene un freno neumático ajustado manualmente por el operador (no controlado) para evitar que se embale el carrete.

Trefiladora: Es uno de los equipos principales del proceso, a través de un motor de corriente continua acciona las distintas poleas entre las cuales se sitúan los distintos dados de trefilado. Es el equipo maestro de la línea, la distribución mecánica de este equipo da potencia a todas las poleas tanto del trefilado como el recocado, por esta razón no es necesario coordinación en velocidad y al ser el equipo maestro el resto de los equipos se coordinarán con este.

Bombas de lechada: Para el correcto funcionamiento de la trefiladora es necesario lubricar eficientemente los *dados* por donde pasa el hilo de cobre, de no tener suficiente lubricación el hilo se corta y se sobre-calienta, generando deformaciones no deseadas.

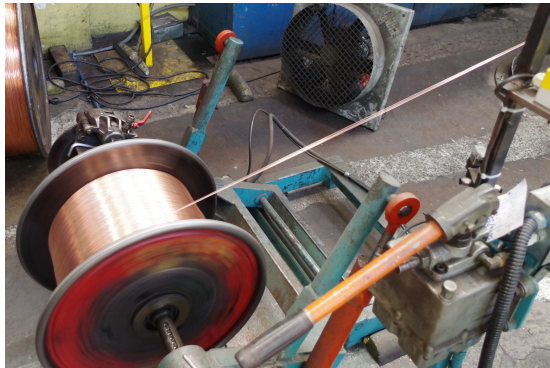


Figura 2.8: Entregador de carrete no controlado



Figura 2.9: Entregador de torre no controlado

2.3.1.b. Control del trefilado

En el control del trefilado tenemos algunas condiciones de funcionamiento a considerar entre los cuales podemos indicar los siguientes:

1. La planta motriz del trefilado también es la planta motriz del recocido.
2. La trefiladora es la máquina maestra de la línea por lo cual es la que impone la referencia.
3. La planta motriz del trefilado maneja grandes inercias
4. El torque necesario para la operación es casi constante pero depende de la sección del cable de entrada, sección de salida y además de las pérdidas por roce.
5. La velocidad de la línea se considera en la última polea motriz del trefilado.
6. Antes de partir el motor del trefilado, la bomba de lubricación interna de este debe estar funcionando.

2.3.2. Recocido

2.3.2.a. Equipos que intervienen en el recocido

En el proceso del recocido por cortocircuito intervienen los siguientes equipos:

Trefiladora: Como se mencionó anteriormente la planta motriz de la trefiladora también mueve las poleas del recocido, por lo cual esta impone la velocidad de la línea.

Controlador de tensión El controlador del recocido es el equipo principal de esta área y es un regulador de tensión alterna basado en *tiristores* que alimenta un transformador de relación 400/44 VAC (básicamente un dimmer de potencia).

Sistemas de refrigeración: El sistema de refrigeración está para enfriar rápidamente el hilo de cobre una vez terminado su paso por la cámara de recocido Ver Fig. 2.5.

Sistema de Nitrógeno: El sistema de nitrógeno está para crear una atmósfera inerte en la cámara de recocido propiciando que el cobre a alta temperatura no se oxide dado que desplaza el oxígeno.

2.3.2.b. Control del recocido

Para el control del recocido se necesitan algunas condiciones de funcionamiento entre las cuales se consideran las siguientes:

- El recocido no tiene planta motriz propia, su movimiento está dado por la planta motriz del trefilado, esto hace innecesario una coordinación de velocidad mecánica para este equipo.
- La tensión de recocido depende de la velocidad y será conectada a partir de los 10 *m/min*.
- El controlador del recocido es basado en *tiristores* y está conectado en acorde a los planos que están en el anexo.
- El controlador de recocido se basa en un convertidor estático que recorta la tensión de entrada a los bobinados de un transformador trifásico de 83 *kVA*.
- La salida desde el transformador es rectificadora por un rectificador no controlado (diodos) y esta tensión continua es la variable a controlar por el controlador de recocido.
- Los servicios auxiliares del recocido deben iniciarse antes de habilitar el recocido.
- El hilo de cobre debe tener tensión desde el receptor, dado que sin esta tensión las poleas resbalan y el hilo de cobre no se moverá a velocidad adecuada.
- La tensión de recocido aplicada dependerá de:
 1. Calibre del cable.
 2. Velocidad del cable.
 3. Tipo de recocido deseado (factor de recocido).

2.3.3. Almacenamiento receptor 1 (carrete)

2.3.3.a. Equipos que intervienen en el almacenamiento

En el sistema de almacenamiento del hilo de cobre, en bobinas o carretes, está compuesto de los siguientes equipos:

Celda de carga: Es la encargada de medir la tensión instantánea del hilo de cobre y dar retroalimentación al sistema de control.

Marginador: Es el encargado de distribuir uniformemente el carrete, la velocidad de movimiento de este no está controlada puesto que está relacionada con las vueltas del carrete de forma mecánica, solo es posible ajustar los límites de movimiento.

Motor del receptor: Es el elemento que mueve todo el sistema del receptor, sobre este elemento se actuará con el control para que el receptor funcione correctamente. Este motor es una máquina de corriente continua conexión shunt de 20 HP.

Caja de velocidades: Consta de distintas velocidades que anteriormente se usaban para ajustar las velocidades y torques a los requeridos por cada calibre. En este caso se fijará una única velocidad intermedia y los ajustes de velocidad estarán comandados a través del *drive* (convertidor estático que controla el motor).

Bomba de lubricación: Su función es lubricar los elementos de de la caja de velocidades y debe habilitarse antes de dar partida al receptor.

Freno neumático: Este freno está para detener el carrete al llegar al punto de parada y evitar que la inercia corte el hilo de cobre.

Botador de carrete Este elemento es neumático y su accionamiento completamente manual y lo acciona el operador a través de un mando neumático ubicado a un costado del receptor.

2.3.3.b. Control del almacenamiento receptor 1

Para el control del receptor 1 es necesario tener en cuenta las siguientes condiciones de operación:

- La tensión del cable debe ser lo más cercano a 5 kg (mantener la tensión en el rango de 3 – 7 kg).
- El torque aplicado por el motor dependerá del desarrollo del bobinado en el carrete.
- La velocidad del motor debe ajustarse al desarrollo del bobinado en el carrete.
- El marginador es impulsado por el giro del carrete, por lo cual no es controlado en velocidad solo en los límites.
- La tensión del cable se mide a través de una celda de carga.
- No existe un *dancer* (acumulador de material en línea) por lo cual no es posible acumular material de forma de absorber los errores de coordinación de velocidad.
- El motor del receptor funcionará en modo de control de torque.

2.3.4. Almacenamiento recibidor 2 (tambor)

2.3.4.a. Equipos que intervienen en el almacenamiento

El sistema de almacenamiento del hilo de cobre en tambores esta compuesto de los siguientes equipos:

Celda de carga: Al igual que el recibidor de carrete el recibidor de tambor consta de una celda de carga para retro-alimentar el sistema de control.

Cambiador de tambores: Es un elemento mecánico de acción neumática el cual es capaz cambiar el tambor que está recibiendo el material. El accionamiento de la secuencia es iniciado por el operador y ejecutada por el PLC.

Motor de recibidor: Es el motor que mantiene tenso el cable y mueve el sistema mecánico del recibidor. Es en este motor donde el control actuará para mantener la tensión adecuada del hilo de cobre.

Freno neumático: Detiene la caída del hilo de cobre al tambor en el transcurso del cambio de éste; cabe destacar que dicho freno tiene un pequeño acumulador para el cobre por lo cual el proceso no se interrumpe.

Vibrador de tambores: Su función es acomodar el hilo de cobre en los tambores, este vibrador es activado manualmente por el operador.

2.3.4.b. Control del recibidor 2

Para el control del recibidor 2 es necesario tener en cuenta las siguientes condiciones de operación:

- Para este recibidor no se cuenta con *dancer*.
- El recibidor tiene en su parte superior una celda de carga donde se mide la tensión instantánea del hilo de cobre.
- El recibidor debe mantener la tensión adecuada para el proceso (3 – 7 kg).
- El recibidor 2 a diferencia del recibidor 1 tiene una inercia constante.
- El recibidor el motor del recibidor debe ser controlado en modo control de torque, debido a que no hay *dancer* que absorba las diferencias del control de velocidad.

2.4. Producción y pérdidas de la línea 040

2.4.1. Producción antes de actualización de la línea

Como se mencionó anteriormente, la producción de la línea 040 era errática, con un índice de detención por mantenimiento correctivo que oscilaba entre 0 hasta 3 días a la semana. Para cuantificar estas condiciones por datos entregados por COCESA la velocidad máxima a la que puede operar la línea 040 es de 500 m/min , si se supera esta velocidad hay inestabilidades en el proceso y no es posible generar un producto adecuado. Además es necesario considerar que COCESA opera las 24 horas del día contando con 3 turnos de ocho horas cinco días a la semana descontando los tiempos muertos de colación y cambios de turno las horas efectivas son aproximadamente entre 18 a 20 horas por día, por lo cual el total de horas mensuales oscila entre 360 a 400 horas mensuales. Descontando los días de mantenimiento programado (un día al mes) y las fallas de la máquina nos da un total de trabajo efectivo que oscila entre 260 a 310 horas mensuales. Si la línea opera a 500 m/min la producción oscila entre 7800 km a 9300 km de hilo trefilado independiente del calibre.

2.4.2. Pérdidas asociadas a la producción

Es necesario contabilizar también las pérdidas en operación normal las cuales son por material con un recocido errático en parte de las zonas dinámicas del proceso (aceleración y frenado) donde solo se estabiliza después de 100 m/min de pendiendo de la habilidad del operador. Las pérdidas por la inestabilidad del recocido las tienen cuantificadas solo para el recibidor donde por carrete se pierden entre 0.5 kg a 2 kg (datos proporcionados por los operadores). Es importante destacar que para el recibidor de tambor esto no está cuantificado debido a que para cambiar el tambor no es necesario detener la línea, es decir la operación con tambor no genera prácticamente las pérdidas por inestabilidad del recocido

Para cuantificar las pérdidas mensuales debido a los cambios de carrete es necesario tomar en cuenta que los carretes se llenan en tiempos distintos y con distinta cantidad de metros dependiendo del calibre, ante esto consideraremos que en promedio se toma dos horas para llenar un carrete, eso quiere decir que las pérdidas por problemas de recocido oscilan entre 65 kg y 77.5 kg mensuales considerando que los operadores son expertos.

2.5. Fundamentos teóricos para el modelado

2.5.1. Máquina de corriente continua

La máquina de corriente continua fue la primera máquina eléctrica rotatoria, que aparece a mediados del siglo XIX, la que a partir del descubrimiento del principio dinamoeléctrico por Siemens en 1866 experimenta un rápido desarrollo, incorporando detalles constructivos que la acompañan hasta el presente. El desarrollo más reciente de los semiconductores ha tenido efec-

tos sobre el empleo de la máquina de corriente continua, dejando de lado su uso como generador o amplificador de potencia [1], pero aumentando considerablemente en accionamientos de velocidad variable con motores de fracciones de kW hasta $10.000 kW$, usados para tracción eléctrica, laminadoras, trefilado y otras aplicaciones en la industria. En la actualidad el desarrollo de los semiconductores y el avance del control de las máquinas alternas ha conseguido ser capaz de dar las características de un motor de corriente continua al motor asincrónico desplazando nuevamente su uso en la industria, pero a pesar de estar relegado se ha mantenido su uso en maquinaria donde se necesita un control de velocidad y torque alto desde velocidad cero, donde hasta solo unos años atrás el control de la máquina asincrónica no era capaz de funcionar adecuadamente.

2.5.1.a. Ecuaciones de equilibrio eléctricas

Las máquinas de corriente continua poseen dos circuitos: el circuito de campo y el circuito de armadura (ver Fig. 2.10). Al aplicar la ley de Faraday a cada circuito da como resultado la correspondiente ecuación de equilibrio eléctrica. El desarrollo para el circuito de armadura es:

$$i_a R_a - V_a = -\frac{\delta\psi_d}{\delta\gamma} \frac{d\gamma}{dt} - \frac{\delta\psi_q}{\delta t} \quad (2.1)$$

$$i_a R_a - V_a = -V_{rot} - L_a \frac{di_a}{dt} \quad (2.2)$$

$$V_a = i_a R_a + L_a \frac{di_a}{dt} + V_{rot} \quad (2.3)$$

La re-escritura de la ecuación 2.1 es posible dado que el primer término del segundo miembro está relacionado con la variación del flujo en la armadura por la rotación de la armadura en el campo generado por la corriente de excitación i_f , y el segundo término corresponde a la tensión inducida por la variación temporal del flujo enlazado por el devanado de armadura, esta variación solo se debe a la corriente de armadura debido a la ortogonalidad de los ejes de campo y armadura. Es necesario definir V_{rot} dado que está relacionado con la variación de flujo por rotación de armadura.

$$V_{rot} = G_{fq} \omega i_f \quad (2.4)$$

donde:

G_{fq} es una constante que agrupa los factores de la permeancia del circuito magnético, el número de polos, los números de vueltas de los devanados de armadura y campo además de constantes geométricas. Esta constante también es conocida como la inductancia mutua entre la armadura y el campo.

ω es la velocidad de rotación de la armadura.

i_f es la corriente que circula por el campo.

De esta forma, si se considera que los circuitos magnéticos son lineales, la ecuación 2.3 toma la forma:

$$V_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + G_{fq} \omega i_f \quad (2.5)$$

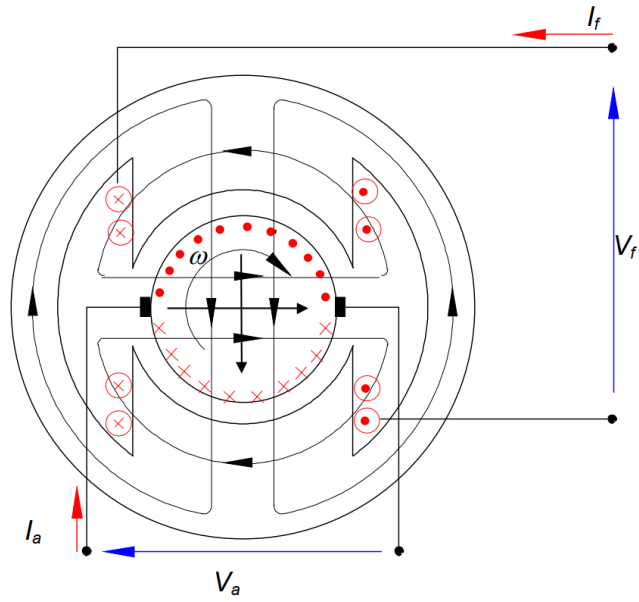


Figura 2.10: Diagrama esquemático de la maquina de corriente continua [1]

Aplicando la ley de Faraday al circuito de campo, se obtiene:

$$i_f R_f - V_f = -\frac{d\Psi_f}{dt} \quad (2.6)$$

Si ahora se considera un circuito magnético lineal, entonces $\Psi_f = L_f i_f$ y la relación anterior puede reescribirse como:

$$V_f = R_f i_f + L_f \frac{di_f}{dt} \quad (2.7)$$

Considerando las ecuaciones 2.5 y 2.7 es posible construir el circuito equivalente mostrado en la figura 2.11

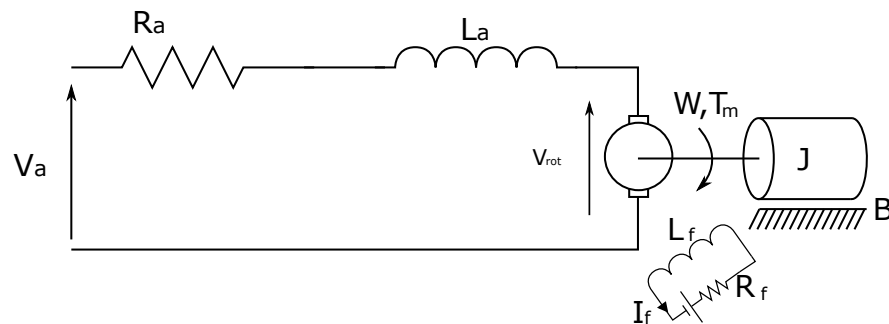


Figura 2.11: Circuito equivalente de la maquina de corriente continua

2.5.1.b. Ecuaciones de equilibrio mecánicas

Aplicando la segunda ley de Newton al rotor obtenemos:

$$J \frac{d\omega_m}{dt} = \sum_i T_i \quad (2.8)$$

Esta ecuación considera que el rotor es un cuerpo rígido y nos indica que la suma de los distintos momentos sobre el rotor sea igual al momento de inercia por la aceleración. Las distintas fuerzas y/o momentos que se ejercen sobre el rotor son:

T_e es el momento electromagnético.

T_m es el momento mecánico.

B es el coeficiente de roce del motor.

Es necesario definir estos momentos y fuerzas para poder realizar un debido análisis:

$$T_e = \frac{V_{rot} i_a}{\omega_m} \quad (2.9)$$

Esta ecuación explicita un balance de potencia, es decir, la potencia electromagnética convertida $V_{rot} i_a$ es igual a la potencia mecánica $T_e \omega_m$. Considerando un circuito magnético ideal podemos realizar el reemplazo de 2.4 en la ecuación 2.9 dando como resultado:

$$T_e = G_{fq} i_f i_a \quad (2.10)$$

Los términos T_m y B son respectivamente los torques de carga y el coeficiente de roce, estos términos deben ser considerados para la carga acoplada al eje del motor.

2.5.2. Controlador PID

Un controlador automático compara el valor real de la salida de una planta con la entrada de referencia (valor deseado), determina la desviación y produce una señal de control que reduce la desviación a cero o a un valor pequeño. Los controladores industriales se clasifican de acuerdo a sus acciones de control:

- De dos posiciones o de encendido y apagado (on/off).
- Proporcionales.
- Integrales.
- Proporcionales-integrales.
- Proporcionales-derivativos.
- Proporcionales-integrales-derivativos.

Los controladores a estudiar son los de la familia PID es decir los proporcionales, integrales y derivativos. Estos controladores tienen su nombre debido a como realizan el ajuste de su salida

en relación al error o diferencia entre la referencia y la salida real de la planta. Para el desarrollo de este documento se considera como base la forma paralela del controlador PID:

$$P + I\frac{1}{s} + Ds \quad (2.11)$$

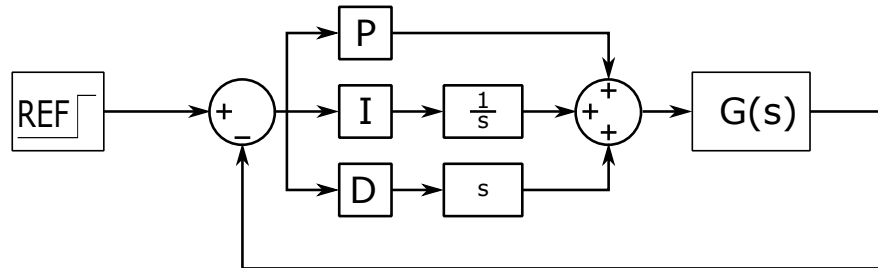


Figura 2.12: Controlador PID paralelo

Control Proporcional

Un controlador proporcional es el resultado de un controlador PID pero con ganancias I y D con valor igual a cero (ver Fig. 2.12). Este controlador nos da una salida proporcional al error (es decir es solo una ganancia), esta proporcionalidad entre el error y la salida del controlador está dada por la ganancia P. Este controlador es de rápida reacción pero no asegura un buen seguimiento de la referencia.

Control Integral

El controlador integral es un controlador PID donde las ganancias P y D son cero. Este controlador tiene la particularidad de que su salida es proporcional a la integral del error esa proporcionalidad es el factor I. Dado que la salida de este controlador es proporcional a la integral de error tiende a tener over-shoot, pero asegura seguimiento de la referencia en estado estacionario.

Controlador derivativo

Este controlador normalmente no se utiliza solo sino acompañado de controladores proporcionales e integrales. El controlador derivativo es proporcional a la derivada del error, ese factor de proporcionalidad entre la salida y la derivada del error es el factor D.

2.5.2.a. Ajuste de los controladores PID

Existen numerosas formas de ajusta un controlador PID, tanto de forma teórica como de forma experimental, en este documento se consideran cuatro formas de ajuste:

- Ajuste a través de herramientas informáticas (PID tuner MatLab).
- Ajuste de ensayo y error.
- Ajuste por Ziegler-Nichols de lazo abierto.
- Ajuste por Ziegler-Nichols de lazo cerrado.

El ajuste realizado a través de herramientas informáticas tiene la capacidad de ajustar el controlador P, PI, PD y PID de forma muy fácil y rápida con grandes resultados, pero tiene la dificultad de que no es posible hacerlo sin conocer la totalidad de la planta y su forma en el plano s .

El ajuste por ensayo y error tiene la dificultad de no ser posible utilizarlo en cualquier ocasión debido a que un control mal ajustado puede causar una falla catastrófica en el proceso o desperdicio excesivo de material. Si se está seguro que una falla del control no generará ninguna de estas dos condiciones es posible utilizar este método.

Para realizar el ajuste por método de Ziegler-Nichols de lazo abierto solo es posible bajo ciertas condiciones:

- La planta no debe contener integradores ni polos dominantes complejos conjugados.
- La curva de salida ante un estímulo del tipo escalón debe tener forma de S (ver Fig. 2.13).

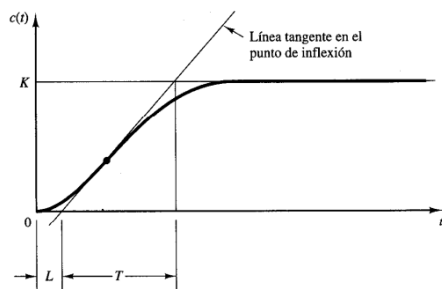


Figura 2.13: Respuesta escalón para ajuste de PID [2]

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

Figura 2.14: Tabla de sintonización Ziegler-Nichols [2]

Una vez que se tenga el oscilograma de la respuesta de la planta ante el estímulo escalón es necesario obtener los parámetros señalados en la figura 2.13, con estos parámetros definidos se debe utilizar la tabla 2.14, donde, dependiendo del controlador a utilizar, se calculan los factores K_p , T_i y T_d respectivamente, pero es importante denotar que a diferencia de lo visto

anteriormente este controlador es PID ideal y tiene la forma:

$$K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (2.12)$$

Para el ajuste de Ziegler-Nichols de lazo cerrado se debe considerar un controlador solo proporcional al cual se le debe aumentar la ganancia hasta encontrar la ganancia K_{cr} donde el sistema comienza a tener oscilaciones sostenidas (ver 2.15) de donde se obtendrá el periodo crítico P_{cr} , una vez con estos datos se debe ir a la tabla 2.16. Cabe destacar que al igual que en el método de lazo abierto la forma del controlador es la de un PID ideal y no paralelo.

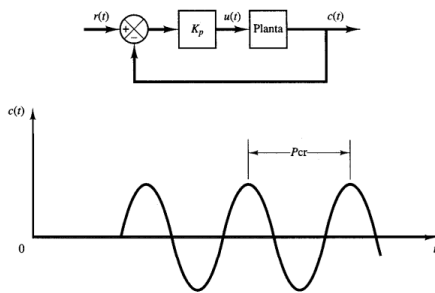


Figura 2.15: Forma de onda esperada para aplicación de método de Ziegler-Nichols de lazo cerrado [3]

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	$0.5K_{cr}$	∞	0
PI	$0.45K_{cr}$	$\frac{1}{1.2}P_{cr}$	0
PID	$0.6K_{cr}$	$0.5P_{cr}$	$0.125P_{cr}$

Figura 2.16: Tabla de sintonización de Ziegler-Nichols de lazo cerrado [3]

Capítulo 3

Modelado del proceso

3.1. Estrategia de control propuesta

El proceso de la línea 040 se basa principalmente en 3 etapas:

- Trefilado.
- Recocido.
- Almacenamiento.

Teniendo en vista estas tres etapas las cuales son cuasi dependientes entre ellas, se habla de cuasi dependencia debido a que si bien los procesos requieren de los demás para poder completar el producto, esto no significa que las máquinas no puedan funcionar sin estar las demás funcionando.

Para realizar el control de esta línea se toma el enfoque de una referencia maestra la cual será enviada a todas las máquinas escalada para cada una de las máquinas (ver Fig. 3.1).

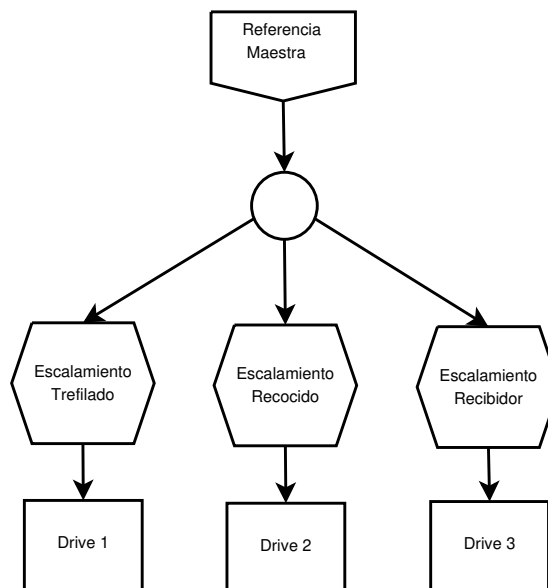


Figura 3.1: Primer diagrama de control propuesto

Lamentablemente este diagrama (Fig. 3.1) funcionaría perfectamente, pero la línea 040 cuenta con un inconveniente, no soporta errores de control de velocidad entre el trefilado y el recibidor, lo que genera dos problemas ante diferencias de velocidad de estos elementos:

- Hilo de cobre suelto, resbala y deja de avanzar a la velocidad solicitada generando el corte de este por sobrecalentamiento en el recocido.
- Hilo de cobre muy tenso, genera corte de este por sobre-tensión mecánica

Para evitar estos problemas debemos tomar una de estas opciones:

- Agregar un *dancer* a la línea 040.
- Cambiar la estrategia de control inicial.

Por motivos económicos se elige la opción de cambiar la estrategia de control. La nueva estrategia de control mantiene buena parte de la estrategia original, solo cambiará la forma de controlar los recibidores, los cuales pasan a controlar la tensión en el hilo de cobre. Para poder controlar la tensión en el cable lo primero es poder medir dicha tensión, esto se logra a través de una celda de carga que se encuentra en unas poleas ubicadas a la salida del recocido.

La nueva estrategia de control se basa en regular el torque aplicado por el motor a través de un controlador PID de forma que sea capaz de controlar la tensión en el cable. La relación del torque aplicado y la tensión no es directa en especial en el recibidor de carrete, puesto que el diámetro del carrete va variando a medida que el hilo de cobre se almacena en el carrete. El nuevo diagrama de control que contempla estas condiciones se puede ver en la figura 3.2.

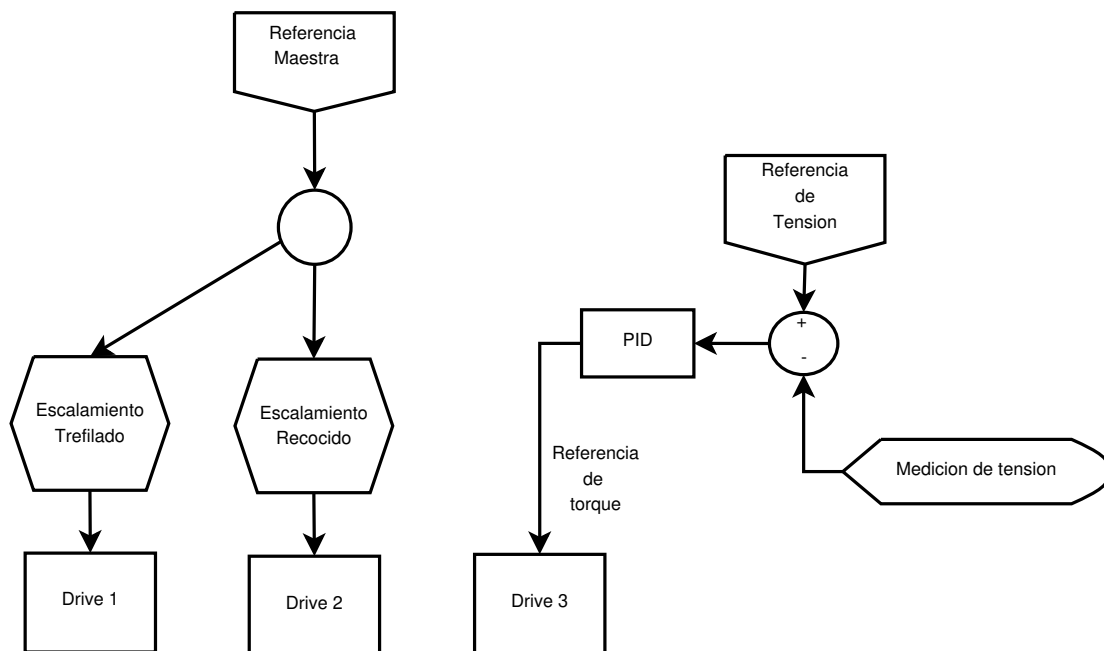


Figura 3.2: Segundo diagrama de control propuesto

3.2. Modelo del Trefilado

El proceso de trefilado es un hilo que pasa por distintas aberturas cada una más pequeña que la anterior y dichas aberturas dependen de dos condiciones: Calibre de entrada y calibre requerido.

Una vez decidido el calibre de entrada y de salida (requerimiento acorde a las necesidades de producción de la planta) se eligen los *dados* a utilizar en la trefiladora. Esta elección determina la dificultad del hilo de cobre para pasar por las distintas aberturas, es decir, determina el torque necesario del motor para hacer el proceso de trefilado. Las distintas medidas y *dados* a utilizar están descritas en los documentos del fabricante de la trefiladora ver Fig. 3.3

ENTER	DIE POSITIONS													13' E	AWG	WIRE FPM
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11 ^D	12 ^D				
#6 .162"	-	-	-	-	.1443	.1285	.1144	.1019	.0907	.0808	-	-	-	.0719	#13B	3850
"	-	-	-	.1443	.1285	.1144	.1019	.0907	.0808	.0719	-	-	-	.0641	#14	"
"	-	-	.1443	.1285	.1144	.1019	.0907	.0808	.0719	.0641	-	-	-	.0571	#15	"
"	-	.1443	.1285	.1144	.1019	.0907	.0808	.0719	.0641	.0571	-	-	-	.0508	#16	"
"	.1443	.1285	.1144	.1019	.0907	.0808	.0719	.0641	.0571	.0508	-	-	-	.0453	#17	"
"	-	.1443	.1285	.1144	.1019	.0907	.0808	.0719	.0641	.0571	.0508	.0453	.0403	#18	6000	
#8 .1285"	-	-	.1144	.1019	.0907	.0808	.0719	.0641	.0571	.0508	.0453	.0403	.0359	#19	6000	
"	-	.1144	.1019	.0907	.0808	.0719	.0641	.0571	.0508	.0453	.0403	.0359	.0319	#20	"	
"	.1144	.1019	.0907	.0808	.0719	.0641	.0571	.0508	.0453	.0403	.0359	.0319	.0284	#21	"	
#10 .1019"	-	.0907	.0808	.0719	.0641	.0571	.0508	.0453	.0403	.0359	.0319	.0284	.0253	#22	6000	
"	.0907	.0808	.0719	.0641	.0571	.0508	.0453	.0403	.0359	.0319	.0284	.0253	.0226	#23	"	
#12 .0808"	-	.0719	.0641	.0571	.0508	.0453	.0403	.0359	.0319	.0284	.0253	.0226	.0201	#24	6000	
"	.0719	.0641	.0571	.0508	.0453	.0403	.0359	.0319	.0284	.0253	.0226	.0201	.0179	#25	"	

NOTES:
 A- Refer to string-up & die position chart EW-18210.
 B- #13 AWG finish size not recommended - overloads main motor.
 C- Minimum 20.5% die area reduction.
 D- Do not use die positions 11 & 12 for 3850 FPM.
 E- Always use die position 13 for 6000 FPM & position 13' for 3850 FPM)
 (see chart EW-18210)

DRAWN BY _____ DATE _____ NAME C-13 Die Size & Position/FPM Chart
 CHECKED BY O.P.R. DATE 10-20-65
 ASSEMBLY _____ MATERIAL Entry #6-12 AWG Copper as noted SCALE _____
 SY-3180
 SYNCRO MACHINE CO.
 PERTH AMBOY, N. J.

Figura 3.3: Selección de datos acorde a los calibres de trabajo de la trefiladora C-13

En la tabla de selección de datos (Fig. 3.3) se observa que, mientras más pequeña es la sección de salida más cantidad de dados se utilizan, pero en la nota B de la misma tabla se recomienda no utilizar el tamaño 13AWG como salida final por sobrecarga del motor principal, esta nota nos muestra una situación algo inesperada, que nos lleva a concluir que el motor de la trefiladora tiene que desarrollar más potencia para un calibre mayor que para uno menor, teniendo en cuenta una misma velocidad de salida, siendo éste un hecho sorpresivo al considerar

que se supone que más *dados* involucrados en el trefilado deberían ejercer más torque para poder disminuir el calibre, pero en este caso es al contrario y se debe a la cantidad de material procesado.

Esta situación pareciera ser anómala, pero esto no es así ya que, si analizamos dicha situación de forma detallada tenemos un calibre de entrada de 6 AWG con un calibre de salida de 13 AWG para el caso de mayor calibre y un calibre de 18 AWG para el caso de menor sección de salida.

Sabemos que la potencia mecánica entregada por un motor es:

$$P = \omega T \tag{3.1}$$

donde P es potencia en W , ω es la velocidad angular del motor en rad/s y T es el torque aplicado por el motor en Nm .

Si vemos la documentación del fabricante (Fig. 3.3) nos muestra que el último dado de salida para cada medida está en la posición 13, es decir, es posterior a ese punto donde se mide la velocidad para cada caso, esto implica que para una misma velocidad de salida del hilo de cobre tendremos una misma velocidad de giro de motor.

Ahora ya está claro que no hay cambios de velocidad en el motor para las distintas medidas (ω no influye en el análisis por ser la misma para ambos casos) pero sí hay distinta velocidad en el hilo de entrada, esto es fácil de ver si se considera que el volumen de entrada debe ser igual al de salida (si bien esto no es del todo cierto, las diferencias son mínimas y no afecta mayormente el análisis). Con esta condición en mente, ahora debemos analizar cual o cuales son los *dados* que ejercen mayor torque.

	Entrada	dado 1	dado 2	dado 3	dado 4	dado 5	dado 6	dado 7
Φ Pulgadas	0,162	0,144	0,129	0,114	0,102	0,091	0,081	0,072
Φ mm	4,115	3,665	3,264	2,906	2,588	2,304	2,052	1,826
Área mm^2	13,298	10,551	8,367	6,631	5,261	4,168	3,308	2,619
Reducción %	-	26	26	26	26	26	26	26

Tabla 3.1: Esta tabla muestra los diámetros del hilo de cobre a medida que pasan por los distintos *dados* y las reducciones de área correspondientes a cada dado para una salida de 13 AWG

Como se aprecia en las tablas 3.1 y 3.2 los *dados* por los que pasa el hilo de cobre para ambos casos coinciden en los primeros siete, pero para el caso de salida de 18 AWG se agregan cinco *dados* más a la serie manteniendo la relación de reducción de área prácticamente constante.

Los primeros *dados* son los que realizan la mayor reducción de área y por lo tanto los que ejercen más torque inverso al motor, considerando esto los *dados* ejercen un torque aproximado *localmente* como constante. Al decir *localmente* nos referimos a que ejerce un torque constante a su polea de tiro, la cual no es la misma para ambos casos analizados, dado que la posición del *dado* no es la misma (ver Fig. 3.3), esto implica que si bien los ω del motor son iguales para las mismas velocidades de salida, las poleas que tiran el cable en ambos casos son distintas; para el

	Φ Pulgadas	Φ mm	Área mm^2	Reducción %
Entrada	0,162	4,115	13,298	-
dado 1	0,144	3,665	10,551	26
dado 2	0,129	3,264	8,367	26
dado 3	0,144	2,906	6,631	26
dado 4	0,102	2,588	5,261	26
dado 5	0,091	2,304	4,168	26
dado 6	0,081	2,052	3,308	26
dado 7	0,072	1,826	2,619	26
dado 8	0,064	1,628	2,082	26
dado 9	0,057	1,45	1,652	26
dado 10	0,051	1,29	1,308	26
dado 11	0,045	1,151	1,04	26
dado 12	0,04	1,024	0,823	26

Tabla 3.2: Esta tabla muestra los diámetros del hilo de cobre a medida que pasan por los distintos *dados* y las reducciones de área correspondientes a cada dado para una salida de 18 AWG

primer *dado* en el caso de 13 AWG es la polea N°5 y para el caso de 18 AWG la polea es la N°1. Si se considera que en cada *dado* la polea de tiro correspondiente va aumentando de velocidad tangencial para absorber el aumento de longitud del cable provocada por la disminución de su área, se hace evidente que mientras más alto es el número de la polea más rápido gira esta (considerando que todas las poleas tienen el mismo diámetro), con esto podemos decir que la potencia ejercida por la polea de tiro que corresponde al primer *dado* para el caso de 13 AWG de salida, gira más rápido por estar en la posición N°5 versus la del caso de 18 AWG que esta en la posición N°1 ver Fig. 3.4.

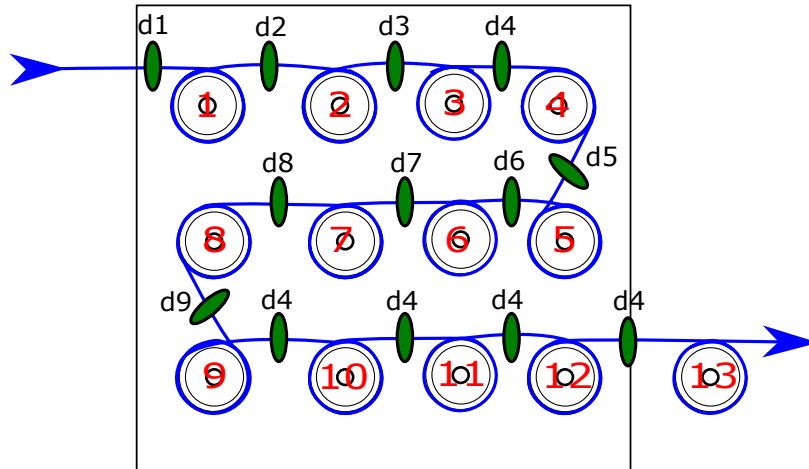


Figura 3.4: Diagrama esquemático de la disposición de poleas y dados al interior de la trefiladora

Ambos dados ejercen el mismo torque a su polea de tiro, pero la polea en la posición N°5 necesita mucha más potencia que la polea N°1, dado que ω es mayor en la polea N°5 acorde a la ecuación 3.1.

3.2.1. Hipótesis de modelado

Para el modelado del sistema de trefilado se consideran las siguientes hipótesis:

1. El motor de la trefiladora a máxima velocidad (850 RPM) genera una velocidad de 1200 m/min a la salida de la trefiladora.
2. El proceso de trefilado se comporta como un proceso de torque constante.
3. El torque depende del calibre del cable, pero en este caso utilizaremos 800 Nm como torque inverso en el eje del motor lo cual es alrededor del 80 % de su carga nominal.
4. Se considera que la referencia de velocidad será una rampa escalonada cuyos escalones serán variados acorde a lo presentado en las distintas simulaciones.
5. El control del motor se hará con un controlador tipo PI.

6. El torque ejercido por el motor de la trefiladora depende de la tensión mecánica del hilo de cobre, si este no está tenso desde el receptor resbalará en la trefiladora.
7. Los datos eléctricos y mecánicos del sistema están resumidos en la tabla 3.3.

Item	Descripción	Magnitud	Unidad
1	Tensión nominal de armadura	500	Vdc
2	Corriente nominal de armadura	204	A
3	Tensión de nominal de campo	300	Vdc
4	Corriente nominal de campo	5,45	A
5	Inductancia mutua	0,85	H
6	Resistencia de armadura	0,076	Ω
7	Inductancia de armadura	0,00157	H
8	Resistencia de campo	55	Ω
9	Inductancia de campo	0,02	H
10	Inercia del conjunto	6,11	kgm^2
11	coeficiente de roce	0,02	Nms

Tabla 3.3: Características eléctricas del motor DC modelado para la trefiladora

3.2.2. Ajuste de Controladores PI de corriente del motor de trefilado

El ajuste del PI de corriente se realiza modelando la máquina de corriente continua acorde al diagrama de bloques presentado por el *drive* DC4 de la librería SIMSCAPE de Simulink de MatLab (ver Fig.3.5). Cabe destacar que en la actualidad los *drive* tienen sus propios algoritmos para auto-ajustarse solo indicando las potencias, corrientes y tensiones nominales de los motores.

3.2.2.a. Ajuste de Controlador PI con PID tuner de MatLab

Para ajustar el PI de corriente del *drive* que controla el motor del trefilado con la herramienta *PID tuner* es necesario hacer un moldeamiento matemático de la planta, para esto necesitamos plantear el circuito equivalente del motor (ver Fig. 3.6).

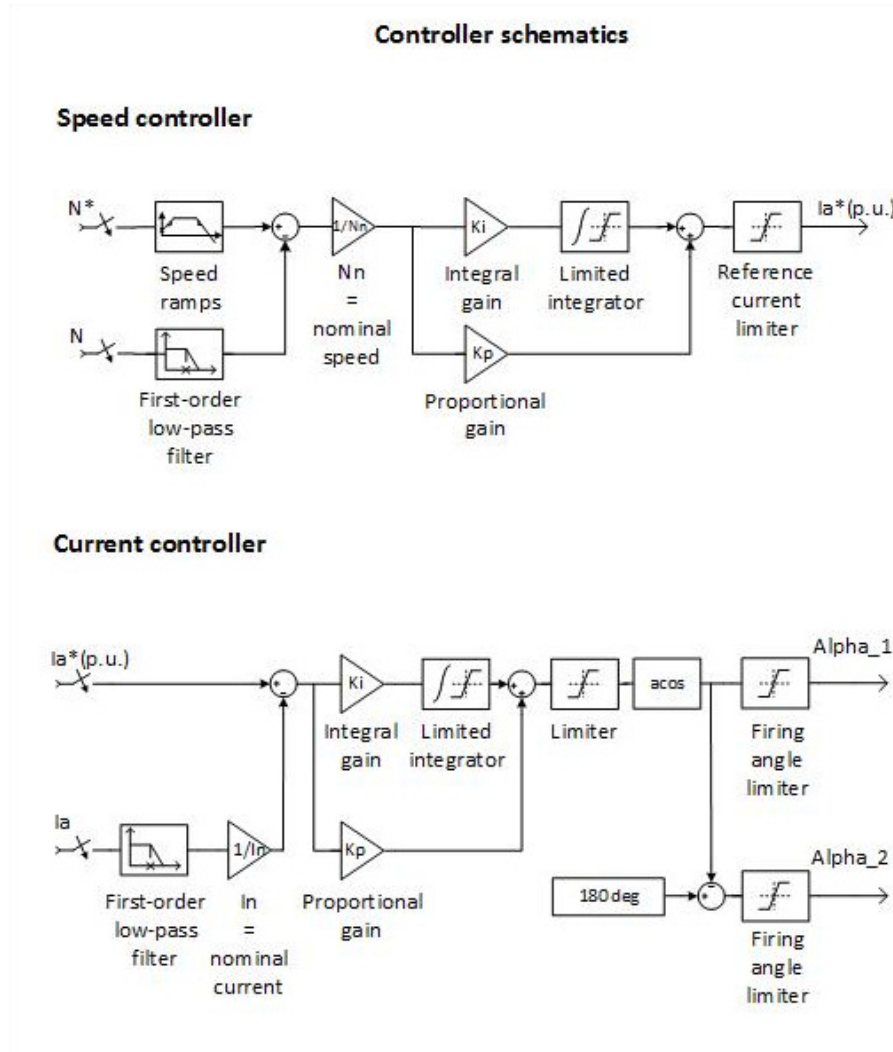


Figura 3.5: Diagrama de bloques del sistema de control interno del *drive* DC4 de SIMSCAPE de Simulink

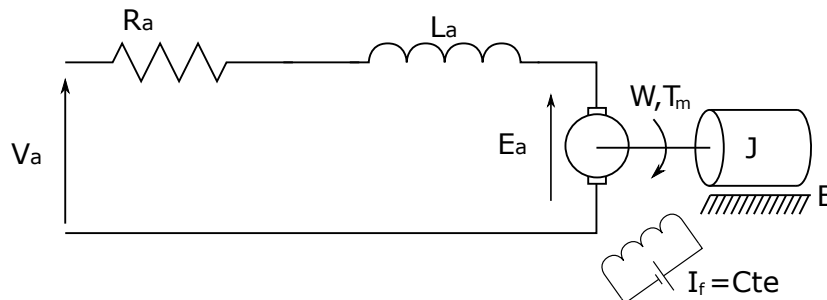


Figura 3.6: Diagrama equivalente para máquina DC

A partir de este circuito equivalente se plantean las ecuaciones 3.2, 3.3, 3.4 y 3.5

$$v_a(t) = R_a i(t) + L_a \frac{di(t)}{dt} + E_a(t) \quad (3.2)$$

$$T_{em}(t) = J \frac{d\omega(t)}{dt} + B\omega + T_L \quad (3.3)$$

$$E_a(t) = G_{fq} I_f \omega(t) \quad (3.4)$$

$$T_{em}(t) = G_{fq} I_f i(t) \quad (3.5)$$

donde G_{fq} es la inductancia mutua entre la armadura y el campo, I_f es la corriente de campo que se considera constante en el tiempo, $\omega(t)$ es la velocidad angular del rotor en el tiempo, J es la inercia total entre motor y carga, $i(t)$ es la corriente de armadura en el tiempo, E_a es la tensión inducida en el colector del rotor también conocida como V_{rot} y B es el roce total del conjunto

Si aplicamos la siguiente simplificación a estas ecuaciones:

$$k_a = G_{fq} I_f \quad (3.6)$$

Para luego aplicar *Laplace* a estas ecuaciones queda:

$$Js\omega(s) = T_m(s) - B\omega(s) \quad (3.7)$$

$$L_a s i(s) = v_a(s) - R_a i(s) - E_a(s) \quad (3.8)$$

$$E_a(s) = k_a \omega(s) \quad (3.9)$$

$$T_m = k_a i(s) \quad (3.10)$$

A partir de estas ecuaciones y reemplazando unas en otras se obtiene la función de transferencia:

$$\frac{i(s)}{v_a(s)} = \frac{1}{L_a s + B} \quad (3.11)$$

Una vez con el moldeamiento listo lo ingresaremos a Simulink (ver Fig. 3.7).

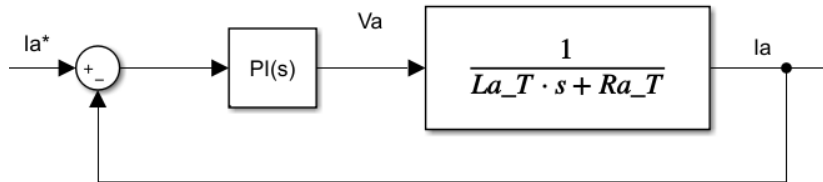


Figura 3.7: Modelo en Simulink del PI de corriente

Donde:

$$R_a = 0.076 \Omega$$

$$L_a = 0.00157 H$$

Ingresando estos datos a MatLab se procede a utilizar el *PID tuner* cuyos resultados (ver Fig. 3.8) para un PI paralelo (ver Ec. 3.12) son:

$$P + I \frac{1}{s} \quad (3.12)$$

$$P = 0.11121$$

$$I = 9.7107$$

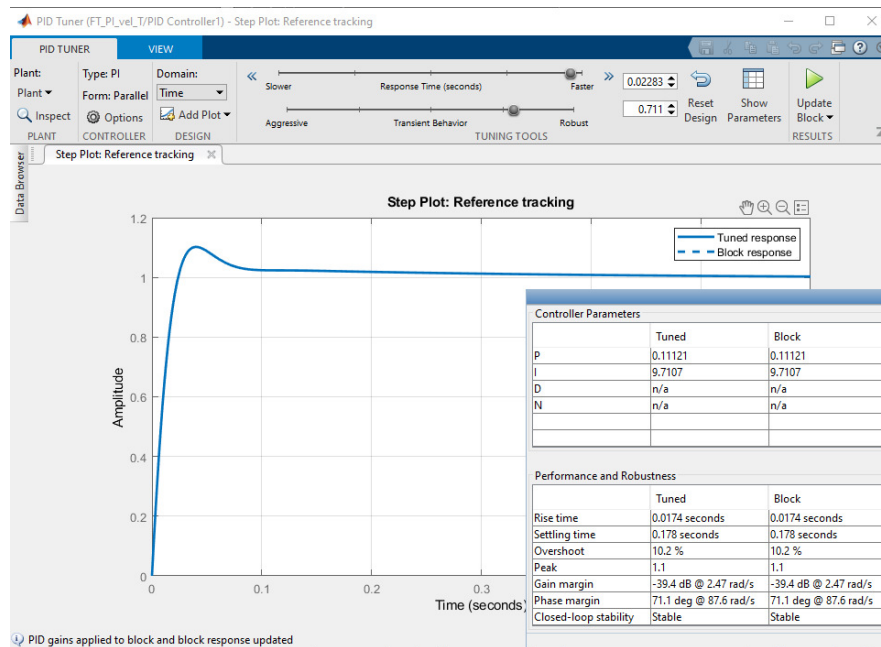


Figura 3.8: Ajuste de PI de corriente de motor del trefilado

En la figura 3.8 se observa la respuesta escalón junto a los parámetros ajustados en el PI de corriente, donde destaca su rápido seguimiento de la referencia con un *overshoot* de un 10.2%.

3.2.3. Ajuste de controlador PI de velocidad del motor de trefilado

Como se ve en la figura 3.5 el control de velocidad está en cascada con el control de corriente, es por esto que debemos utilizar un control anidado para poder modelar el control de velocidad (ver Fig. 3.9) pero para poder implementar dicho modelo es necesario obtener la función de transferencia que relaciona la corriente con la velocidad angular a partir de la ecuación 3.8.

$$T_{em} = Js\omega(s) + B\omega(s) \quad (3.13)$$

$$k_a i(s) = (Js + B)\omega(s) \quad (3.14)$$

$$\frac{\omega(s)}{i(s)} = \frac{k_a}{Js + B} \quad (3.15)$$

donde:

$$k_a = 4.64 \text{ HA}$$

$$B = 0.02 \text{ Nms}$$

$$J = 6.11 \text{ kgm}^2$$

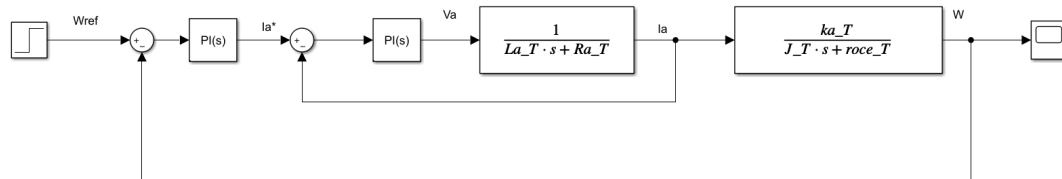


Figura 3.9: Diagrama de bloques de control de velocidad del motor del trefilado

Con el modelado completo se realiza el ajuste del control del PI de velocidad (ver Fig. 3.10) el cual debe ser mucho más lento que el PI de corriente, de forma que ambos controladores no entren en conflicto.

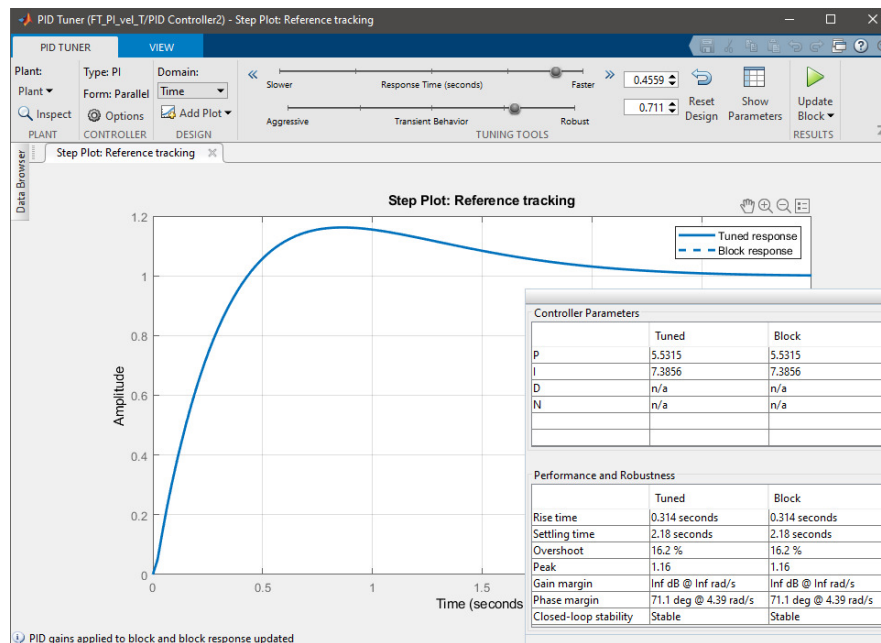


Figura 3.10: Ajuste de PI de velocidad del motor de trefilado

El ajuste del PI de velocidad al igual que el de corriente corresponde a un controlador PI paralelo y sus ajustes son:

$$P = 5.5315$$

$$I = 7.3856$$

El ajuste realizado genera un *overshoot* de un 16.2% y tiene un seguimiento adecuado de la señal tomando 2.18 s para ajustarse a la señal y es lo suficientemente lento para no generar problemas con el controlador PI de corriente.

3.2.4. Pruebas de los controladores PI en el modelo del Drive

3.2.4.a. Pruebas de control en modo control torque

Para las pruebas se utilizará un modelo individual para el *drive* (sin estar conectado al resto de la línea de producción) junto a una perturbación de roce lineal (ver Fig. 3.11)

Para la prueba el *drive* estará en control de torque y se le solicitará un torque de 50 Nm en un escalón activado en tiempo $t=1$ s. Es importante indicar que se ha considerado como torque inverso una ganancia de muy alto valor (300) por la velocidad angular del motor, esto se realiza con el fin de que el torque inverso llegue rápidamente al valor del torque de referencia solicitado.

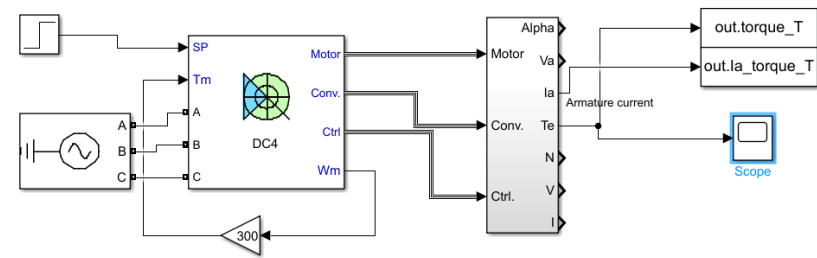


Figura 3.11: Modelo para pruebas de control de torque con ajustes de controladores PI

La señal de respuesta se observa en la figura 3.12 donde se puede notar que el control de torque es bastante bueno y sigue correctamente la referencia. Si bien para este caso no es necesario estudiar con mayor detalle el lazo de control de torque ya que, el motor será controlado en velocidad. Sin embargo, es un buen indicador que el control sea capaz de ajustarse a la referencia rápidamente.

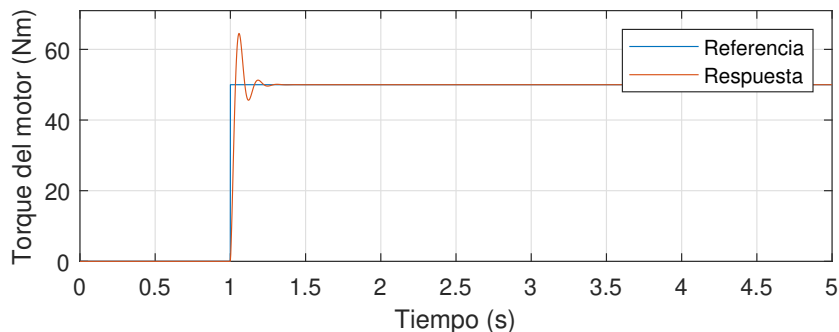


Figura 3.12: Respuesta de control de torque del motor de trafilado

3.2.4.b. Pruebas de control en modo control de velocidad

Esta es la prueba más importante para este motor dado que es la forma en la que operará en el sistema completo, el modelo utilizado está en la figura 3.13. Para las pruebas se considera una referencia de 100 RPM y una perturbación de roce lineal con la velocidad angular adicional al roce modelado en las ecuaciones vistas en el punto 3.2.3. El control de velocidad es bastante certero (ver Fig. 3.14) y se ajusta rápidamente a la referencia siendo acorde a las necesidades del control para esta máquina.

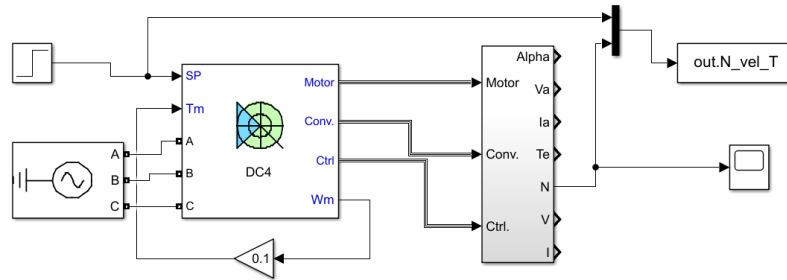


Figura 3.13: Modelo utilizado para probar el control de velocidad del motor del trafilado

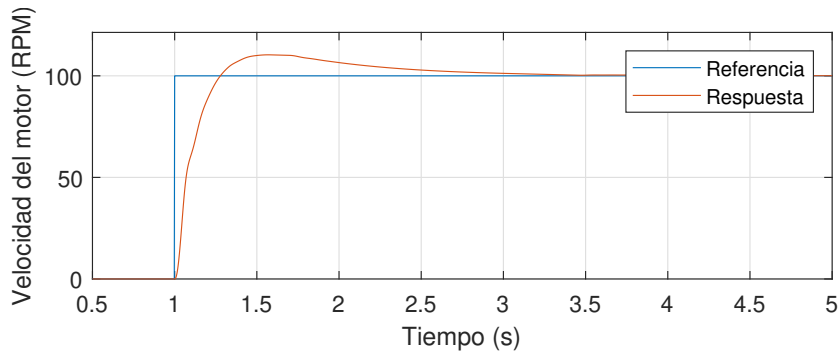


Figura 3.14: Respuesta del control de velocidad motor de trafilado

3.3. Modelo de recocido por Corto Circuito

El recocido por cortocircuito está basado en cuatro elementos principales:

1. Controlador de recocido.
2. Transformador de recocido.
3. Rectificador de recocido.
4. Cámara de recocido.

El controlador de recocido es un variador de tensión basado en Triac el cual recorta la onda de tensión para ajustar la tensión deseada. Esta onda una vez recortada es la entrada de alta tensión del transformador de recocido, el cual tiene una relación de $380/48 V_{AC}$. Esta tensión reducida es rectificadora por un puente de diodos y conducida a la cámara de recocido donde el hilo de cobre pasa entre poleas energizadas generando el cortocircuito que genera el recocido del hilo de cobre.

3.3.1. Hipótesis de modelado

Para modelar el recocido se tomaron las siguientes consideraciones:

1. El transformador es lineal.
2. El lado de alta del transformador es conectado en delta.
3. Los tiristores del controlador están posicionados al interior del delta del transformador (ver Fig.3.15)
4. Se limita el ángulo de disparo entre 0 y 130 grados.
5. El puente rectificador es suficiente para manejar toda la corriente del recocido.
6. El recocido se activa a una velocidad superior a los $10 m/min$.
7. La tensión debe seguir la relación $E = \sqrt{V} * 11.1 * F$ donde F es un factor empírico ingresado por el operador dependiendo del grado de recocido deseado.

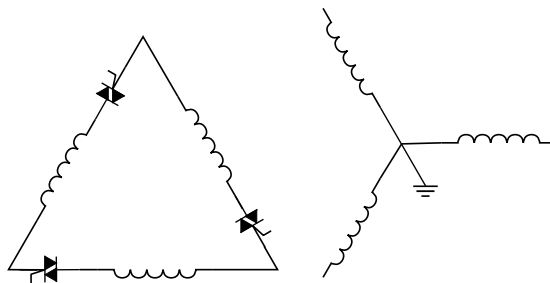


Figura 3.15: Diagrama que representa la disposición de los triac respecto a los devanados del transformador

En primer lugar, es necesario caracterizar los distintos elementos del sistema:

Utilizando los datos de las tablas 3.4, 3.5 y 3.6 se procedió a confeccionar el modelo del recocido presentado en la figura 3.16.

Transformador de recocido			
Item	Descripción	Magnitud	Unidad
1	Potencia nominal	83	kVA
2	Frecuencia nominal	50	Hz
3	Tensión primario	400	Vac
4	Tensión secundario	48	Vac
5	Reactancia primario	0,025	p.u.
6	Reactancia secundario	0,025	p.u.
7	Reactancia magnetizante	200	p.u.
8	Resistencia primario	0,002	p.u.
9	Resistencia secundario	0,002	p.u.
10	Resistencia magnetizante	200	p.u.

Tabla 3.4: Datos del transformador de recocido

Rectificador			
Item	Descripción	Valor	Unidad
1	Semiconductor	Diodos	-
2	Tensión de paso	0,7	Vdc
3	Configuración	Puente	-
4	Nº de fases	3	-

Tabla 3.5: Datos del rectificador de recocido

Convertidor			
Item	Descripción	Valor	Unidad
1	Semiconductor	Triac	-
2	Tensión de paso	0,7	Vdc
3	Configuración	Delta	-
4	Nº de fases	3	-

Tabla 3.6: Datos del controlador de recocido

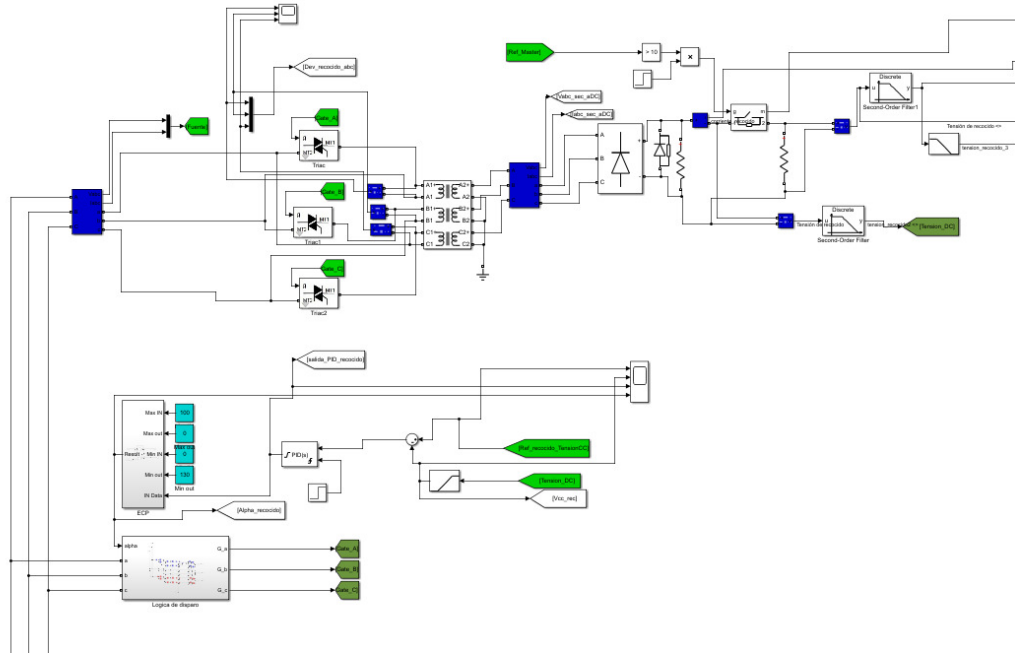


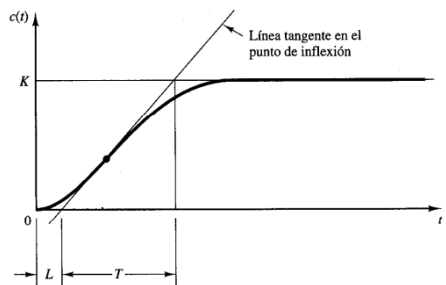
Figura 3.16: Modelo del proceso de recocido

3.3.2. Ajuste de control PID

El modelo utilizado no permite realizar un análisis como el efectuado anteriormente para el motor del trefilado, ante esta situación se utilizarán métodos empíricos para realizar el ajuste de PID.

3.3.2.a. Estimación de lazo abierto por Ziegler-Nichols

Para utilizar este método es necesario utilizar la planta en lazo abierto e ingresar un valor de entrada, y el resultado de la planta será una gráfica con forma de S (ver Fig. 3.17).



Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

Figura 3.18: Formulas de Ziegler-Nichols para la-

Figura 3.17: Respuesta de planta en lazo abierto para usar método de Ziegler-Nichols

Una vez que la respuesta sea de la forma vista en la figura 3.17 se puede aplicar las fórmulas presentes en la tabla 3.18

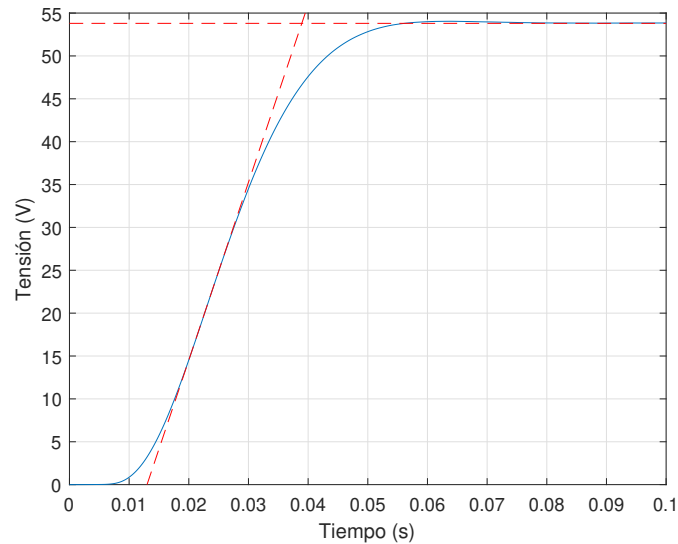


Figura 3.19: Respuesta de lazo abierto del convertidor de recocido

De la figura 3.19 se obtienen los valores de los parámetros de las fórmulas de Ziegeler-Nichols:

$$L = 0.013$$

$$T = 0.02594$$

$$K = 53.8$$

Utilizando estos datos como entrada para las fórmulas de controladores PI y PID vistas en la tabla 3.18 se obtiene el siguiente ajuste para el controlador PI:

$$K_p = 0.9 \frac{T}{L} \tag{3.16}$$

$$T_i = \frac{L}{0.3} \tag{3.17}$$

Pero la forma del PI paralelo es:

$$P + I \frac{1}{s} \tag{3.18}$$

por lo que las ganancias tendrán la siguiente forma:

$$P = K_p$$

$$I = \frac{1}{T_i}$$

Los valores para las ganancias del PI paralelo son:

$$P = 1.796$$

$$I = 23.077$$

3.3.2.b. Prueba del PI de tensión

Para probar el control del PI de tensión se utilizará una referencia variable, y el recocido tendrá un cortocircuito acorde a estar trefilando un cable de 18 AWG, es decir, una resistencia de 0.0324Ω .

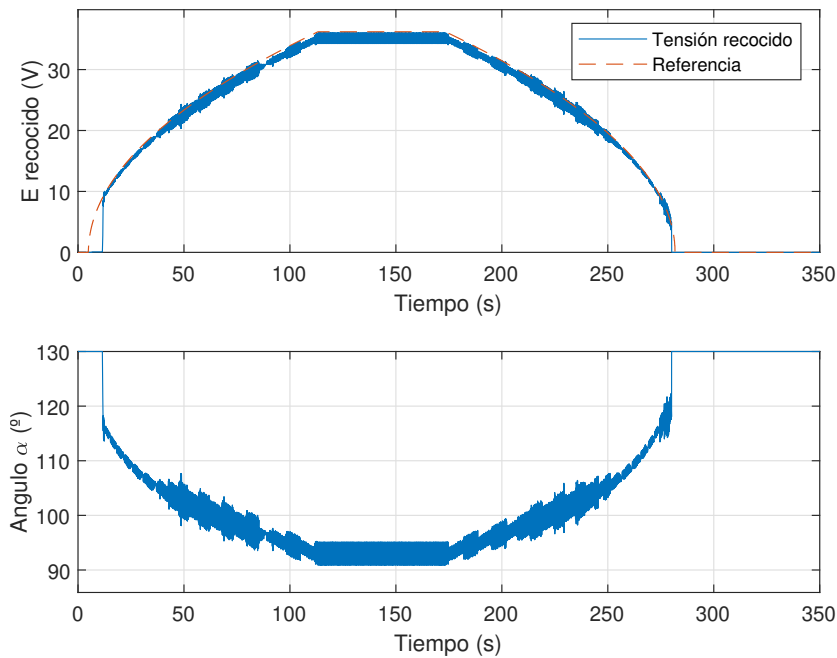


Figura 3.20: Prueba dinámica del recocido

Realizadas las pruebas, estas fueron satisfactorias (ver Fig.3.20) el control sigue de forma adecuada la referencia, a pesar que en estado estacionario se ve un pequeño desplazamiento respecto a la referencia, esto se debe a que la fuente de tensión (el transformador) baja su tensión de salida debido a la alta corriente que pasa por el trefilado por la baja resistencia del cable al usar un calibre tan grande.

3.4. Modelo recibidor de carrete

El recibidor de carrete corresponde a un motor de 10 HP el cual a través de una caja de velocidades hace girar un carrete en el que se enrolla el hilo de cobre proveniente del trefilado una vez que ha pasado por el recocido.

3.4.1. Hipótesis de modelado

Para el modelado de este elemento de la línea es necesario considerar los siguientes puntos:

1. Si bien la caja de velocidades de este elemento de la línea 040 tiene más de una marcha, solo se considerará una intermedia que sea capaz de abarcar el rango de $0 m/min$ a

1200 *m/min* con carrete vacío.

2. Debido a que no hay *dancer* para absorber las diferencias de velocidad entre los distintos elementos de la línea, este elemento trabajará en modo de control de torque.
3. La inercia utilizada para modelar la máquina será con carrete vacío, debido a que cuando se ajustan los controladores PID de los *drive* reales existen principalmente dos formas de auto ajuste de los PID, que son el dinámico y estático. Al ser ejecutado el dinámico este calcula la inercia total del sistema acoplado, es decir, este ajuste se puede ejecutar con el carrete vacío de forma segura.
4. Se estima la inercia del carrete es de 1.48 *kgm²*.
5. Se considera que el diámetro interior del carrete vacío es de 300 *mm*.
6. Se considera para el modelado que la inercia va cambiando con cada vuelta del carrete.
7. Se considera un factor de relleno del cable en el carrete de 80 %.
8. La densidad del cobre trefilado oscila entre 8900 *kg/m³* a 8950 *kg/m³*. dependiendo de su pureza, para la simulación se considera una densidad de 8930 *kg/m³*.
9. El valor del módulo de elasticidad del cobre se considera 110000 *N/mm²*.
10. Se considera que el largo del hilo de cobre entre la trefiladora y el receptor es de 9.5 *m*.

3.4.1.a. Ajuste PI de corriente con PID tuner del Control System Toolbox de MatLab

Para el ajuste del PI de corriente utilizaremos un modelo con la misma forma al utilizado para ajustar el PI de corriente del motor del trefilado, esto quiere decir que es necesario conocer o realizar una estimación razonable(ver tabla 3.7) de los parámetros del motor para ingresarlos al modelo (ver ec. 3.19).

$$\frac{i_a(s)}{v_a(s)} = \frac{1}{L_a s + R_a} \quad (3.19)$$

Los valores pertenecientes a la ecuación deben ser ingresados al modelo en Simulink (ver Fig. 3.21) y realizar los ajustes con *PID tuner* como se ve en la figura 3.22.

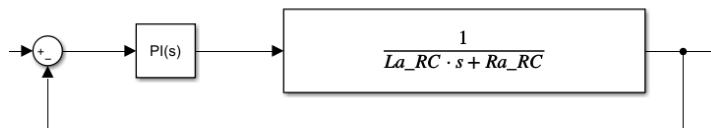


Figura 3.21: Modelo utilizado para ajustar el PI de corriente del receptor de carrete

Item	Descripción	Magnitud	Unidad
1	Tensión nominal de armadura	240	Vdc
2	Corriente nominal de armadura	37	A
3	Tensión de nominal de campo	150	Vdc
4	Corriente nominal de campo	2,13	A
5	Inductacia mutua	0,45	H
6	Resistencia de armadura	0,78	?
7	Inductacia de armadura	0,016	H
8	Resistencia de campo	70,4	?
9	Inductacia de campo	0,112	H
10	Potencia	20	HP
11	Velocidad nominal	1750	RPM

Tabla 3.7: Caracterización del motor del recibidor 1

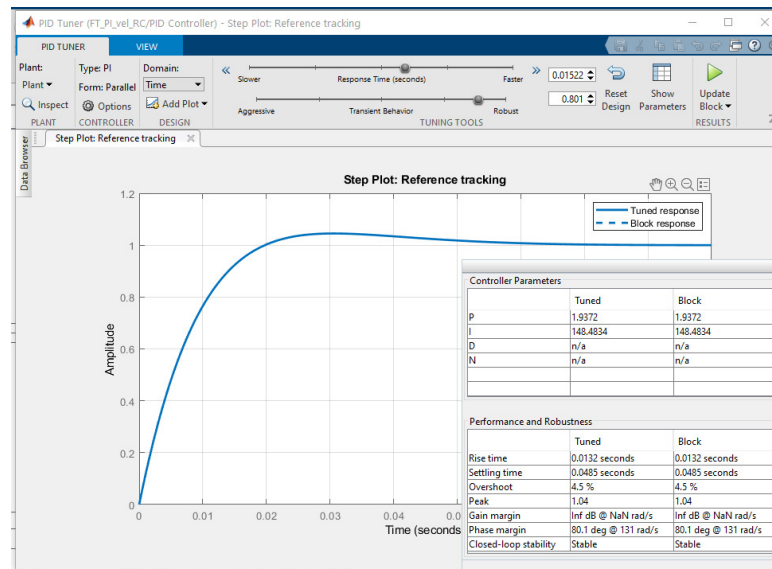


Figura 3.22: Ajuste de PI de corriente recibidor de carrete

Los valores obtenidos para el PI de corriente acorde a la figura 3.22 son:

$$P = 1.9372$$

$$I = 148.4834$$

3.4.2. Pruebas de controlador PI de corriente

Para las pruebas se utiliza un modelo simplificado del motor que incluye el *drive*, además de la inercia producida por el carrete (ver Fig. 3.23). Como referencia de entrada para el control de torque se utiliza un escalón de valor 10 aplicado en $T = 0\text{ s}$.

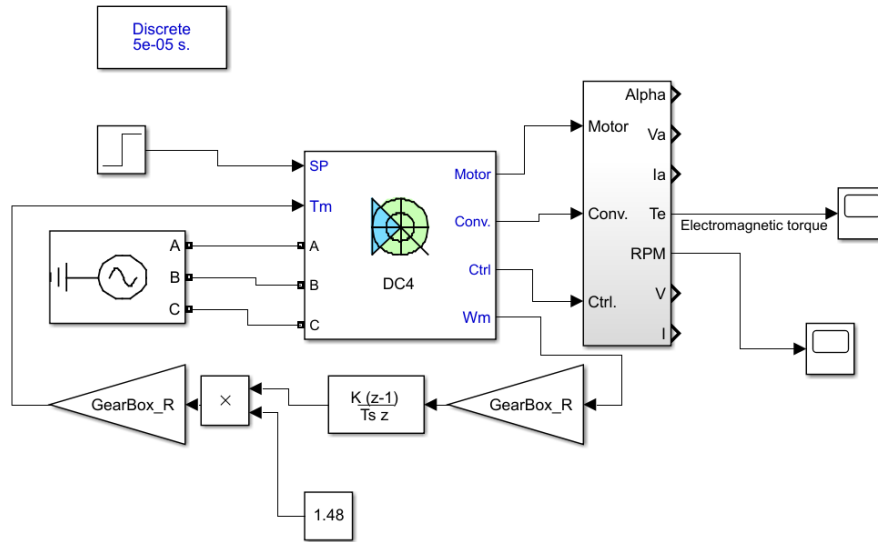


Figura 3.23: Modelo simplificado para las pruebas de controlador PI

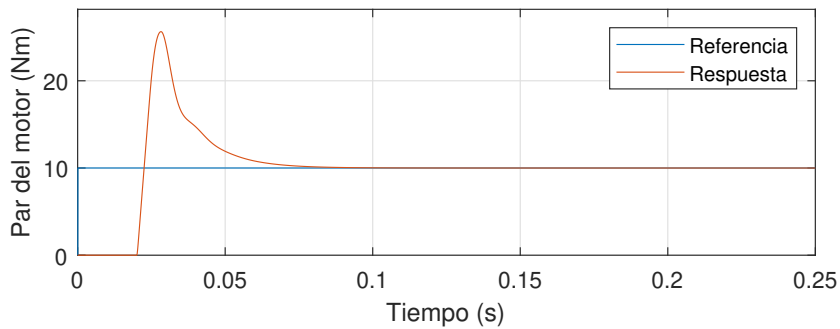


Figura 3.24: Respuesta de control del motor del receptor 1

En la figura 3.24 se observa una respuesta muy rápida y un seguimiento de la señal muy rápido, pero esto genera que el torque tenga un gran overshoot.

3.5. Modelo receptor de tambor

El modelado del receptor de tambor será prácticamente idéntico al motor del receptor de carrete, puesto que ambos motores son de la misma tensión, potencia y velocidad, es por esta razón que se utilizarán los mismos parámetros eléctricos. Las diferencias de modelado entre los dos receptores son solo mecánicas, donde por el lado del receptor de carrete tenemos inercias variables y por el lado del receptor de tambor las inercias son fijas e invariantes en el tiempo. Las demás variables se mantienen constantes para ambos lados ya que las condiciones que deben asegurar los receptores son iguales.

Capítulo 4

Resultados de las simulaciones

Se realizarán dos simulaciones cuyas condiciones se muestran a continuación:

Condiciones de simulación		
Descripción	valor	Un.
Velocidad nominal	600	m/min
Calibre trefilado	18	AWG
Factor de recocido	0.7	p.u.
Tensión en el cable	5	kg

Tabla 4.1: Datos para la primera simulación

Condiciones de simulación		
Descripción	valor	Un.
Velocidad nominal	750	m/min
Calibre trefilado	18	AWG
Factor de recocido	0,4	p.u.
Tensión en el cable	5	kg

Tabla 4.2: Datos para la segunda simulación

4.1. Primera simulación

4.1.1. Resultados del trefilado

En la figura 4.1 se observa la velocidad de trefilado y la acción del torque inverso sobre la trefiladora la cual muestra un buen control de la velocidad de línea (dado que esta es quien la impone), esto implica que el PI de corriente y velocidad actúan correctamente en conjunto sin crear oscilaciones visibles.

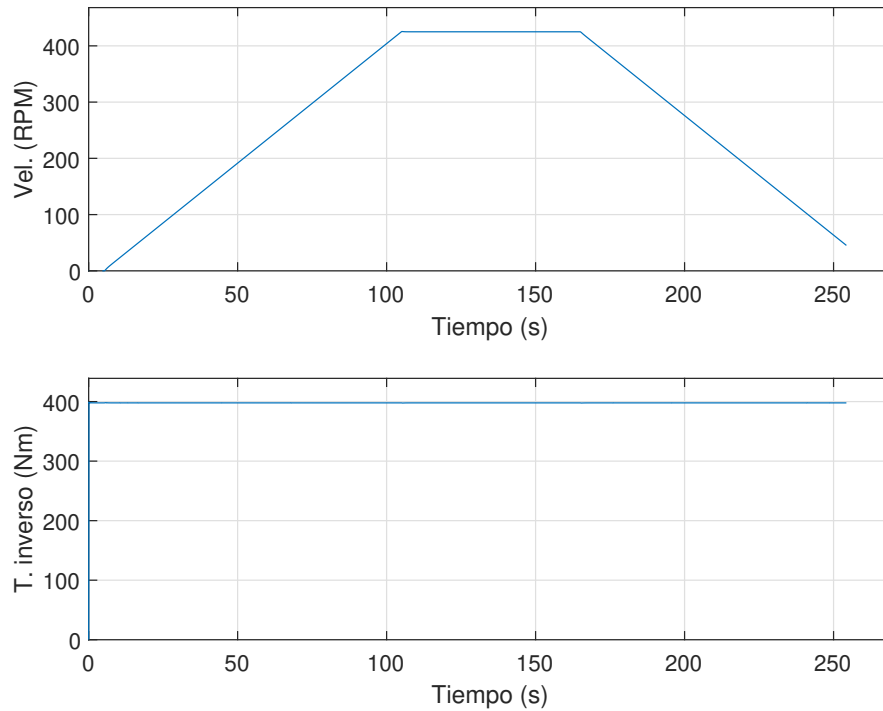


Figura 4.1: Dinámica de variables mecánicas de la trefiladora, simulación 1

La tensión de armadura va subiendo proporcionalmente a la velocidad de trefilado y la corriente se mantiene estable en torno al valor de referencia indicado por el PI de velocidad (ver Fig. 4.2).

La tensión de armadura es proporcional a la velocidad de trefilado, lo cual permite mantener la corriente constante a medida que el V_{rot} se incrementa por el aumento de velocidad del motor, además que el torque electromagnético es coherente con el torque de carga que se observa en la figura 4.1. Los resultados que van apareciendo indica que la simulación es coherente y que no hay fallos graves o parámetros mal ingresados.

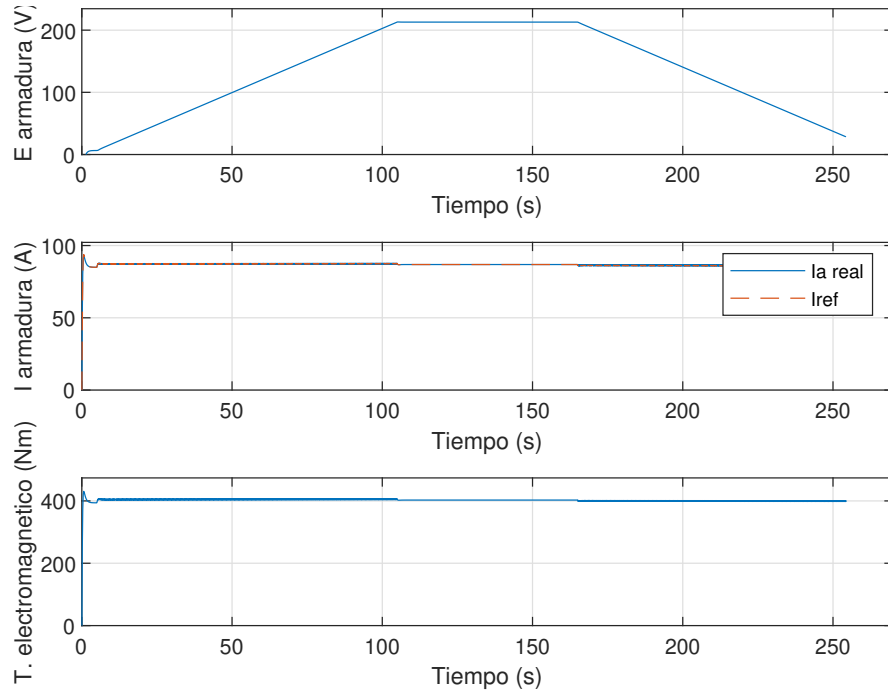


Figura 4.2: Dinámica de variables eléctricas de la trefiladora, simulación 1

4.1.2. Resultados del recocido

El proceso de recocido que fue uno de los más difíciles de modelar ya que, se hizo necesario modelar completamente el convertidor debido a que no existía un bloque equivalente en SimScape, por lo cual es necesario analizarlo en más detalle.

En la figura 4.3 se puede observar el ángulo de disparo y la tensión continua aplicada por el recocido al hilo de cobre, es importante notar que el seguimiento de la referencia no es perfecto, dicha situación se debe a que el controlador va ajustando el ángulo de disparo debido a la caída de tensión de la fuente. Si bien pareciera que $35 V_{dc}$ no es una gran tensión para mantener - teniendo en cuenta que la salida del transformador es al rededor de $48 V_{ac}$ - la resistencia del cable que se encuentra entre ambos bornes es un hilo de cobre con una pureza del 99 % lo que da aproximadamente 0.0324Ω lo que hace circular una corriente cercana a $1 kA$; considerando esto podemos ver que el convertidor se satura y no es capaz de seguir correctamente la referencia.

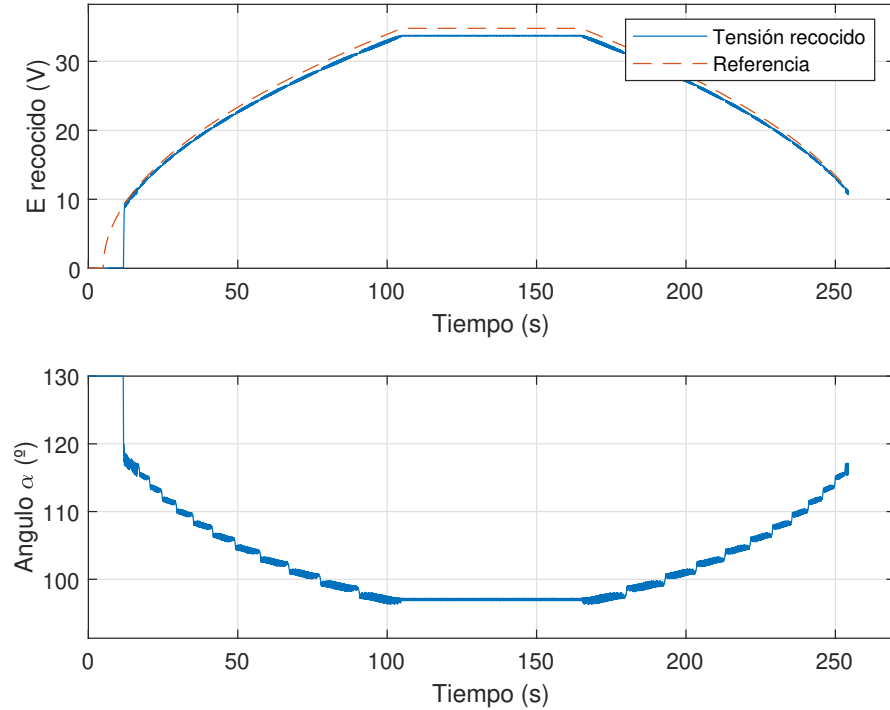


Figura 4.3: Dinámica de tensión del recocido y ángulo de disparo, simulación 1

La tensión en el primario del transformador está dada por los ángulos de disparo de los TRIAC (ángulo α) pero, la tensión que se aprecia en estos, no tiene la forma clásica que debería apreciarse para un convertidor de este estilo; esto se debe principalmente a la alta corriente que circula por los devanados, dado que su lado de baja está rectificado y en cortocircuito debido al hilo de cobre que une ambas poleas del recocido, provocando que la corriente por el devanado sea muy alta llevando a que el corte de conducción del TRIAC se realice a una tensión sumamente alta también (ver Fig. 4.4) donde la tensión de corte de conducción es cercana a los $400 V_{ac}$.

La tensión del secundario del transformador obtiene esta forma debido a los cambios bruscos de conducción de los TRIAC además el transformador funciona como un filtro pasa bajos para la onda de tensión.

Como se mencionó anteriormente, la tensión del secundario es rectificadora. Esto se realiza con un puente de diodos, es decir, es un rectificador no controlado. El rectificador tiene por cometido generar la tensión continua para el recocido, permitiendo distribuir la potencia utilizada en el cortocircuito entre los tres devanados del transformador. Este método ha utilizado es aplicado debido a sus ventajas técnicas, dentro de las cuales se encuentra su capacidad de distribuir la carga entre las tres fases, porque si se utilizara tensión alterna para realizar el recocido, esta solo podría provenir de una o dos fases de la red, lo cual generaría un desequilibrio en las corrientes y tensiones de fase y que además con su potencia variable -acorde a las necesidades del recocido- sería difícil de compensar con otras cargas para equilibrar la red. Dicho proceso de rectificación de la tensión se puede observar en la figura 4.5.

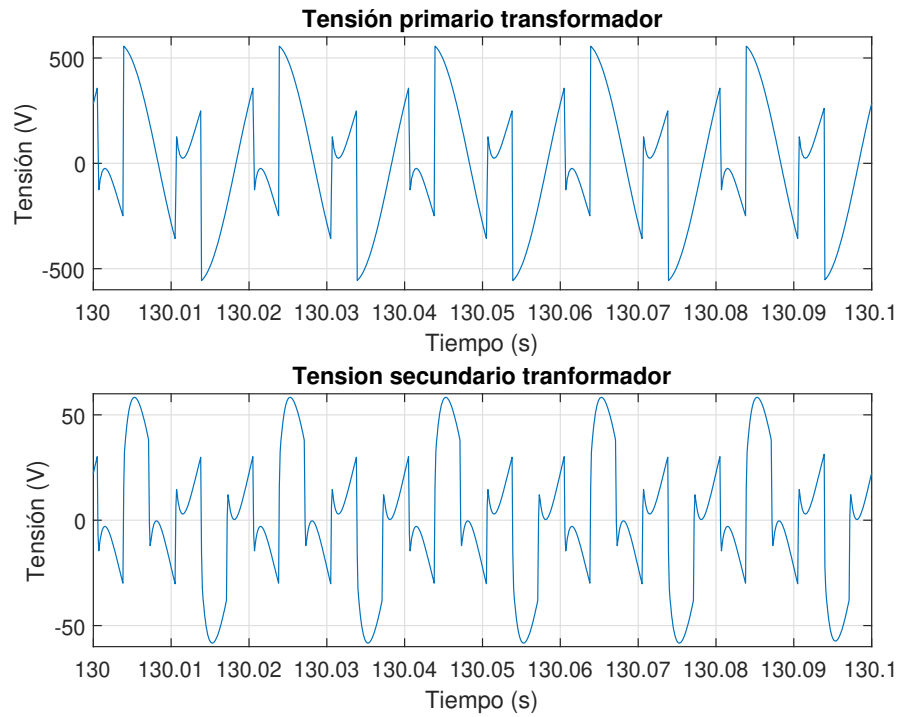


Figura 4.4: Tensión en devanados primario y secundario del transformador de recocido, simulación 1

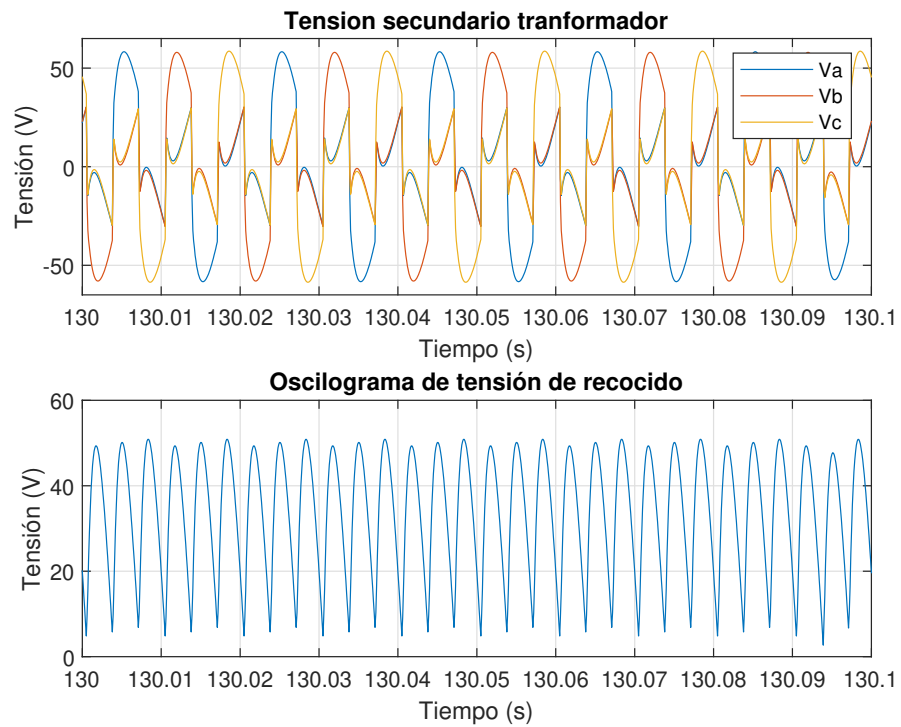


Figura 4.5: Forma de onda a la entrada y salida del rectificador.

4.1.3. Resultados del receptor de carrete

El receptor de carrete tiene por función almacenar el hilo de cobre trefilado, además esta máquina es la encargada de mantener la tensión mecánica adecuada en el hilo de cobre para que el proceso se pueda realizar de forma correcta. Eso quiere decir que la tensión mecánica generada en el cable por medio del receptor debe mantenerse dentro de un rango aceptable para no cortar o sobre estirar el cable. La tensión adecuada para el proceso es de 3 kg a 7 kg , esto permite que la trefiladora no resbale ni se sobre estire el cable, lo cual causa los cortes en el trefilado y como se observa en la figura 4.6 esto se cumple durante la dinámica del proceso con los actuales ajustes de los controladores PI que gobiernan en el control del motor de receptor.

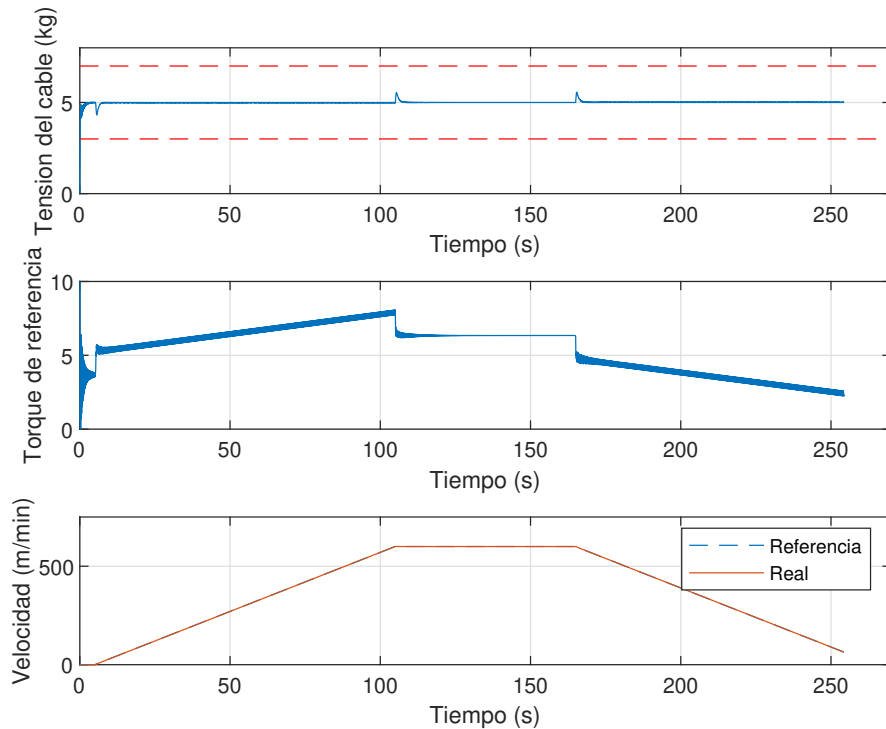


Figura 4.6: Tensión del hilo de cobre en el proceso de trefilado, simulación 1

En la figura 4.7 se puede observar que no se superan los límites del motor de receptor, además de tener un buen seguimiento de la referencia de torque en estado estacionario, solo tiene pequeñas oscilaciones durante los periodos dinámicos siendo esto exacerbado debido a que la referencia de velocidad para el trefilado es una señal escalonada como se mencionó en los capítulos anteriores.

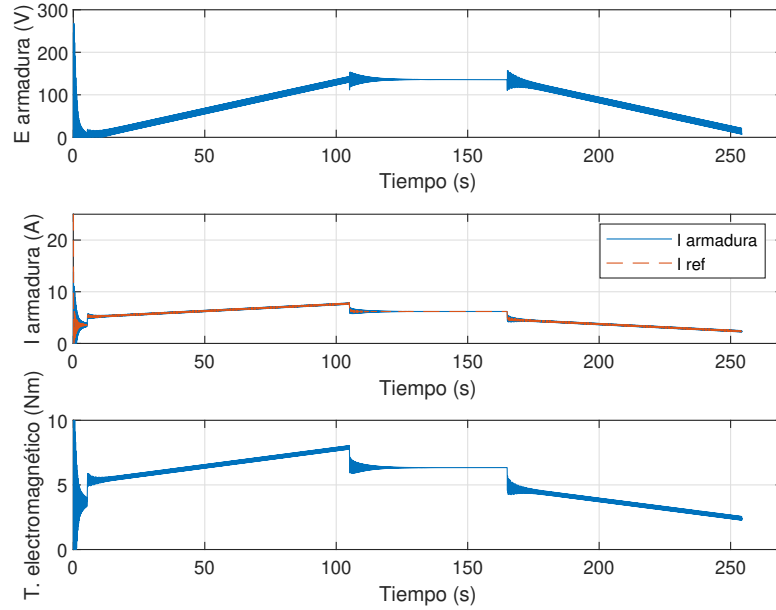


Figura 4.7: Dinámica de variables eléctricas motor receptor de carrete, simulación 1

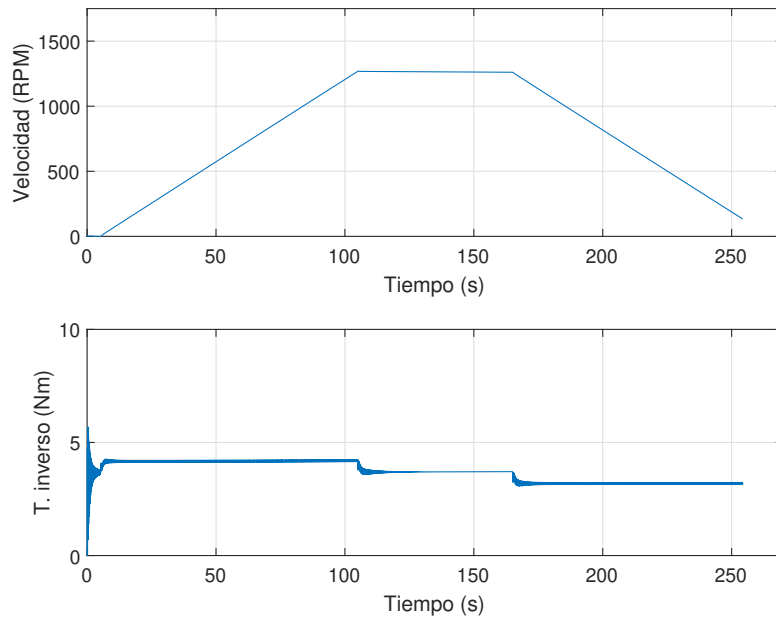


Figura 4.8: Dinámica de variables mecánicas motor receptor de carrete, simulación 1

La velocidad del receptor (ver Fig. 4.8) varía de acuerdo a la velocidad de trefilado. En las zonas dinámicas no es visible el pequeño cambio de pendiente que existe debido a que se modeló el proceso en el cual el diámetro interior del carrete aumenta a medida que avanza el proceso de trefilado, lo cual influye en la inercia del carrete. Este efecto es más notorio al observar la velocidad en estado estacionario donde se nota una leve disminución de la velocidad del motor a medida que avanza el tiempo.

4.2. Segunda simulación

4.2.1. Resultados del trefilado

Al igual como se mencionó en los resultados de velocidad máxima en 600 m/min , la trefiladora se comporta correctamente en toda la dinámica impuesta en la simulación como se observa en la figura 4.9. Donde se aprecia que es capaz de acelerar sin problemas a pesar del torque inverso aplicado.

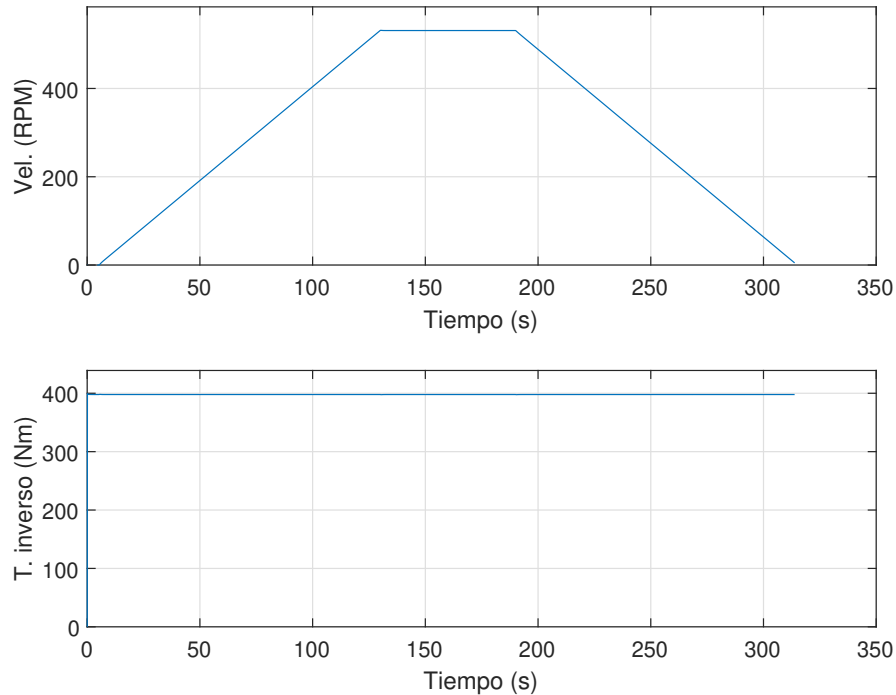


Figura 4.9: Dinámica de variables mecánicas de la trefiladora, simulación 2

El comportamiento de las variables eléctricas del motor de la trefiladora se encuentra dentro de los parámetros aceptables, no sobrepasando en ningún momento los parámetros nominales del motor para la dinámica impuesta (ver Fig. 4.10). Es posible verificar que los controladores PI con los que se ajustó esta máquina funcionan bien, esto se observa en la figura 4.10 que nos muestra un muy buen seguimiento de la referencia de corriente de armadura.

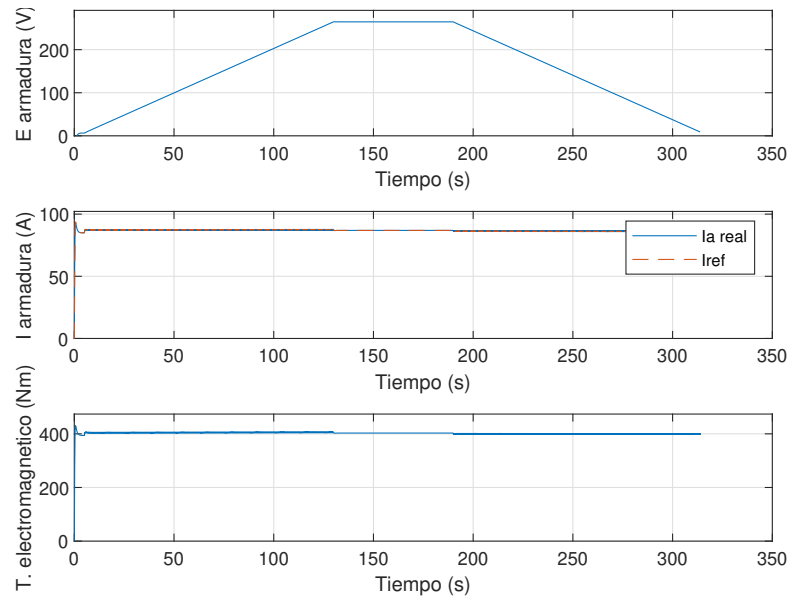


Figura 4.10: Dinámica de variables eléctricas de la trefiladora, simulación 2

4.2.2. Resultados del recocido

Los resultados obtenidos del controlador de recocido son muy similares a los obtenidos en la simulación N° 1 visualizando una pequeña desviación de la referencia (ver Fig. 4.11) donde el controlador no logra ajustar la tensión del recocido correctamente debido a que la tensión de la *fuentes* se cae por la caída de tensión en la impedancia interna de esta como consecuencia de las altas corrientes.

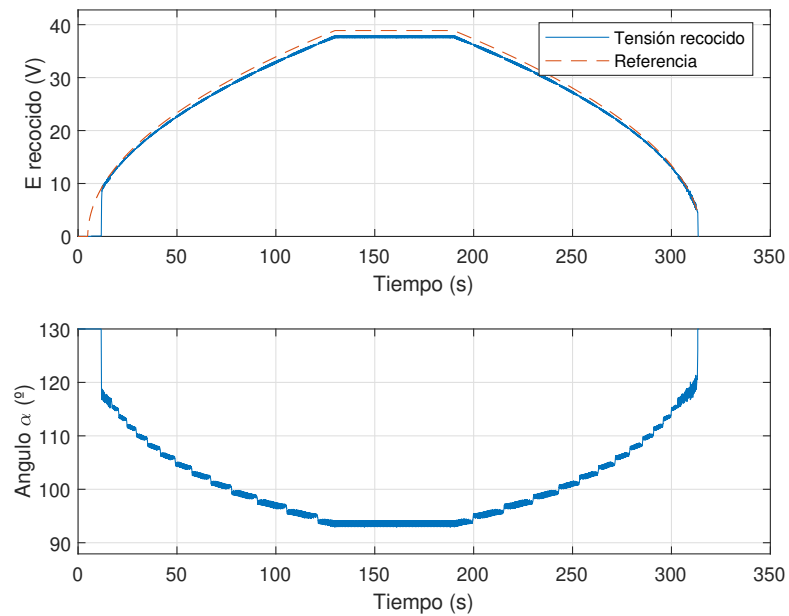


Figura 4.11: Dinámica de tensión del recocido y ángulo de disparo, simulación 2

Además, es posible observar que la tensión de recocido está en cero al inicio y al final del trefilado. Este corte, en el recocido, fue introducido para asimilar el modelo a la realidad donde dicha condición de apagar el recocido bajo cierta velocidad de trefilado es una condición de operación.

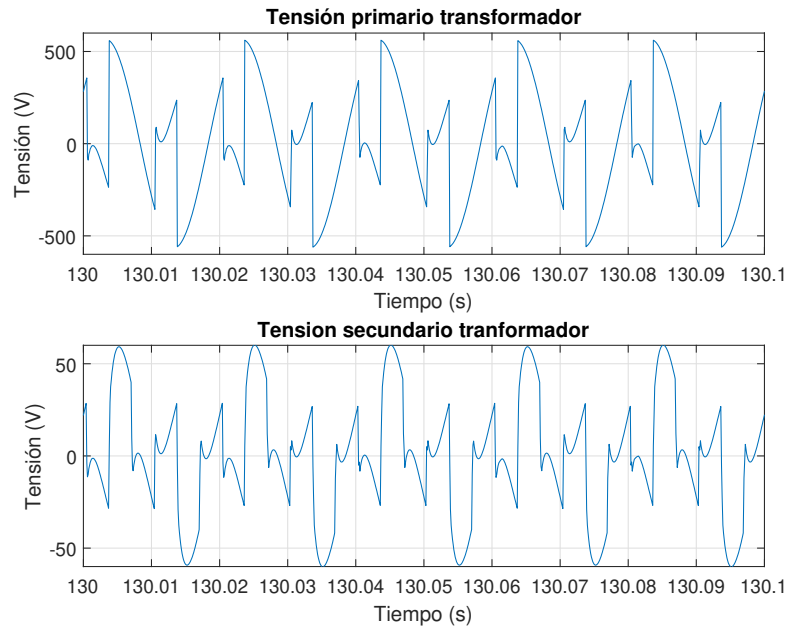


Figura 4.12: Tensión en devanados primario y secundario del transformador de recocido, simulación 2

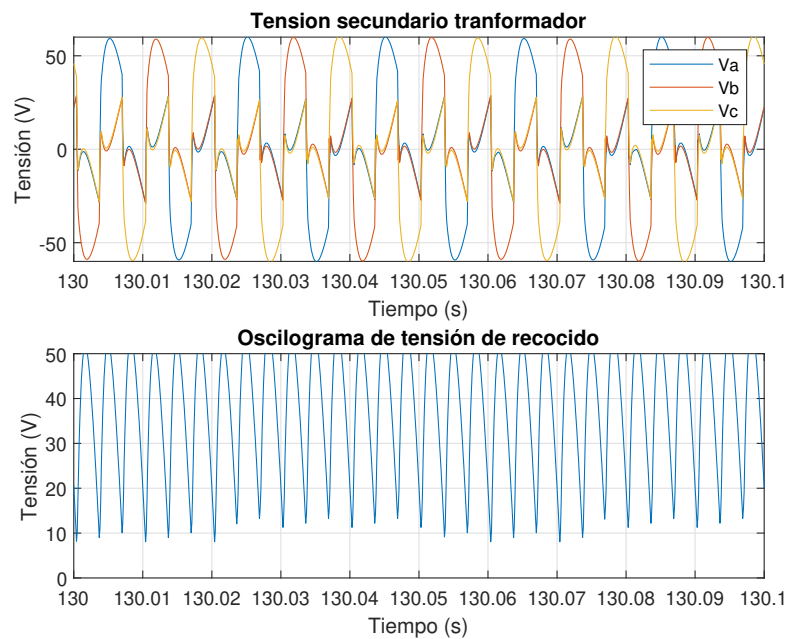


Figura 4.13: Señales de entrada y salida del rectificador

En la figura 4.12 se observan las tensiones a la entrada y salida del transformador. Al igual que en la primera simulación se ve que el corte de los tiristores se da a un nivel de tensión bastante alto, además se puede observar como el transformador actúa como filtro pasa bajos para la señal de tensión.

En la figura 4.13 Se observa que la señal de salida del rectificador es congruente con la entrada, así como la entrada con la tensión de salida vista en la figura 4.12. La señal resultante del rectificador es correcta y tiene valor medio distinto de cero y, como se aprecia en la figura 4.11 su valor medio es ajustable y cambia acorde a las necesidades del recocado.

4.2.3. Resultados del recibidor de carrete

El recibidor de carrete se comporta correctamente tal como se vio en la simulación N°1 donde la velocidad final era de 600 m/min y como se aprecia en la figura 4.14 el recibidor es capaz de mantener correctamente la tensión a lo largo de la dinámica impuesta logrando con esto un proceso de trefilado correcto acorde a las especificaciones impuestas por la empresa.

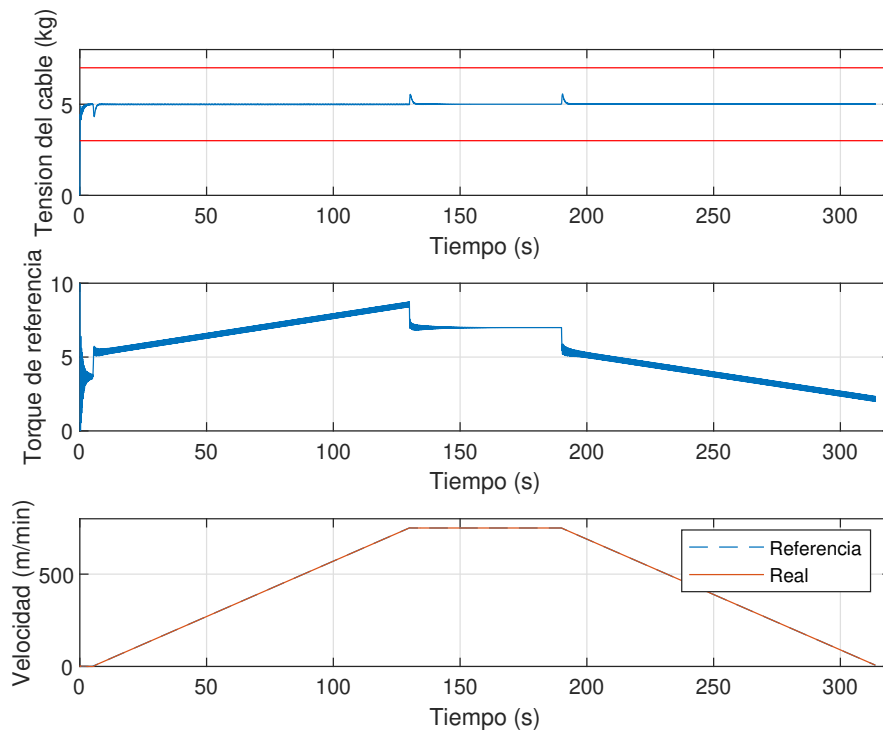


Figura 4.14: Tensión del hilo de cobre en el proceso de trefilado, simulación 2

Las curvas observadas en la figura 4.15 nos muestran que no se superan los límites del motor del recibidor, lo que nos indica que el control está correcto al igual que el modelado y simulación del motor.

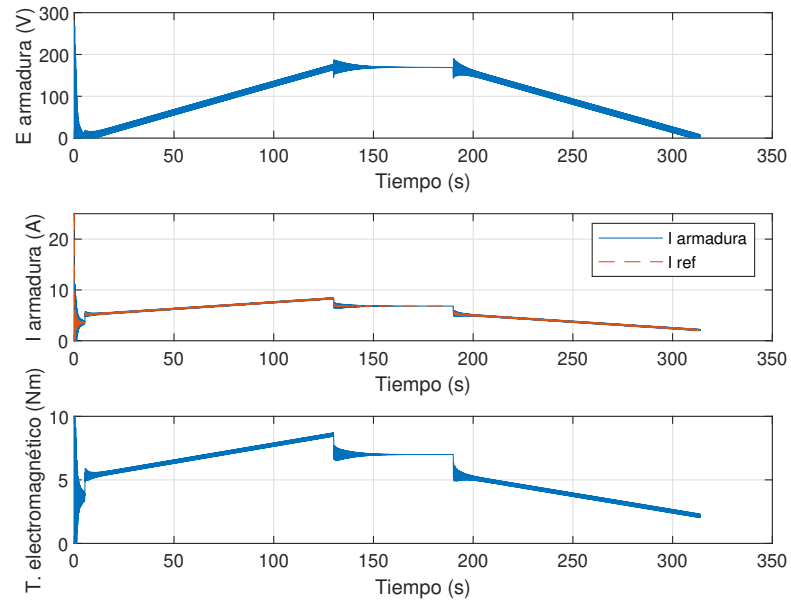


Figura 4.15: Dinámica de variables eléctricas motor receptor de carrete, simulación 2

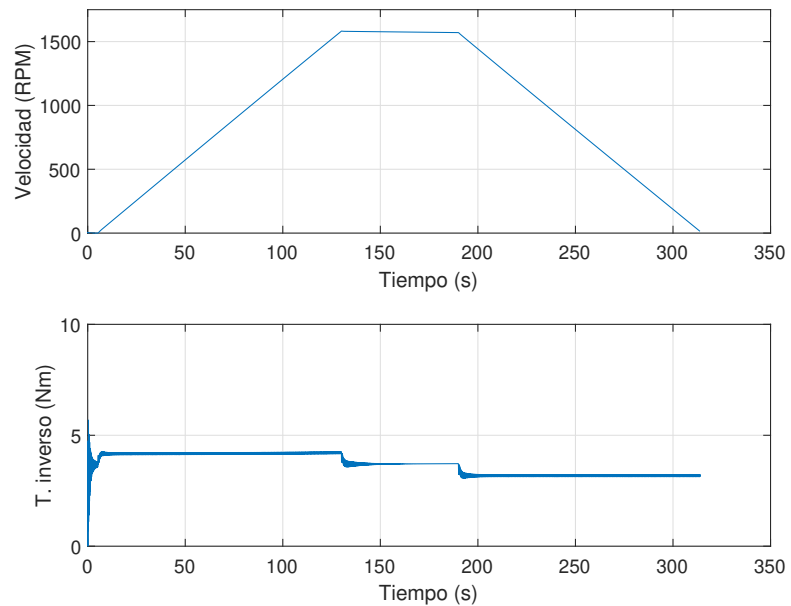


Figura 4.16: Dinámica de variables mecánicas motor receptor de carrete, simulación 2

Respecto a las variables mecánicas se puede ver (figura 4.16) que en la zona estacionaria del proceso, la velocidad en RPM del motor, tiene una leve pendiente decreciente, por el crecimiento del diámetro interior de carrete, este efecto es más notorio en esta simulación que en la anterior debido al aumento de la velocidad del trefilado.

4.3. Análisis de productividad de la línea 040

Para hacer una comparativa respecto a la productividad de la línea antes y después del cambio propuesto, tomaremos las siguientes hipótesis:

- La velocidad máxima de la línea después de aplicar el nuevo sistema de control será 900 m/min .
- El tiempo de cambio de carrete se verá ponderado por la nueva velocidad de trabajo.
- El tiempo de mantenimiento será solo de un día mensual.

Con estas consideraciones podemos aproximar la nueva producción por la línea 040 junto con las pérdidas asociadas a la producción. Al igual a lo analizado en el capítulo 2 utilizaremos una operación de 5 días a la semana con tres turnos de 8 horas. Para calcular las pérdidas por producción no podemos hacer una comparativa directa debido a que se desconoce la tasa de cambio de la velocidad con el sistema de control original, por lo cual aproximaremos las pérdidas con las siguientes condiciones:

- El recocido parte a la velocidad de 10 m/min y se detiene cuando baja de esta velocidad de procesamiento.
- Para el cálculo se tomará un calibre de 18 AWG.
- La pendiente de aceleración es en escalones de 0.6 m/min cada 0.1 s la cual será aproximada por una recta.

La recta que aproxima la velocidad en m/s es:

$$y = 0.1x \tag{4.1}$$

Si la integramos desde 0 a 10 m/min o 0.1667 m/s :

$$\int_0^1 0.667 \cdot 0.1x \, dx = 0.1389\text{ m} \tag{4.2}$$

Dado que esto ocurre tanto en la partida como en la parada tenemos una pérdida por carrete de alrededor de $0,278\text{ m}$ a pesar de esto, en la realidad el operador descarta al rededor de 20 a 60 m por recocido algo variable en la última parte de la frenada. Considerando lo anterior podemos afirmar que las pérdidas por cambio de carrete oscilan entre $0,148\text{ kg}$ y 0.443 kg dependiendo del calibre trefilado.

Item	Descripción	Antes		Despues		Unidad
		Min	Max	Min	Max	
1	Horas útiles diarias	18	20	18	20	h
2	Horas productivas mensuales	360	400	360	400	h
3	Horas de mantenimiento mensual	90	100	20	20	h
4	Horas productivas netas	260	310	340	380	h
5	Velocidad de producción	500	500	900	900	m/min
6	Producción	7800	9300	18360	20520	km
7	Tiempo en llenar un carrete	2	2	1,11	1,11	h
8	Perdidas por carrete	0,5	2	0,148	0,443	kg
9	Carretes procesados mensualmente	130	155	306	342	unidades
10	Pérdidas totales por carretes	65	310	45,29	151,66	kg

Tabla 4.3: Tabla comparativa de la productividad y pérdidas antes y después de la actualización del sistema de control

La comparativa entre el antes y el después de la productividad de la línea se puede ver en la tabla 4.3.

Como se puede apreciar en la tabla 4.3 en ítem 10, considerando las pérdidas máximas después de la actualización, estas son menores que las máximas obtenidas antes de la actualización. Además si nos fijamos en el ítem 9 la cantidad de carretes procesados aumenta a más del doble en el mismo periodo de tiempo analizado. Estos datos nos indican que las pérdidas por cada carrete son significativamente menores después del cambio de sistema de control como se observa en el ítem 8 de la tabla.

Capítulo 5

Conclusiones

El sistema de control modelado es suficientemente cercano a la realidad por lo que puede ser usado como un modelo de referencia para pruebas. Si bien, no es exacto a la realidad por las dificultades para obtener las inercias, roces y torques inversos reales de los equipos mecánicos, además de la incapacidad de ensayar tanto motores como los transformadores utilizados, estas situaciones son las reales discrepancias entre la realidad y el modelo, por lo que no se logró un modelo exacto, pero si un modelo aproximado donde es válido probar las estrategias de control.

El modelo captura fielmente el comportamiento de la línea 040 el cual fue observado en su puesta en marcha después del *overhaull* de la línea que incluyó el cambio completo del sistema de control.

5.1. Estrategia de Control

Los resultados de la simulación nos indican que la estrategia de control sugerida y aplicada es factible, esto no quiere decir que sea lo óptimo, dado que existen otros enfoques posibles, los cuales no habrían aumentado la productividad de la línea aún más que lo evaluado con anterioridad en los capítulos 2 y 4, pero para poder utilizar otra estrategia se haría necesario una gran intervención en la línea, incluso agregar otros equipos tales como un *dancer* o acumulador. Dicha modificación permitiría realizar una coordinación en velocidad de los recibidores ya que el *dancer* podría absorber las diferencias de velocidad entre los recibidores y el trefilado, dando el tiempo necesario para ajustar la velocidad del recibidor y mantener un bajo error de velocidad. Otra de las grandes ventajas que puede ofrecer el *dancer* es la posibilidad de hacer partidas y paradas más rápidas ya que como acumulador esto desacopla hasta cierto punto el problema de control entre el trefilado y el recibidor, lo cual permitiría que exista una cierta diferencia entre las velocidades de la trefiladora y los recibidores. Esto hace posible que las rampas de aceleración como de frenado sean mucho más pronunciadas bajando la cantidad de material perdido por el recocado errático que ocurre a bajas velocidades.

Los actuales variadores de velocidad para motores de corriente continua tienen sistemas de control que aceptan dinámicas muy rápidas lo cual permite un control muy preciso, en especial a lazo cerrado, donde son capaces de ajustarse muy rápidamente a los requerimientos de velocidad o torque, pero la ejecución de su lógica tiene un retardo de 2 ms a 4 ms , sin contar los tiempos de ejecución del PLC el cual demora entre 2 ms a 10 ms en ejecutar sus rutinas, las cuales miden las variables del sistema y ejecutan las correcciones. Esto quiere decir, que si deseáramos realizar una coordinación en velocidad sin el *dancer* tendríamos un retardo de al menos 4 ms solo para

decidir qué ajuste hacer a las variables del sistema sin contar los retardos de los semiconductores que dependen de la frecuencia de la portadora del PWM. Este retraso, si se evalúa a una velocidad de trefilado de 900 m/min o 15 m/s implica que en ese tiempo (considerando un error de un 5 % de la velocidad del receptor respecto al trefilado) tendríamos un estiramiento de:

$$0.03\text{ m} = 0.04\text{ s} \cdot 15\text{ m/s} \cdot 0.05$$

Lo cual es suficiente para generar una tensión en el cable de:

$$T = \frac{0.03}{9.5} AE$$

$$T = \frac{0.03}{9.5} 0.8230 \cdot 110000/9.81$$

$$T = 29\text{ kg}$$

Por lo cual es inaceptable para el proceso, dado que esta tensión sobre-estiraría el hilo de cobre y/o se cortaría. Lo anterior fue la razón principal para desarrollar la estrategia de control presentada en el capítulo 3, dicha estrategia fue probada en la línea real dando buenos resultados, ratificando que el enfoque fue el correcto.

5.2. Control de motores

El control de los motores se basó en controladores del tipo PI, pero actualmente los *drive* de corriente continua no utilizan solamente este tipo de controlador, si no controladores PID los que son auto ajustados a través de métodos propietarios de la marca de cada *drive* pero como se vio con anterioridad en el capítulo 3, es necesario conocer los parámetros del motor para poder ajustar los parámetros del controlador. Para conocer los parámetros del motor los *drive* actualmente cuentan con facultades que les permiten *ensayar* los motores, es decir, aplican tensiones variables y hacen circular corrientes a través de la armadura y el campo; al medir las respuestas a la tensión aplicada infieren los parámetros de la máquina.

La gran diferencia en el control de los motores modelados y los reales se basan en los métodos de ajuste de los controladores además, los parámetros de los motores simulados fueron inferidos a partir de las placas de estos, mientras que en el sistema real los *drive* realizaron los ensayos de auto ajuste tanto estático como dinámicos, es decir, se obtuvieron los parámetros reales de las máquinas a controlar. Pero el objetivo de este estudio era probar que era factible realizar un control de este tipo y desarrollar una estrategia de control que pudiera ser llevada a la realidad. Dentro del modelado de este sistema se dejó fuera varios sistemas auxiliares debido a que no representaban una dificultad o algo digno de mayor análisis ya que, solo eran sistemas que funcionaban en on/off, partiendo unos segundos antes de iniciar el trefilado y se detienen un par de segundos después de parar de trefilar.

En cuanto al receptor de tambor este no fue modelado dado que su única diferencia teórica con el receptor de carretes es que no tiene inercia variable, pero la inercia inicial a controlar es similar en ambos casos, por lo cual la estrategia utilizada es válida para ambas situaciones

ya que, el caso del receptor de cable es el más complejo debido a su inercia variable, la cual aumenta a medida que va almacenando el hilo de cobre en el cablete.

5.3. Modelado del proceso

El modelado del proceso se basó en tres supuestos básicos:

1. El proceso de trefilado es un proceso de torque constante.
2. El recocido funciona correctamente si se mantienen los parámetros de tensión mecánica del cable.
3. El hilo de cobre al estirarse dentro de los parámetros de tensión establecidos se mantiene en zona lineal, es decir no sufre deformación plástica.

Considerando estos puntos, el desarrollo del modelo es congruente, empezando por el trefilado donde la potencia requerida crece de forma lineal con la velocidad, pero el modelo si bien ha capturado la realidad bastante bien dentro de un rango de operación adolece de validez si se sobrepasa el límite de fluencia del cable, es decir, el modelado no incluye en su desarrollo los malos escenarios. Dicho problema hace que los resultados no sean correctos si se sobrepasa la tensión mecánica de 7 kg del hilo de cobre, ya que no se ha modelado la fluencia del cable ni el corte del hilo de cobre. Aun así el modelo es válido en el ámbito que se requiere que es dentro de la zona normal de operación, es decir para una tensión mecánica del hilo de cobre que oscile entre 0 kg y 7 kg .

El modelo como bien su nombre lo indica siempre tendrá restricciones las cuales dependen del grado de exactitud requerido y en qué área es requerido. Esto significa que el modelo se realiza suficientemente específico para mostrar los efectos que se desean modelar y no para modelar todo y cada detalle de un proceso. De esta forma, se ahorra coste computacional además de horas hombre aplicadas al modelado del proceso. Existen variados modelos de las máquinas, *drive* y otros elementos, pero no fue necesario modelar hasta el último semiconductor de un *drive*; solo basta hacer un modelo que sea capaz de representar correctamente tanto las entradas y salidas del bloque. Esta es la razón por la que los variadores de velocidad que realizan el control de las distintas máquinas fueron modelados con bloques existentes en la librería de SimScape en Simulink, a excepción del modelado del recocido; debido a que este controlador no estaba disponible y fue necesario modelarlo desde cero a partir de las notas del fabricante [6] de las cuales se obtuvo la forma de funcionamiento y el tipo de semiconductor en que se basa el convertidor. Razón por la que el convertidor de recocido tiene mayor detalle que el resto de elementos del proceso.

El convertidor del recocido tiene un sistema de control bastante simple basado en un controlador del tipo PI, aunque el objetivo de este estudio no era modelar el convertidor si no, modelar un proceso para establecer una estrategia de control válida y utilizable; este último punto se logró a cabalidad y el modelo propuesto es capaz de capturar correctamente la realidad y serviría como base para lograr proponer una estrategia de control correcta.

Referencias

- [1] G. Müller, *Apuntes de conversión electromecánica de energía*, ch. 6 Máquina de corriente continua, pp. 1–27.
- [2] K. Ogata, *Ingeniería de control moderna*, tercera ed. Pearson Educación, 1998, ch. 10 Controles PID e Introducción al control robusto, pp. 669,670,671,672,673.
- [3] —, *Ingeniería de control moderna*, tercera ed. Pearson Educación, 1998, ch. 10 Controles PID e Introducción al control robusto, p. 673.
- [4] WIKIPEDIA. Recocido. [Online]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Recocido>
- [5] —. Recocido por cortocircuito. [Online]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Recocido_por_cortocircuito
- [6] Eurotherm, *Controlador EPower Unidades de control y gestión energética, Guía del usuario*, Invensys Eurotherm.

Anexos

1		2		3		4		5		6		7		8	
A		B		C		D		E		F		G		H	
N°	FECHA	N° PLAN	N° LAM	DESCRIPCION	REV	N° PLAN	N° LAM	DESCRIPCION	REV	N° PLAN	N° LAM	DESCRIPCION	REV	TAB. ING. N°	COG-1217
SEP-17	AS-BLST	0001217-06-001	1	FORMA	0	0001217-06-008	1	BLOWER MOTOR PRINCIPAL TREFILADA	0	0001217-06-008	1	BLOWER MOTOR PRINCIPAL TREFILADA	0		
AGO-17	ENTRO PARA CONSTRUCCION	0001217-05-001	1	LISTADO DE PLANOS	0	0001217-06-009	1	BLOWER MOTOR RECEPTOR CABRETES	0	0001217-06-009	1	BLOWER MOTOR RECEPTOR CABRETES	0		
	REVISIONES	0001217-06-001	1	ESPECIFICACIONES	0	0001217-06-010	1	BLOWER MOTOR RECEPTOR CABRETES	0	0001217-06-010	1	BLOWER MOTOR RECEPTOR CABRETES	0		
		0001217-06-002	1	ALIMENTADOR GENERAL TREFILADOR C13	0	0001217-06-011	1	ALIMENTADOR 1 WINDSOR SUPRIMIC	0	0001217-06-011	1	ALIMENTADOR 1 WINDSOR SUPRIMIC	0		
		0001217-06-003	1	DISTRIBUCION ALIMENTADORES DE FIBRA	0	0001217-06-012	1	ALIMENTADOR 2 WINDSOR SUPRIMIC	0	0001217-06-012	1	ALIMENTADOR 2 WINDSOR SUPRIMIC	0		
		0001217-06-004	1	SPARE	0	0001217-06-013	1	SPARE	0	0001217-06-013	1	SPARE	0		
		0001217-06-005	1	ALIMENTADOR GENERAL TDF EQUIPOS AUXILIARES	0	0001217-06-014	1	SPARE	0	0001217-06-014	1	SPARE	0		
		0001217-06-006	1	DISTRIBUCION ALIMENTADORES AUXILIARES	0	0001217-06-015	1	ENTRADAS DISCRETAS 5MM01 (GRUPO 1)	0	0001217-06-015	1	ENTRADAS DISCRETAS 5MM01 (GRUPO 1)	0		
		0001217-06-007	1	ILUMINACION, VENTILACION Y ACCESORIOS REBERS	0	0001217-06-016	1	ENTRADAS DISCRETAS 5MM02 (GRUPO 2)	0	0001217-06-016	1	ENTRADAS DISCRETAS 5MM02 (GRUPO 2)	0		
		0001217-06-008	1	SPARE	0	0001217-06-017	1	ENTRADAS DISCRETAS 5MM01 (GRUPO 1)	0	0001217-06-017	1	ENTRADAS DISCRETAS 5MM01 (GRUPO 1)	0		
		0001217-06-009	1	DISTRIBUCION T10AC	0	0001217-06-018	1	ENTRADAS DISCRETAS 5MM02 (GRUPO 2)	0	0001217-06-018	1	ENTRADAS DISCRETAS 5MM02 (GRUPO 2)	0		
		0001217-06-010	1	DISTRIBUCION 2400C	0	0001217-06-019	1	SALIDAS DISCRETAS 5MM01 (GRUPO 1)	0	0001217-06-019	1	SALIDAS DISCRETAS 5MM01 (GRUPO 1)	0		
		0001217-06-011	1	DISTRIBUCION 2400C	0	0001217-06-020	1	SALIDAS DISCRETAS 5MM02 (GRUPO 2)	0	0001217-06-020	1	SALIDAS DISCRETAS 5MM02 (GRUPO 2)	0		
		0001217-06-012	1	CONDICIONER DE AIRE Y CONDUCION DE REJ ENERGI/JP	0	0001217-06-021	1	ENTRADAS/SALIDAS 5MM01 (GRUPO 1)	0	0001217-06-021	1	ENTRADAS/SALIDAS 5MM01 (GRUPO 1)	0		
		0001217-06-013	1	TRANSDUCTORES	0	0001217-06-022	1	ENTRADAS/SALIDAS 5MM02 (GRUPO 2)	0	0001217-06-022	1	ENTRADAS/SALIDAS 5MM02 (GRUPO 2)	0		
		0001217-06-014	1	CELDA CARGA RECIBIDORES	0	0001217-06-023	1	SPARE	0	0001217-06-023	1	SPARE	0		
		0001217-06-015	1	APORTI BESE TERRENO	0	0001217-06-024	1	ALIMENTACION 36VAC AUXILIAR BRVCS	0	0001217-06-024	1	ALIMENTACION 36VAC AUXILIAR BRVCS	0		
		0001217-06-016	1	SWITCH BESE TERRENO	0	0001217-06-025	1	DISTRIBUCION 220VAC DOME TRAC	0	0001217-06-025	1	DISTRIBUCION 220VAC DOME TRAC	0		
		0001217-06-017	1	SWITCH DE PUERTAS	0	0001217-06-026	1	DRIVE DC MOTOR PRINCIPAL TREFILADO	0	0001217-06-026	1	DRIVE DC MOTOR PRINCIPAL TREFILADO	0		
		0001217-06-018	1	FRANQUEO DE EMERGENCIA	0	0001217-06-027	1	DRIVE DC MOTOR RECEPTOR DE CABRETES	0	0001217-06-027	1	DRIVE DC MOTOR RECEPTOR DE CABRETES	0		
		0001217-06-019	1	MANUALS SOLIDARIOS	0	0001217-06-028	1	DRIVE DC MOTOR RECEPTOR DE CABRETES	0	0001217-06-028	1	DRIVE DC MOTOR RECEPTOR DE CABRETES	0		
		0001217-06-020	1	SPARE	0	0001217-06-029	1	DRIVE DC MOTOR RECEPTOR DE CABRETES	0	0001217-06-029	1	DRIVE DC MOTOR RECEPTOR DE CABRETES	0		
		0001217-06-021	1	BOMBA HIDRAULICA TREFILADO	0	0001217-06-030	1	DRIVE DC MOTOR RECEPTOR DE CABRETES	0	0001217-06-030	1	DRIVE DC MOTOR RECEPTOR DE CABRETES	0		
		0001217-06-022	1	BOMBA TREFILADO N1	0	0001217-06-031	1	DRIVE DC MOTOR RECEPTOR DE CABRETES	0	0001217-06-031	1	DRIVE DC MOTOR RECEPTOR DE CABRETES	0		
		0001217-06-023	1	BOMBA TREFILADO N2	0	0001217-06-032	1	SPARE	0	0001217-06-032	1	SPARE	0		
		0001217-06-024	1	BOMBA TREFILADO N3	0	0001217-06-033	1	SPARE	0	0001217-06-033	1	SPARE	0		
		0001217-06-025	1	MOTOR FLEDO N1	0	0001217-06-034	1	SPARE	0	0001217-06-034	1	SPARE	0		
		0001217-06-026	1	SPARE	0	0001217-06-035	1	SPARE	0	0001217-06-035	1	SPARE	0		
		0001217-06-027	1	BOMBA RECIBIDOR	0	0001217-06-036	1	SPARE	0	0001217-06-036	1	SPARE	0		
		0001217-06-028	1	BOMBA RECIBIDOR	0	0001217-06-037	1	DIAGRAMA UNIFICADA DISTRIBUCION DRIVES Y TD PLC	0	0001217-06-037	1	DIAGRAMA UNIFICADA DISTRIBUCION DRIVES Y TD PLC	0		
		0001217-06-029	1	BOMBA RECIBIDOR	0	0001217-06-038	1	LISTADO DE CABRETES DISTRIBUCION DRIVES Y TD PLC	0	0001217-06-038	1	LISTADO DE CABRETES DISTRIBUCION DRIVES Y TD PLC	0		




INFORMACION
 UPGRADE TREFILADORA C13
 DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL
 LISTADO DE PLANOS
 LAMINA 1 DE 1

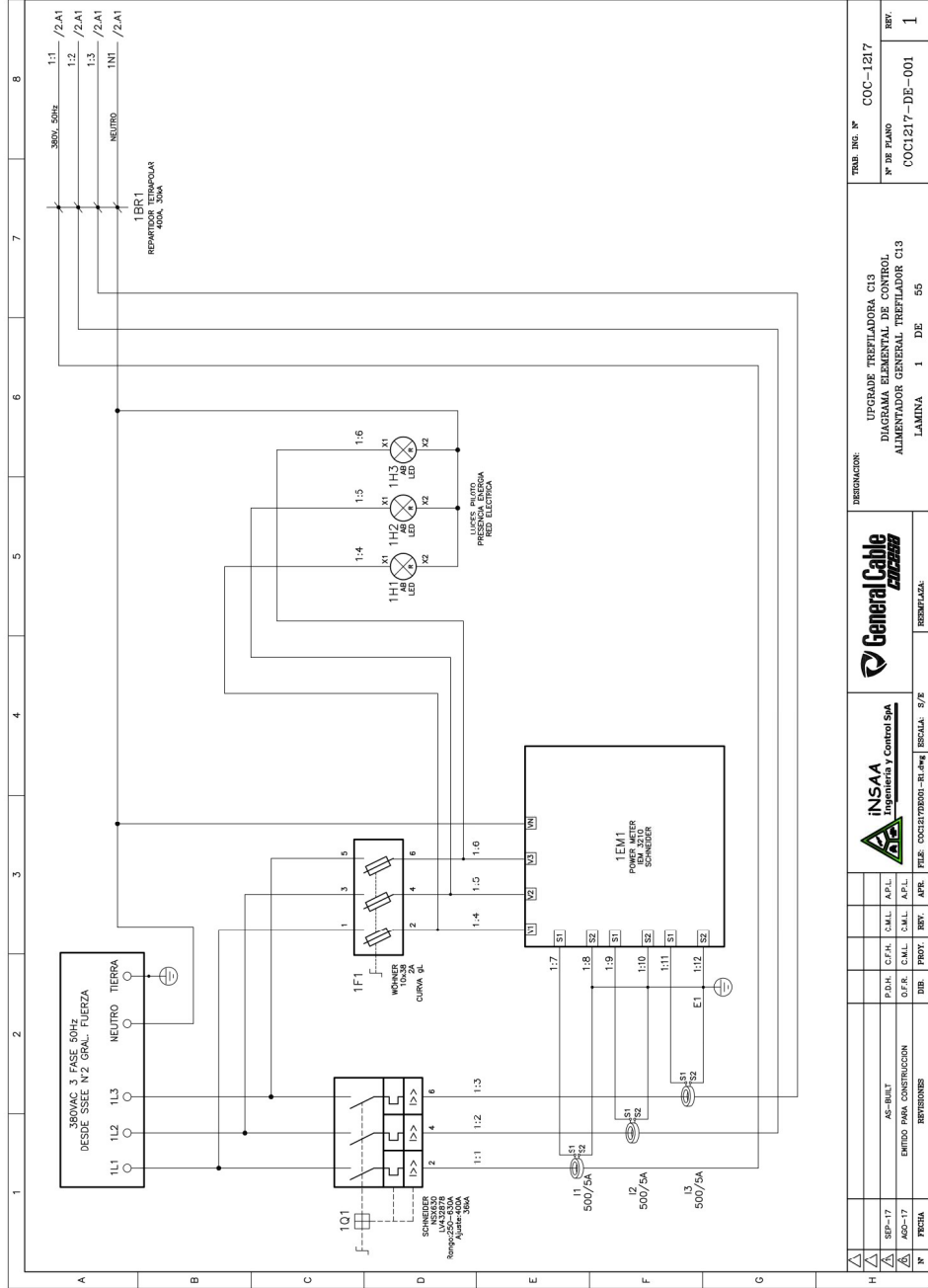
TAB. ING. N° COC-1217
N° DE PLANO COC1217-LIS-001
REV. 1

FECHA SEP-17
PROYECTO REEMPLAZO

FILE COC1217-06-001.rvt
ESCALA 3/2

1		2		3		4		5		6		7		8																																																																									
A		B		C		D		E		F		G		H																																																																									
NOTAS GENERALES:																																																																																							
I -----																																																																																							
II -----																																																																																							
III -----																																																																																							
IV -----																																																																																							
NOMENCLATURAS:																																																																																							
EJEMPLO DE EQUIPOS : 2 Q 1																																																																																							
<ul style="list-style-type: none"> NUMERO CORRELATIVO TIPO DE COMPONENTE (VFR SIMBOLOGIA) NUMERO DE LAMINA EN LA QUE SE UBICA EL COMPONENTE 																																																																																							
EJEMPLO DE CABLES : 2 CAB 1																																																																																							
<ul style="list-style-type: none"> NUMERO CORRELATIVO DEL CABLE TAG CABLE NUMERO DE LAMINA EN LA QUE SE UBICA EL CABLE 																																																																																							
EJEMPLO DE CONEXION: /2 . A . 1																																																																																							
<ul style="list-style-type: none"> NUMERO DEL SECTOR DE FILA BORDE IZQUIERDO LETRA DEL SECTOR DE COLUMNA BORDE SUPERIOR NUMERO CORRELATIVO DE LAMINA 																																																																																							
SIMBOLOGIA																																																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>SIMBOLO</th> <th>DESCRIPCION</th> <th>ING</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>PUNTO DE PUESTA A TIERRA</td> <td>E</td> </tr> <tr> <td></td> <td>INTERRUPTOR ALTIMANCO MAGNETOTERMICO</td> <td>Q</td> </tr> <tr> <td></td> <td>FUSIBLE</td> <td>F</td> </tr> <tr> <td></td> <td>LUZ PILOTO LED ROJO</td> <td>H</td> </tr> <tr> <td></td> <td>BARRA TIERRA</td> <td>BR</td> </tr> <tr> <td></td> <td>TRAFIO</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>TRAFIO</td> <td>T</td> </tr> <tr> <td></td> <td>EQUIPO EXTERNO</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td></td> <td>ESQUE DE CONEXION</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td></td> <td>CABLEADO DE INTERCONEXION</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td></td> <td>INTERRUPTOR ALTIMANCO MAGNETOTERMICO</td> <td>Q</td> </tr> <tr> <td></td> <td>SWITCH DE POSICION PUERTA INTERIOR</td> <td>LS</td> </tr> <tr> <td></td> <td>SWITCH DE POSICION PUERTA EXTERIOR</td> <td>LS</td> </tr> <tr> <td></td> <td>LAMPARA FLUORESCENTE INTERIOR TABLERO</td> <td>H</td> </tr> <tr> <td></td> <td>MOTOR MONOFASICO</td> <td>MTR</td> </tr> <tr> <td></td> <td>ENCHUFE MONOFASICO 10A MONOME REL DN</td> <td>ENCH</td> </tr> <tr> <td></td> <td>CONTACTO NORMALMENTE ABIERTO</td> <td>NA</td> </tr> <tr> <td></td> <td>CONTACTO NORMALMENTE CERRADO</td> <td>NC</td> </tr> <tr> <td></td> <td>CONTACTOR</td> <td>K</td> </tr> <tr> <td></td> <td>MOTOR TRIFASICO</td> <td>MTR</td> </tr> <tr> <td></td> <td>RELE</td> <td>R</td> </tr> <tr> <td></td> <td>ENCODER</td> <td>ENC</td> </tr> <tr> <td></td> <td>PANADA DE EMERGENCIA</td> <td>PE</td> </tr> </tbody> </table>																SIMBOLO	DESCRIPCION	ING		PUNTO DE PUESTA A TIERRA	E		INTERRUPTOR ALTIMANCO MAGNETOTERMICO	Q		FUSIBLE	F		LUZ PILOTO LED ROJO	H		BARRA TIERRA	BR		TRAFIO			TRAFIO	T		EQUIPO EXTERNO	-		ESQUE DE CONEXION	-		CABLEADO DE INTERCONEXION	-		INTERRUPTOR ALTIMANCO MAGNETOTERMICO	Q		SWITCH DE POSICION PUERTA INTERIOR	LS		SWITCH DE POSICION PUERTA EXTERIOR	LS		LAMPARA FLUORESCENTE INTERIOR TABLERO	H		MOTOR MONOFASICO	MTR		ENCHUFE MONOFASICO 10A MONOME REL DN	ENCH		CONTACTO NORMALMENTE ABIERTO	NA		CONTACTO NORMALMENTE CERRADO	NC		CONTACTOR	K		MOTOR TRIFASICO	MTR		RELE	R		ENCODER	ENC		PANADA DE EMERGENCIA	PE
SIMBOLO	DESCRIPCION	ING																																																																																					
	PUNTO DE PUESTA A TIERRA	E																																																																																					
	INTERRUPTOR ALTIMANCO MAGNETOTERMICO	Q																																																																																					
	FUSIBLE	F																																																																																					
	LUZ PILOTO LED ROJO	H																																																																																					
	BARRA TIERRA	BR																																																																																					
	TRAFIO																																																																																						
	TRAFIO	T																																																																																					
	EQUIPO EXTERNO	-																																																																																					
	ESQUE DE CONEXION	-																																																																																					
	CABLEADO DE INTERCONEXION	-																																																																																					
	INTERRUPTOR ALTIMANCO MAGNETOTERMICO	Q																																																																																					
	SWITCH DE POSICION PUERTA INTERIOR	LS																																																																																					
	SWITCH DE POSICION PUERTA EXTERIOR	LS																																																																																					
	LAMPARA FLUORESCENTE INTERIOR TABLERO	H																																																																																					
	MOTOR MONOFASICO	MTR																																																																																					
	ENCHUFE MONOFASICO 10A MONOME REL DN	ENCH																																																																																					
	CONTACTO NORMALMENTE ABIERTO	NA																																																																																					
	CONTACTO NORMALMENTE CERRADO	NC																																																																																					
	CONTACTOR	K																																																																																					
	MOTOR TRIFASICO	MTR																																																																																					
	RELE	R																																																																																					
	ENCODER	ENC																																																																																					
	PANADA DE EMERGENCIA	PE																																																																																					

H		I		J		K		L		M		N		O	
SEP-17		AG-17		FEB-17		MAY-17		AUG-17		NOV-17		FEB-18		MAY-18	
ENTRADA PARA CONSTRUCCION		ENTRADA PARA CONSTRUCCION		ENTRADA PARA CONSTRUCCION		ENTRADA PARA CONSTRUCCION		ENTRADA PARA CONSTRUCCION		ENTRADA PARA CONSTRUCCION		ENTRADA PARA CONSTRUCCION		ENTRADA PARA CONSTRUCCION	
REVISIONES		REVISIONES		REVISIONES		REVISIONES		REVISIONES		REVISIONES		REVISIONES		REVISIONES	
P.D.M. C.F.A. S.M.L. A.P.L.		P.D.M. C.F.A. S.M.L. A.P.L.		P.D.M. C.F.A. S.M.L. A.P.L.		P.D.M. C.F.A. S.M.L. A.P.L.		P.D.M. C.F.A. S.M.L. A.P.L.		P.D.M. C.F.A. S.M.L. A.P.L.		P.D.M. C.F.A. S.M.L. A.P.L.		P.D.M. C.F.A. S.M.L. A.P.L.	
DIB. PROY. REV. / ESCALA: 3/2		DIB. PROY. REV. / ESCALA: 3/2		DIB. PROY. REV. / ESCALA: 3/2		DIB. PROY. REV. / ESCALA: 3/2		DIB. PROY. REV. / ESCALA: 3/2		DIB. PROY. REV. / ESCALA: 3/2		DIB. PROY. REV. / ESCALA: 3/2		DIB. PROY. REV. / ESCALA: 3/2	
General Cable		General Cable		General Cable		General Cable		General Cable		General Cable		General Cable		General Cable	
INSAA Ingeniería y Control S.A.		INSAA Ingeniería y Control S.A.		INSAA Ingeniería y Control S.A.		INSAA Ingeniería y Control S.A.		INSAA Ingeniería y Control S.A.		INSAA Ingeniería y Control S.A.		INSAA Ingeniería y Control S.A.		INSAA Ingeniería y Control S.A.	
UPGRADE TREFILADORA C13		UPGRADE TREFILADORA C13		UPGRADE TREFILADORA C13		UPGRADE TREFILADORA C13		UPGRADE TREFILADORA C13		UPGRADE TREFILADORA C13		UPGRADE TREFILADORA C13		UPGRADE TREFILADORA C13	
DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL		DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL		DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL		DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL		DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL		DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL		DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL		DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL	
ESPECIFICACIONES		ESPECIFICACIONES		ESPECIFICACIONES		ESPECIFICACIONES		ESPECIFICACIONES		ESPECIFICACIONES		ESPECIFICACIONES		ESPECIFICACIONES	
LAMINA 1 DE 1		LAMINA 1 DE 1		LAMINA 1 DE 1		LAMINA 1 DE 1		LAMINA 1 DE 1		LAMINA 1 DE 1		LAMINA 1 DE 1		LAMINA 1 DE 1	
TMB. ING. N°		TMB. ING. N°		TMB. ING. N°		TMB. ING. N°		TMB. ING. N°		TMB. ING. N°		TMB. ING. N°		TMB. ING. N°	
COC-1217		COC-1217		COC-1217		COC-1217		COC-1217		COC-1217		COC-1217		COC-1217	
N° DE PLANO		N° DE PLANO		N° DE PLANO		N° DE PLANO		N° DE PLANO		N° DE PLANO		N° DE PLANO		N° DE PLANO	
COC1217-IJS-002		COC1217-IJS-002		COC1217-IJS-002		COC1217-IJS-002		COC1217-IJS-002		COC1217-IJS-002		COC1217-IJS-002		COC1217-IJS-002	
REV. 1		REV. 1		REV. 1		REV. 1		REV. 1		REV. 1		REV. 1		REV. 1	



FILE CAD:	M:\127Pinos\Fer\0\001217-DE-001-1.dwg
TRAB. ING. N°	COC-1217
N° DE PLANO	COC1217-DE-001
REP.	1
DENOMINACION: UPGRADE TREFILADORA C13 DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL ALIMENTADOR GENERAL TREFILADOR C13 LAMINA 1 DE 55	
INSAA Ingeniería y Control S.A. FILE: COC1217-DE-001-1.dwg ESCALA: 3/2E	
GENERAL CABLE REEMPLAZA:	
P.D.M. C.F.A. C.M.L. A.P.L. C.F.R. C.M.L. C.M.L. A.P.L. D.M. PROT. E.BY. / APR.	
101 10A 3P SCHNEIDER LV43376 3P 30A 380V	
1F1 10A 3P CURVA 3L	
1EM1 POWER METER 5A 500V CONTROLER	
1H1 1H2 1H3 1:4 1:5 1:6 LAMPES PILOTO PARA EL CONTROL FASE ELECTRICA	
1BR1 REPARTIDOR TRIFASICO 400V 30A	
380VAC 3 FASE 50HZ DESDE SSEE N2 GRAL. FUERZA 1L1 1L2 1L3 NEUTRO TIERRA	

FILE CAD: M:\127Pinos\Fer\0\001217-DE-001-1.dwg

TRAB. ING. N° COC-1217

N° DE PLANO COC1217-DE-001

REP. 1

DENOMINACION: UPGRADE TREFILADORA C13

DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL

ALIMENTADOR GENERAL TREFILADOR C13

LAMINA 1 DE 55

INSAA Ingeniería y Control S.A.

FILE: COC1217-DE-001-1.dwg ESCALA: 3/2E

GENERAL CABLE

REEMPLAZA:

P.D.M. C.F.A. C.M.L. A.P.L.

C.F.R. C.M.L. C.M.L. A.P.L.

D.M. PROT. E.BY. / APR.

101

10A 3P

SCHNEIDER

LV43376

3P 30A 380V

1F1

10A 3P

CURVA 3L

1EM1

POWER METER

5A 500V

CONTROLER

1H1 1H2 1H3

1:4 1:5 1:6

LAMPES PILOTO

PARA EL CONTROL

FASE ELECTRICA

1BR1

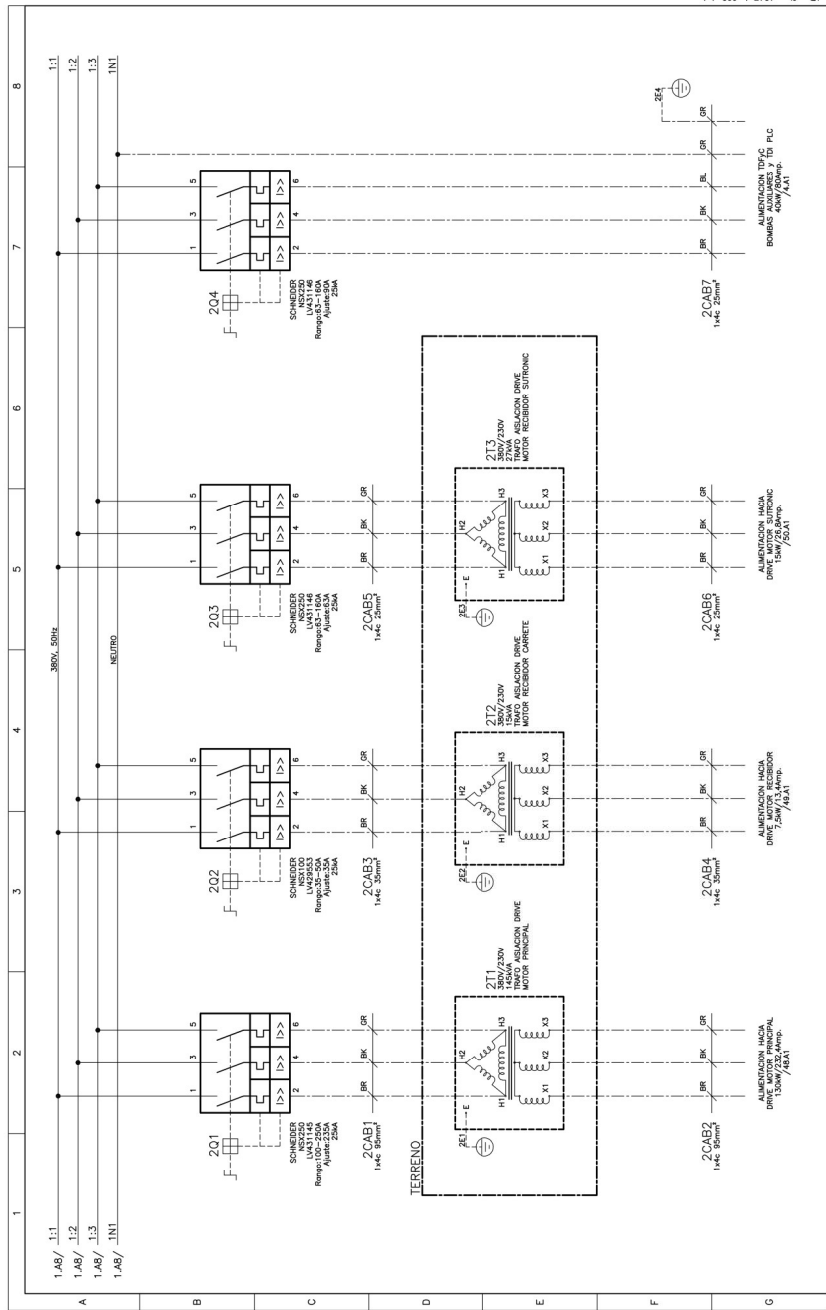
REPARTIDOR TRIFASICO

400V 30A



380VAC 3 FASE 50HZ

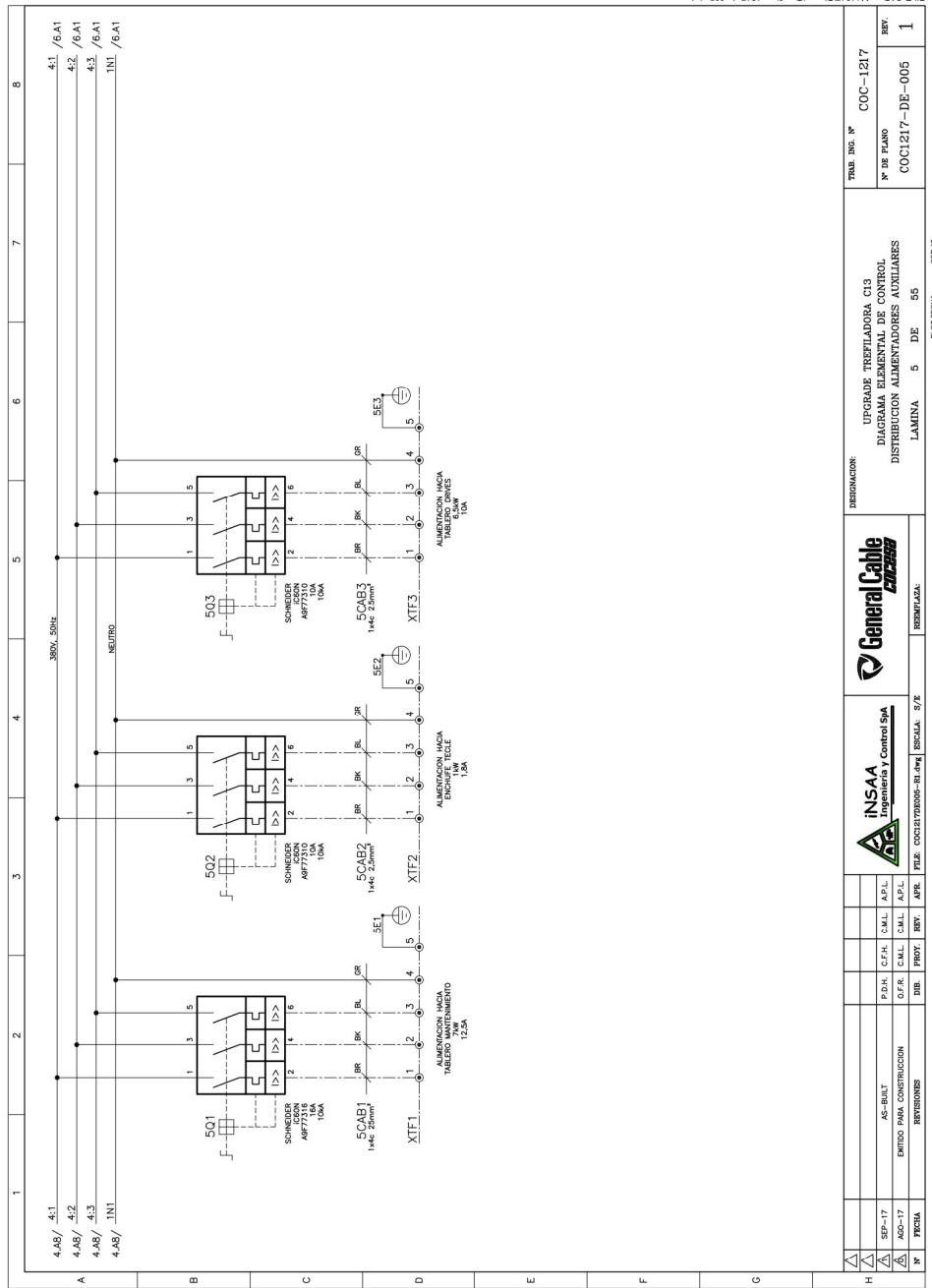
DESDE SSEE N2 GRAL. FUERZA

1L1 1L2 1L3 NEUTRO TIERRA

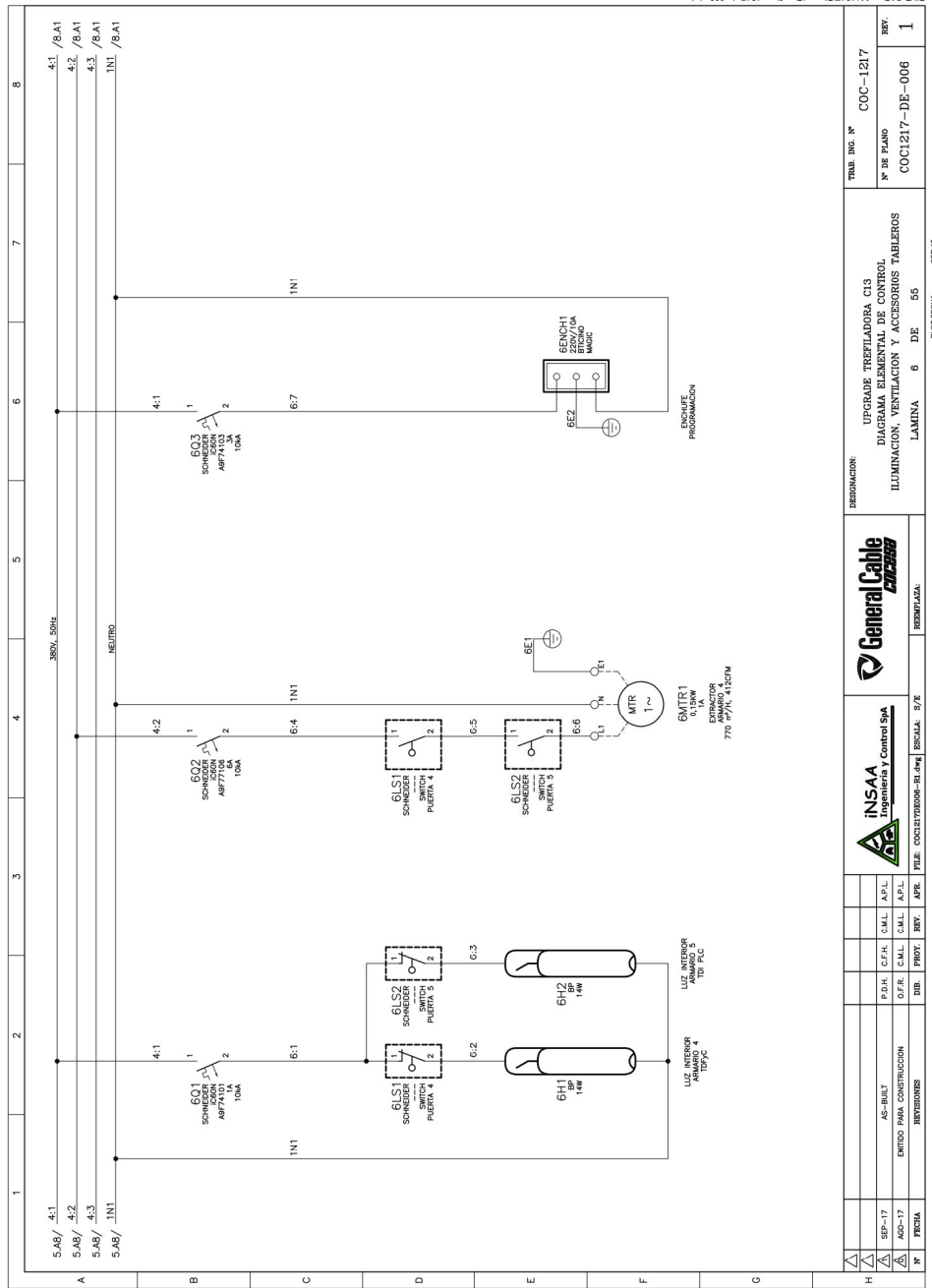


FILE: QAC	M:\127Pinos\Rev\0\001217-d6-002-1.dwg	TRAB. ING. N°	COC-1217																														
REP.:	1	N° DE PLANO	COC1217-DE-002																														
REP.:	1	LAMINA	2 DE 55																														
DEBIDAMENTE: General Cable INSAA Ingeniería y Control S.A. FILE: COC1217-DE-002 DE: 2/2 ESCALA: 3/2		REEMPLAZA: REP. 1/7																															
<table border="1"> <tr> <th>IND.</th> <th>PROY.</th> <th>REV.</th> <th>APR.</th> <th>APL.</th> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>	IND.	PROY.	REV.	APR.	APL.						<table border="1"> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>																						
IND.	PROY.	REV.	APR.	APL.																													
<table border="1"> <tr> <th>IND.</th> <th>PROY.</th> <th>REV.</th> <th>APR.</th> <th>APL.</th> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>	IND.	PROY.	REV.	APR.	APL.						<table border="1"> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>																						
IND.	PROY.	REV.	APR.	APL.																													
<table border="1"> <tr> <th>IND.</th> <th>PROY.</th> <th>REV.</th> <th>APR.</th> <th>APL.</th> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>	IND.	PROY.	REV.	APR.	APL.						<table border="1"> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>																						
IND.	PROY.	REV.	APR.	APL.																													
<table border="1"> <tr> <th>IND.</th> <th>PROY.</th> <th>REV.</th> <th>APR.</th> <th>APL.</th> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>	IND.	PROY.	REV.	APR.	APL.						<table border="1"> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>																						
IND.	PROY.	REV.	APR.	APL.																													

A		1		2		3		4		5		6		7		8	
H	1	SEP-17															
A	1	AS-BILT	P.D.H.	C.F.A.	C.M.L.	C.M.L.	A.P.L.										
A	1	ENTIBO PARA CONSTRUCCION	D.F.R.	C.M.L.	C.M.L.	C.M.L.	A.P.L.										
X	1	REVISIONES	IMP.	PROY.	REV.	APR.											
												DENOMINACION: UPGRADE TREFILADORA C13 DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL LIBRE LAMINA 3 DE 55		TITULO: COC-1217-DE-003		TRABAJO: COC-1217	
								ESCALA: 3/2		RESERVA:						REF: 1	

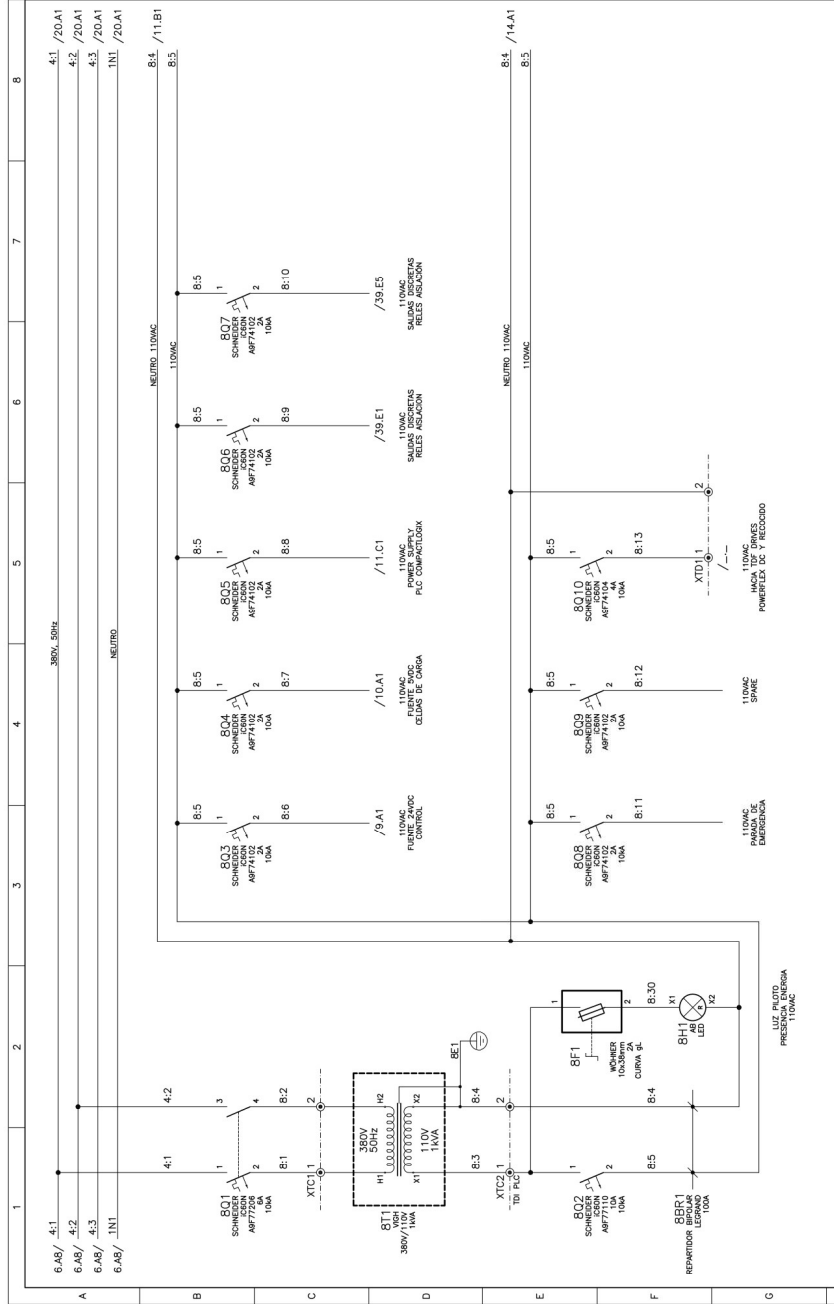


4.1	4.2	4.3	4.11	4.12	4.13	4.111	4.112	4.113
4.18 / 4.1	4.18 / 4.2	4.18 / 4.3	4.18 / 4.11	4.18 / 4.12	4.18 / 4.13	4.18 / 4.111	4.18 / 4.112	4.18 / 4.113
SEP-17	AGO-17	PROB	PROY	DES	DES	DES	DES	DES
ENTRADA PARA CONSTRUCCION	REVISIONES							
P.D.M. C.F.A. S.M.L. A.P.L.	D.F.R. C.M.L. S.M.L. A.P.L.							
INSAA Ingeniería y Control S.A.	General Cable							
URCERABE TREFILADORA CI 3	DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL							
DISTRIBUCION ALIMENTADORES AUXILIARES	LAMINA 5 DE 55							
COG1217-DE-005	COC-1217							
1								



INFORMACION:		UBICACION:	GENERAL Cable	INSAA	INSAA	INSAA	INSAA
TRAB. ING. N°	COC-1217	UPGRADER TREFILADORA CI 3					
N° DE PLANO	COC1217-DE-006	DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL					
REP. N°	1	ILUMINACION, VENTILACION Y ACCESORIOS TABLEROS					
LAMINA	6 DE 55	LAMINA					
FECHA	SEP-17	REEMPLAZA:					
PROY.	SEP-17	REEMPLAZA:					
REV.	1	REEMPLAZA:					

FILE-04-C M:127Pisos/Rev:0/001217-de-006-1.dwg



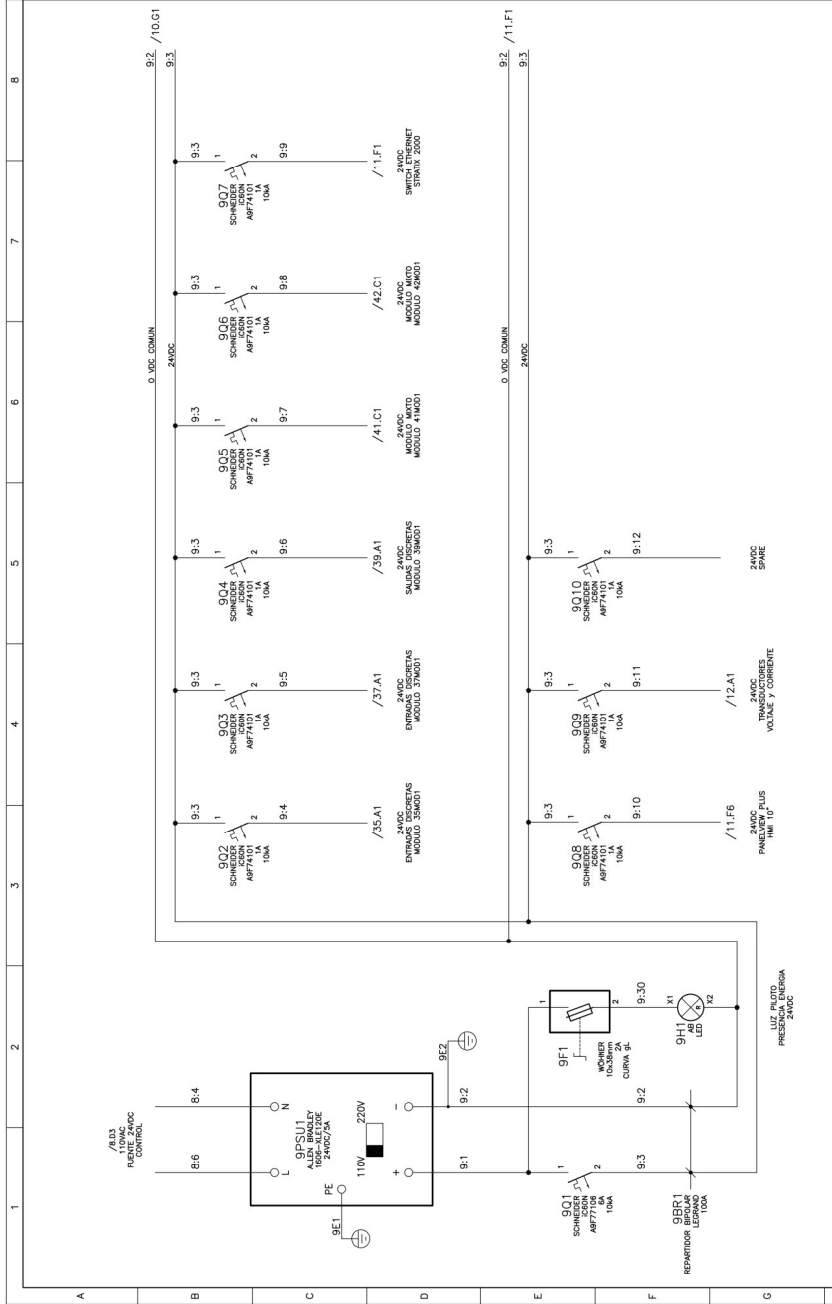
NO.	PROY.	REV.	FECHA	PROYECTANTE	REVISOR	APPROBADO	FECHA
1							

INGENIERIA Y CONTROL S.A.			
GENERAL CABLE			
INGENIERIA Y CONTROL S.A.			

DESCRIPCION: UPGRADE TREFILADORA C13 DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL DISTRIBUCION 110VAC LAMINA 8 DE 55	TABLA ING. N° COC-1217
N° DE PLANO COC1217-DE-008	REV. 1

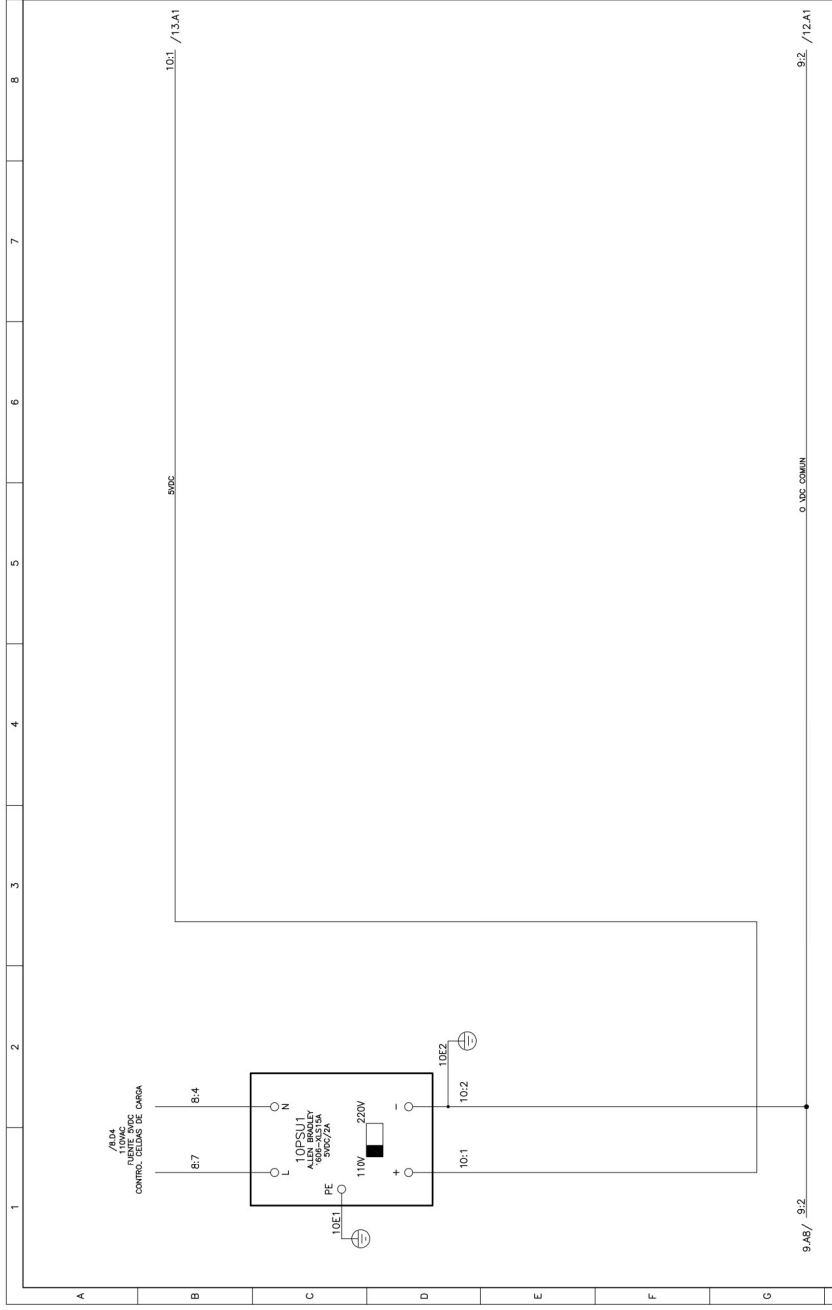
FILE-OAC: M:\127Pinos\Rev\000127-ds-008-1.dwg

SEP-17



REVISIONES		REEMPLAZA		REVISIONES	
NO.	FECHA	PROY.	DISE.	REVISIONES	FECHA
1					

INSAA Ingeniería y Control S.A. P.D.R. C.F.A. C.M.L. A.P.L. D.F.R. C.M.L. C.M.L. A.P.L. FILE: COC1217-DE-009 / ESCALA: 3/2		DISTRIBUIDOR: UPGRADE TREFILADORA C13 DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL DISTRIBUCION 240VAC LAMINA 9 DE 55	
COC-1217 Nº DE PLANO COC1217-DE-009		TITULO:	



FILE: CAD: M:\127Pinos\Rev\0\001217-de-01-1.dwg

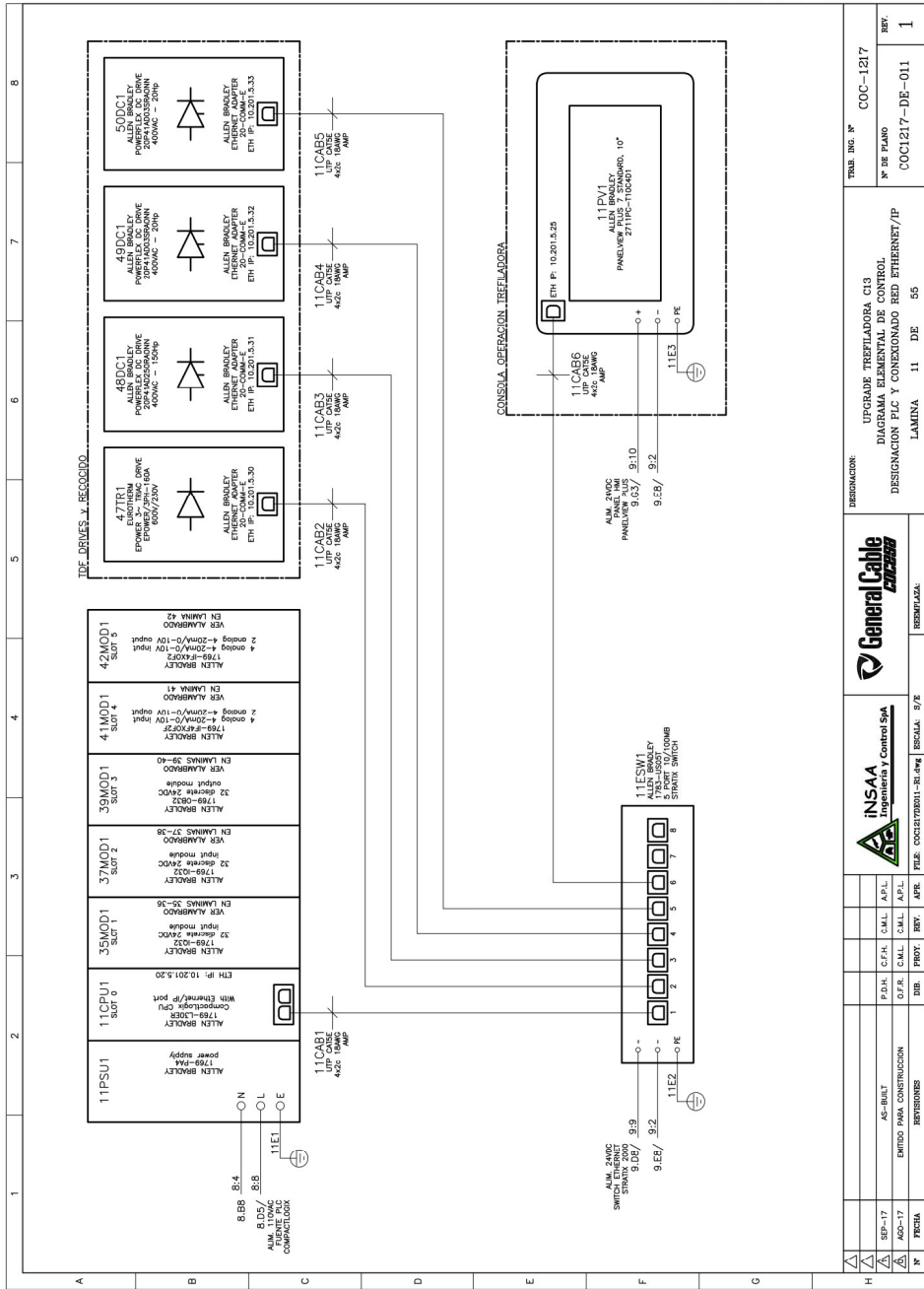
NO	DESCRIPCION	FECHA	PROY	REV	APL
1	ENTRADA PARA CONSTRUCCION	2017			
2	REVISIONES				

P.D.M.	C.F.A.	E.M.L.	A.P.L.
C.F.R.	E.M.L.	E.M.L.	A.P.L.
DIR.	PROY.	REV.	APR.

INSAA	INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD Y SALUD
General Cable	REEMPLAZA:

DESCRIPCION:	UPGRADE TREFILADORA CI 3 DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL DISTRIBUCION 5VDC LAMINA 10 DE 55
TABLA NO. N°	COC-1217
N° DE PLANO	COC1217-DE-010
REV.	1

REP-17



PROYECTISTA	REVISOR	FECHA	APR	FECHA	APR	FECHA	APR	FECHA	APR	FECHA	APR	FECHA	APR
REVISIONES		ENTRADA PARA CONSTRUCCION		AS-BUILT		P.D.H.		C.F.A.		S.M.L.		A.P.L.	
REVISIONES		ENTRADA PARA CONSTRUCCION		AS-BUILT		P.D.H.		C.F.A.		S.M.L.		A.P.L.	
REVISIONES		ENTRADA PARA CONSTRUCCION		AS-BUILT		P.D.H.		C.F.A.		S.M.L.		A.P.L.	
REVISIONES		ENTRADA PARA CONSTRUCCION		AS-BUILT		P.D.H.		C.F.A.		S.M.L.		A.P.L.	
REVISIONES		ENTRADA PARA CONSTRUCCION		AS-BUILT		P.D.H.		C.F.A.		S.M.L.		A.P.L.	
REVISIONES		ENTRADA PARA CONSTRUCCION		AS-BUILT		P.D.H.		C.F.A.		S.M.L.		A.P.L.	
REVISIONES		ENTRADA PARA CONSTRUCCION		AS-BUILT		P.D.H.		C.F.A.		S.M.L.		A.P.L.	
REVISIONES		ENTRADA PARA CONSTRUCCION		AS-BUILT		P.D.H.		C.F.A.		S.M.L.		A.P.L.	



INSTRUMENTACION Y CONTROL S.A.

INGENIERIA Y CONTROL S.A.

INGENIERIA Y CONTROL S.A.

INGENIERIA Y CONTROL S.A.

FILE-OAC: M:\127Pisos\Fer+0\001217-d8-011-1.dwg SEP-17

TRAB. REG. N° COC-1217
N° DE PLANO COC1217-DE-011
REV. 1

UBICACION: URB. TREFILADORA C13
DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL
DESIGNACION PLC Y CONEXIONADO RED ETHERNET/IP
LAMINA 11 DE 55

REEMPLAZA:

REVISIONES:

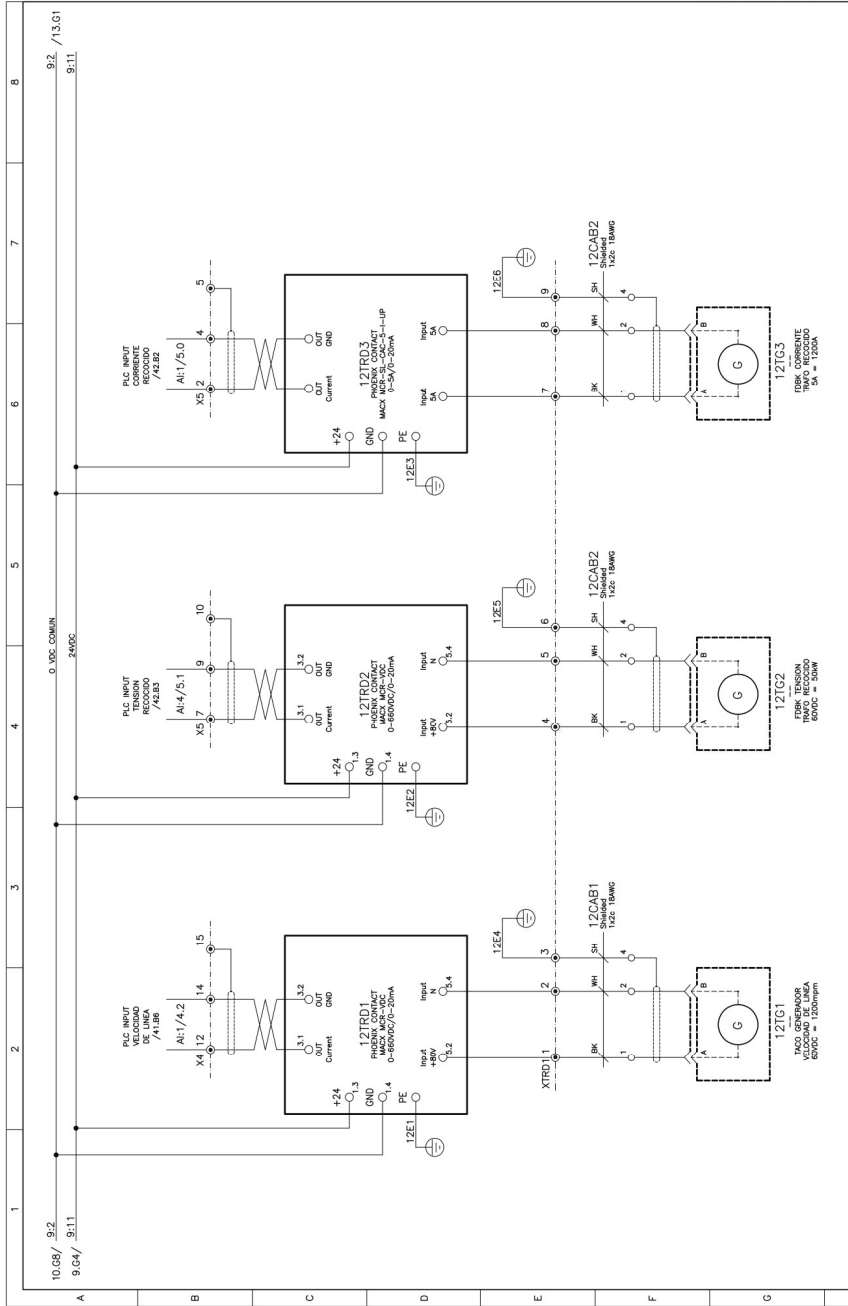
REVISIONES:

REVISIONES:

REVISIONES:

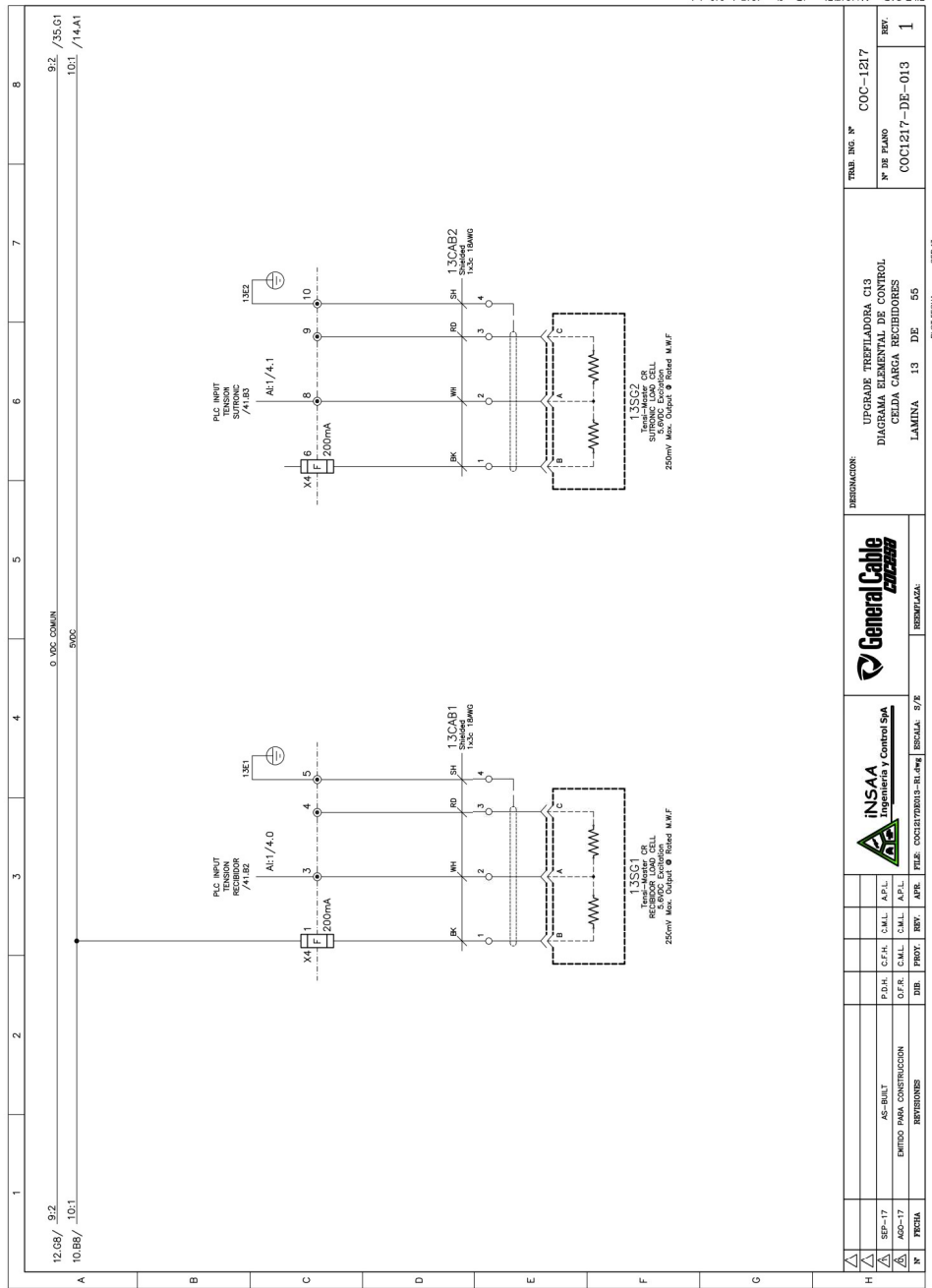
REVISIONES:

REVISIONES:



10.08 / 9.2	9.2 / 13.01	8	7	6	5	4	3	2	1												
9.04 / 9.11	9.11																				
O. SOC. COMUN. 24000.																					
<p>INSAA Ingeniería y Control S.A.</p> <p>General Cable</p>																					
<p>DESIGNACION: UPGRAFIF TREFILADORA CI.3 DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL TRANSDUCTORES DE VOLTAJE Y CORRIENTE</p> <p>LABORATORIO: COCI217-DE-012</p> <p>LAMINA: 12 DE 55</p> <p>FECHA: 04/2012</p> <p>REVISOR: S/E</p> <p>REVISOR: S/E</p>																					
<p>FILE: COCI217-DE-012.dwg</p>																					
<p>TABLA DE REVISIONES</p> <table border="1"> <tr> <th>N°</th> <th>FECHA</th> <th>PROY.</th> <th>REV.</th> <th>APR.</th> <th>APL.</th> </tr> <tr> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>										N°	FECHA	PROY.	REV.	APR.	APL.	1					
N°	FECHA	PROY.	REV.	APR.	APL.																
1																					
<p>TITULO: COCI217-DE-012</p>																					
<p>TRAB. ING. N°: COC-1217</p>																					
<p>N° DE PLANO: COCI217-DE-012</p>																					
<p>REF.: 1</p>																					

FILE: CAD: M:\1217PinosR\0\001217-de-012-1.dwg

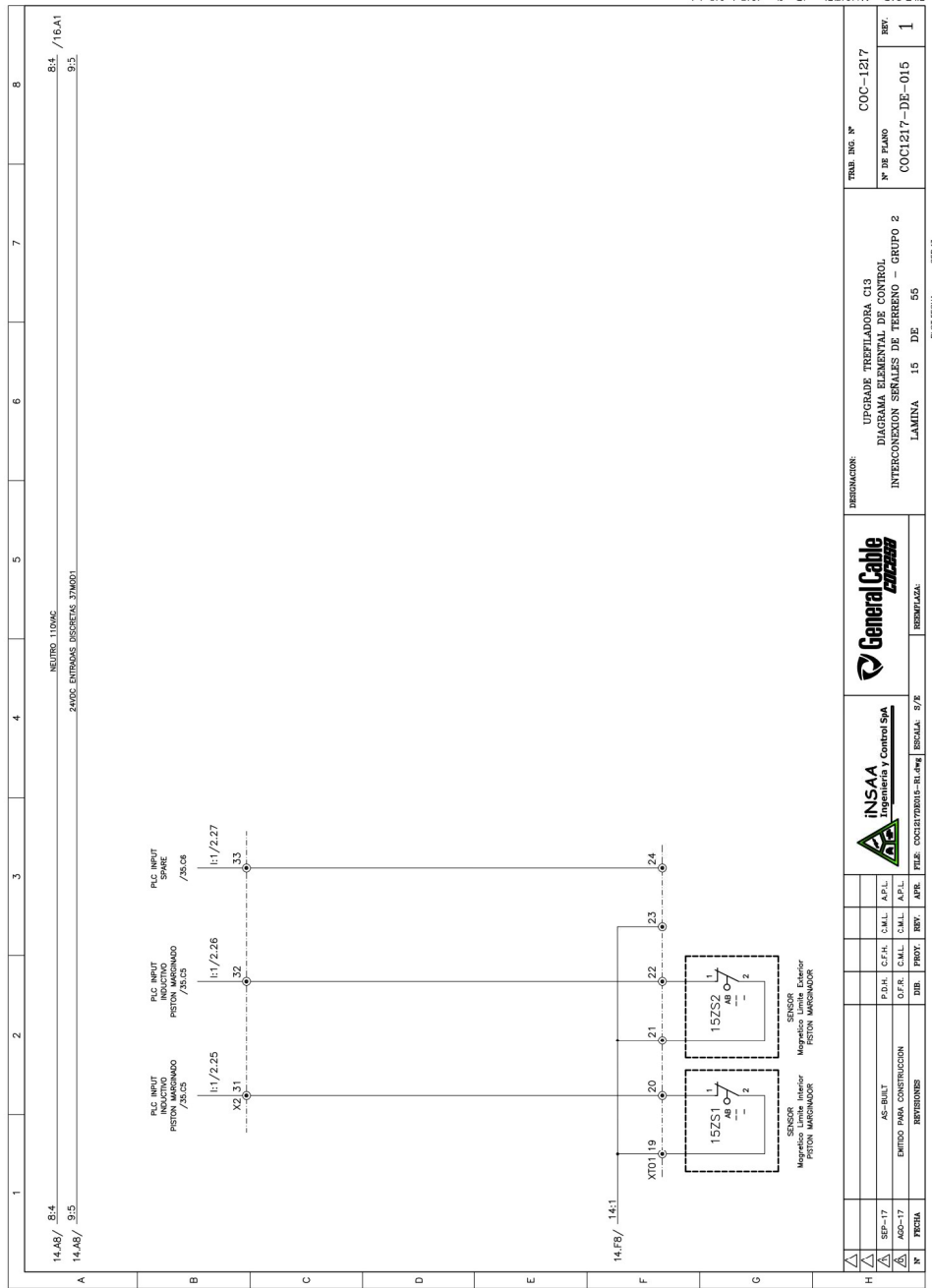


12.08 / 9/2
10.08 / -10.1

0. SOC. COMUN
5VDC

9/2 / 35.61
10.1 / 14.41

H	SEP-17	AS-BUET	P.D.H. C.F.A. C.M.L. A.P.L.	INSAA	General Cable	INFORMACION	TABL. ING. N°	COC-1217
A	AGO-17	ENTRO PARA CONSTRUCCION	C.F.R. C.M.L. C.M.L. A.P.L.	INGENIERIA Y CONTROL S.A.	General Cable	UPGRADER TRAFICADORA CI-3	N° DE PLANO	COC1217-DE-013
A		REVISIONES	IND. PROY. REV. APR.	FILE. COC1217B13-RI.ING ESCALA. 3/2	General Cable	DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL		
N					General Cable	CELDA CARGA RECIDORES		
					General Cable	LAMINA 13 DE 55		
					General Cable			



14.A8 / B.4	8.4 / 16.A1
14.A8 / B.5	9.5

NEURO. 110VAC	NEURO. 24VDC
ENTRADA EXTERNA	ENTRADA INTERNA

PLC INPUT	PLC INPUT	PLC INPUT
PISTON MARCHADOR	PISTON MARCHADOR	PISTON MARCHADOR
/35.C3	/35.C3	/35.C6

1:1/2.25	1:1/2.26	1:1/2.27
X2,31	32	33

14.FB / 14:1	X10,19	20	21	22	23	24
--------------	--------	----	----	----	----	----

15ZS1	1	2
15ZS2	1	2

INSAA	General Cable
INGENIERIA Y CONTROL S.A.	RESERVA

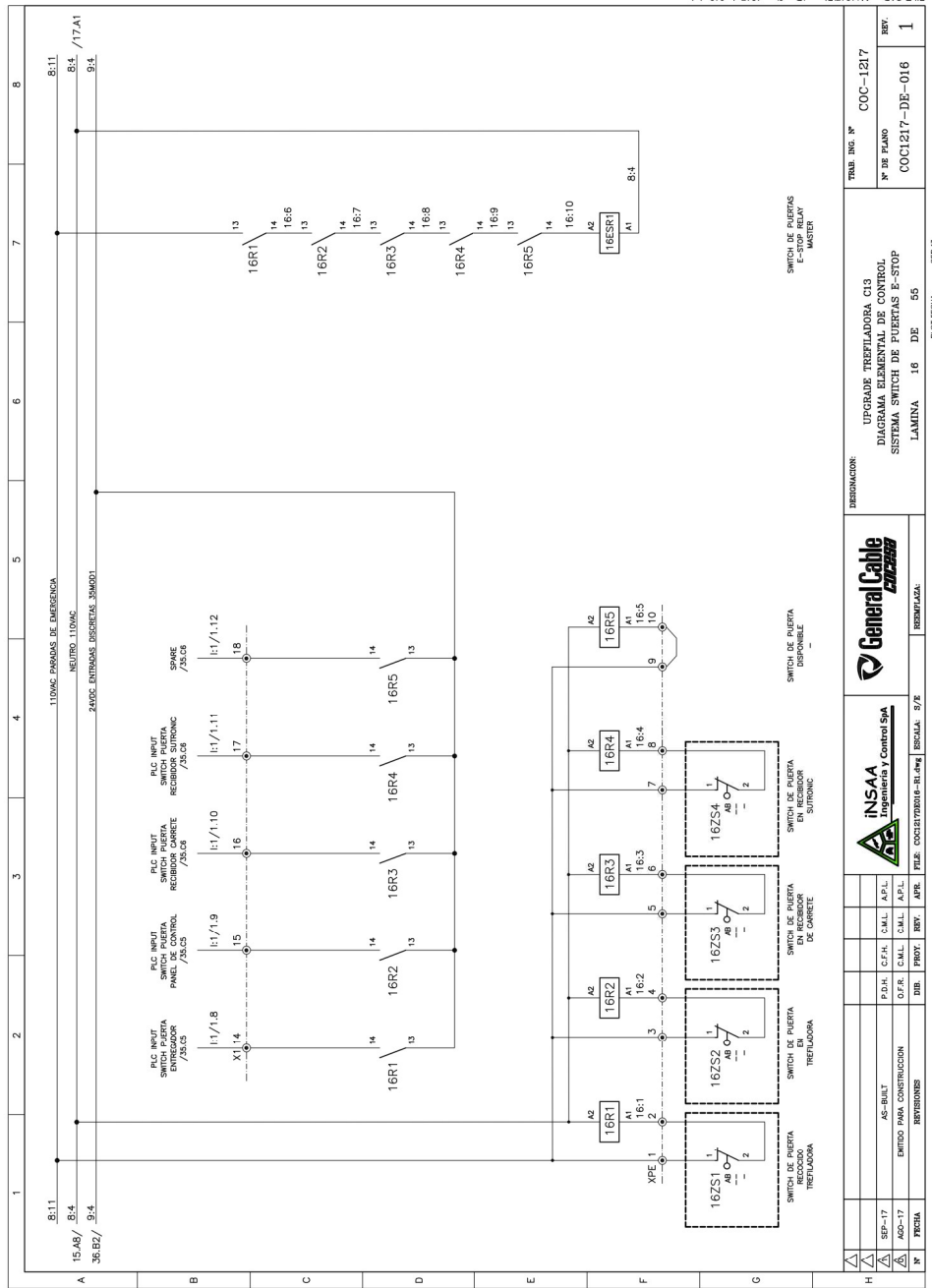
SEPT-17	AGOST-17	FECHA
AS-BREIT	ENTRADA PARA CONSTRUCCION	REVISIONES
P.D.H.	C.F.A.	C.M.L.
C.F.R.	C.M.L.	A.P.L.

TRAB. ING. N°	COC-1217
N° DE PLANO	COC1217-DE-015

DESCRIPCION	UPGRADE TREFILADORA C13
	DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL
	INTERCONEXION SERIALES DE TERRENO - GRUPO 2
LAMINA	15 DE 55

REPUESTO	REPUESTO
ESCALA	3/2
FECHA	COCHABAMBO-21.08.17
PROY.	REV.
APR.	APL.

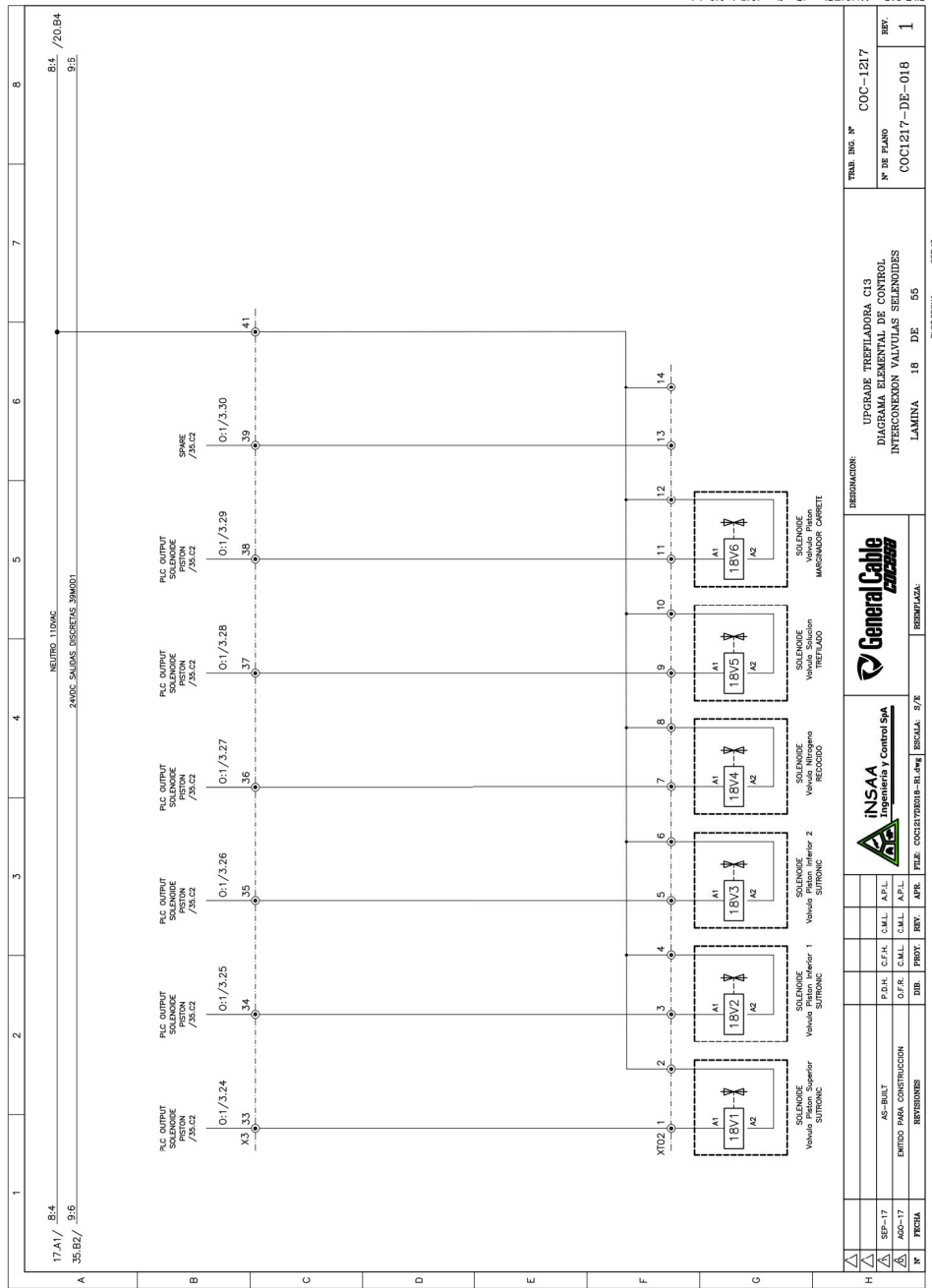
FILE-OAC: M:\127Pinos\Fed\0001217-d6-015-1.dwg SEP-17



FILE CAD: M:\127Pisos\R4\0\001217-d6-016-1.dwg



INSAA Ingeniería y Control S.A. P.D.R. C.F.R. S.M.L. A.P.L. D.F.R. C.M.L. S.M.L. A.P.L. DIB. PROY. E. PRO. ESCALA: 3/2		General Cable Cables y Accesorios		INFORMACION: UPGRADE TREFILADORA G13 DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL SISTEMA SWITCH DE PUERTAS E-STOP LAMINA 16 DE 55		TABL. ING. N° N° DE PLANO COC1217-DE-016	
15A8 / B.4 36B2 / B.4 8.11 B.4 / 17A1 B.4		16R1 16R2 16R3 16R4 16R5 16ZS1 16ZS2 16ZS3 16ZS4 16ESR1		SWITCH DE PUERTAS TREFILADORA SWITCH DE PUERTAS EN RECIPIENTE DE CARRETE SWITCH DE PUERTAS EN RECIPIENTE SUITONIC SWITCH DE PUERTA DISPONIBLE SWITCH DE PUERTAS E-STOP RELAY MASTER		COC-1217 1	

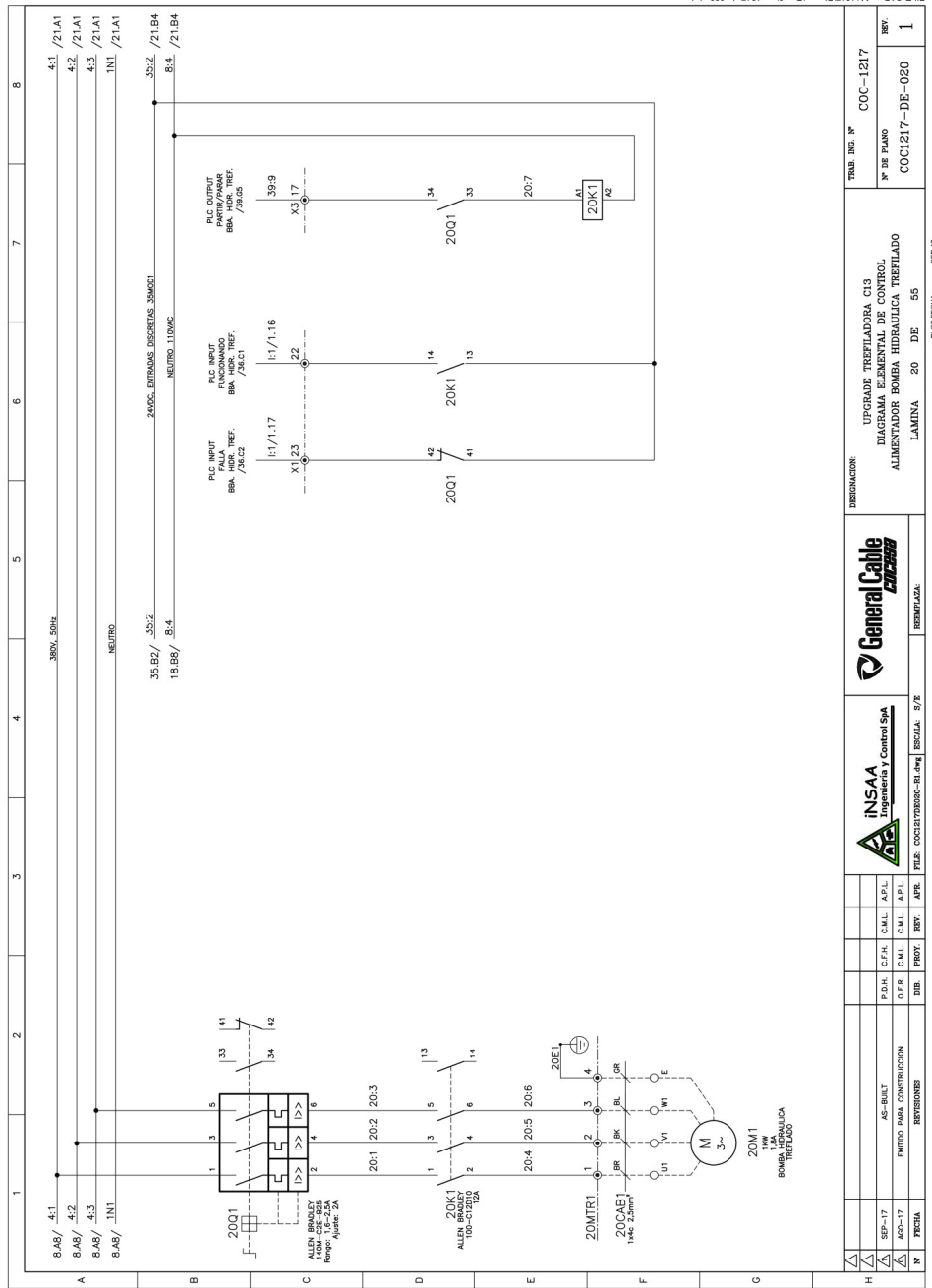
SEP-17



17.A1 / B.4 35.B2 / 9.6	NEUTRO 110VAC 240V SALIDA DISCRETAS 3RMS01	8.1 / 20.B4 9.5
REVISIONACION UPGRADE TRIFASIADA CI 3 DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL INTERCONEXION VALVULAS SOLENOIDES LAMINA 18 DE 55		
TABLA DE DATOS N° DE PLANO COC1217-DE-018		REF. 1
INSAA Ingeniería y Control S.A. INSAA		
P.D.H. SEP-17	C.F.A. C.M.L. A.P.L.	ESCALA 3/2E
D.F.R. AGO-17	C.M.L. A.P.L.	
DISEÑO P.D.H.	DISEÑO P.D.H.	

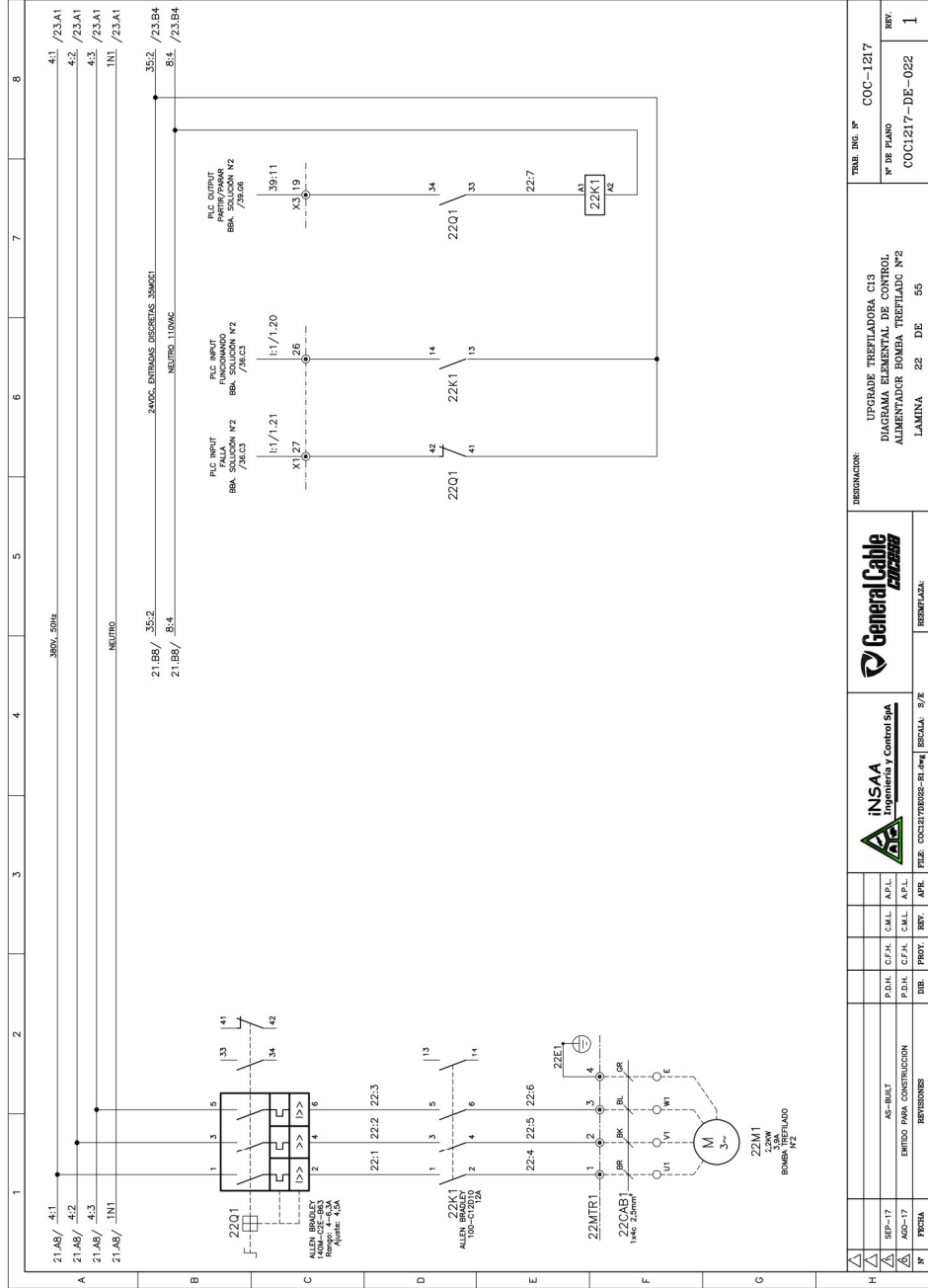
FILE-042 M:\1217Pinos\Rev 0\0001217-d0-018-1.dwg SEP-17

H	A	SEP-17	AS-BUILD	P.D.R. C.F.R.	C.M.L.	A.P.L.	TITULO	DESCRIPCION			PRE: COC-1217-DE-019 ESCALA: 3/4"	RESERVADA	19 DE 55 LAMINA DE CONTROL DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL UPGRADE TREFILADORA CI 3	COC-1217 N° DE PLANO	1 REV.
A	B	C	D	E	F	G	1	2	3	4	5	6	7	8	



FILE: QAC-M1217PinosRev 0/0001217-d6-0201-dwg SEP-17

TRAB. ING. N°	COC-1217
N° DE PLANO	COC1217-DE-020
REF.	1
INDICACION:	UPGRADER TREFILADORA CI.3 DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL ALIMENTADOR BOMBA HIDRAULICA TREFILADO
LAMINA	20 DE 55
REEMPLAZA:	
General Cable	
INSAA	
INGENIERIA Y CONTROL S.A.	
FILE: COC1217-DE-020	ESCALA: 3/2
P.D.H. C.F.A. C.M.L. A.P.L.	
D.F.R. C.M.L. C.M.L. A.P.L.	
IND. PROY. E. BOY. / APR.	
ENTRADA PARA CONSTRUCCION	
REVISIONES	
8. SEP-17	AS-BRET
8. SEP-17	ENTRADA PARA CONSTRUCCION
N°	FECHA



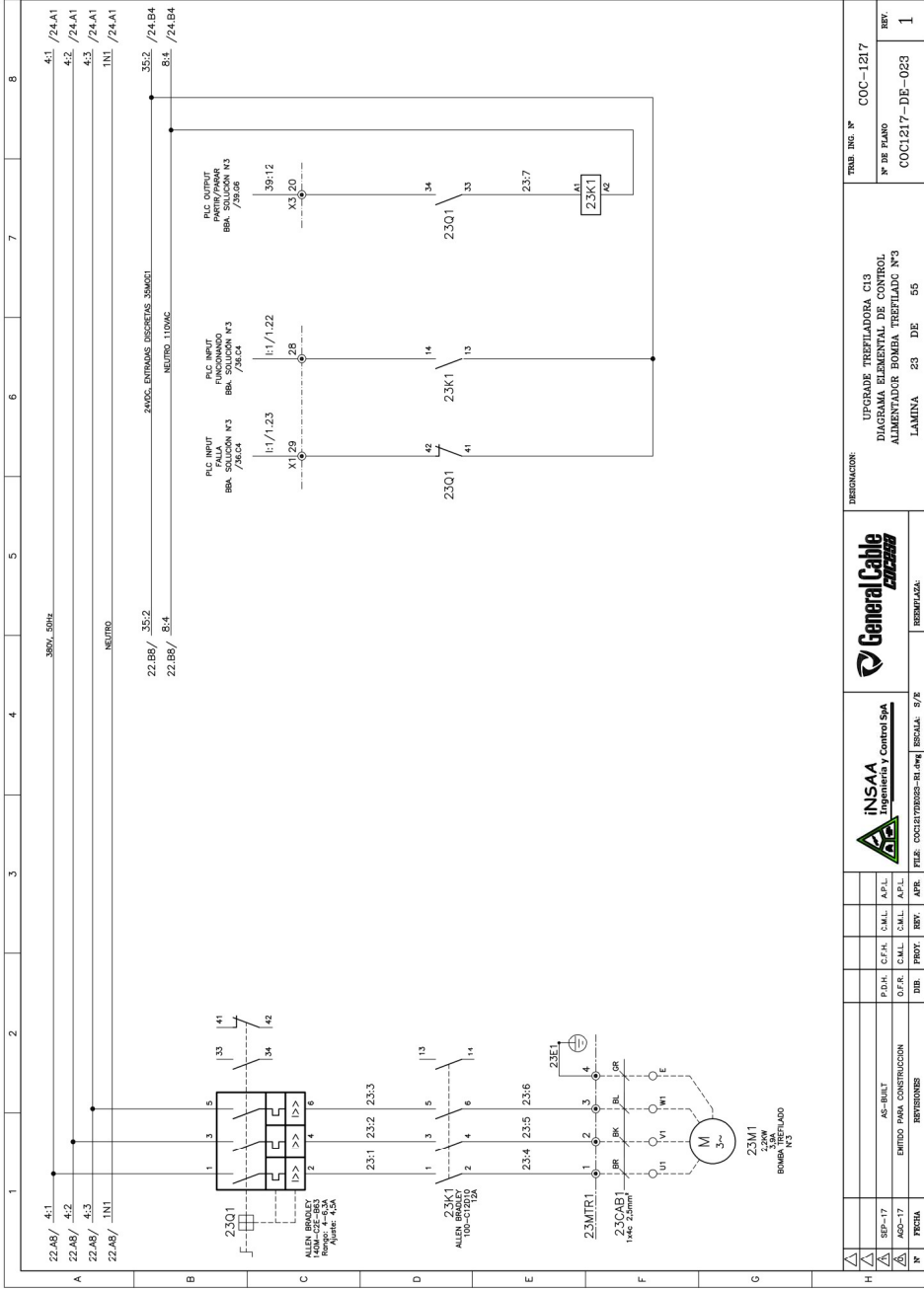
1	21.A8/ 4.1	380V, 50Hz	4.1 / 23.A1
2	21.A8/ 4.2		4.2 / 23.A1
3	21.A8/ 4.3		4.3 / 23.A1
4	21.A8/ 1.N1	NEUTRO	1.N1 / 23.A1
5	21.B8/ 35.2	21.B8/ 8.4	35.2 / 23.B4
6	21.B8/ 8.4	NEUTRO 110VAC	8.4 / 23.B4
7			
8			

PLC INPUT	PLC INPUT	PLC INPUT	PLC INPUT
BBA SOLUCIÓN N2	BBA SOLUCIÓN N2	BBA SOLUCIÓN N2	BBA SOLUCIÓN N2
/38.03	/38.03	/38.03	/38.03
X1/1.21	X1/1.20	X3/19	X3/19

22Q1	22K1	22MTR1	22CAB1	22M1
14C	100-072010	14C	14C	2.2kW
12A	12A	12A	14C	3~
				BOMBA TREFILADO N2

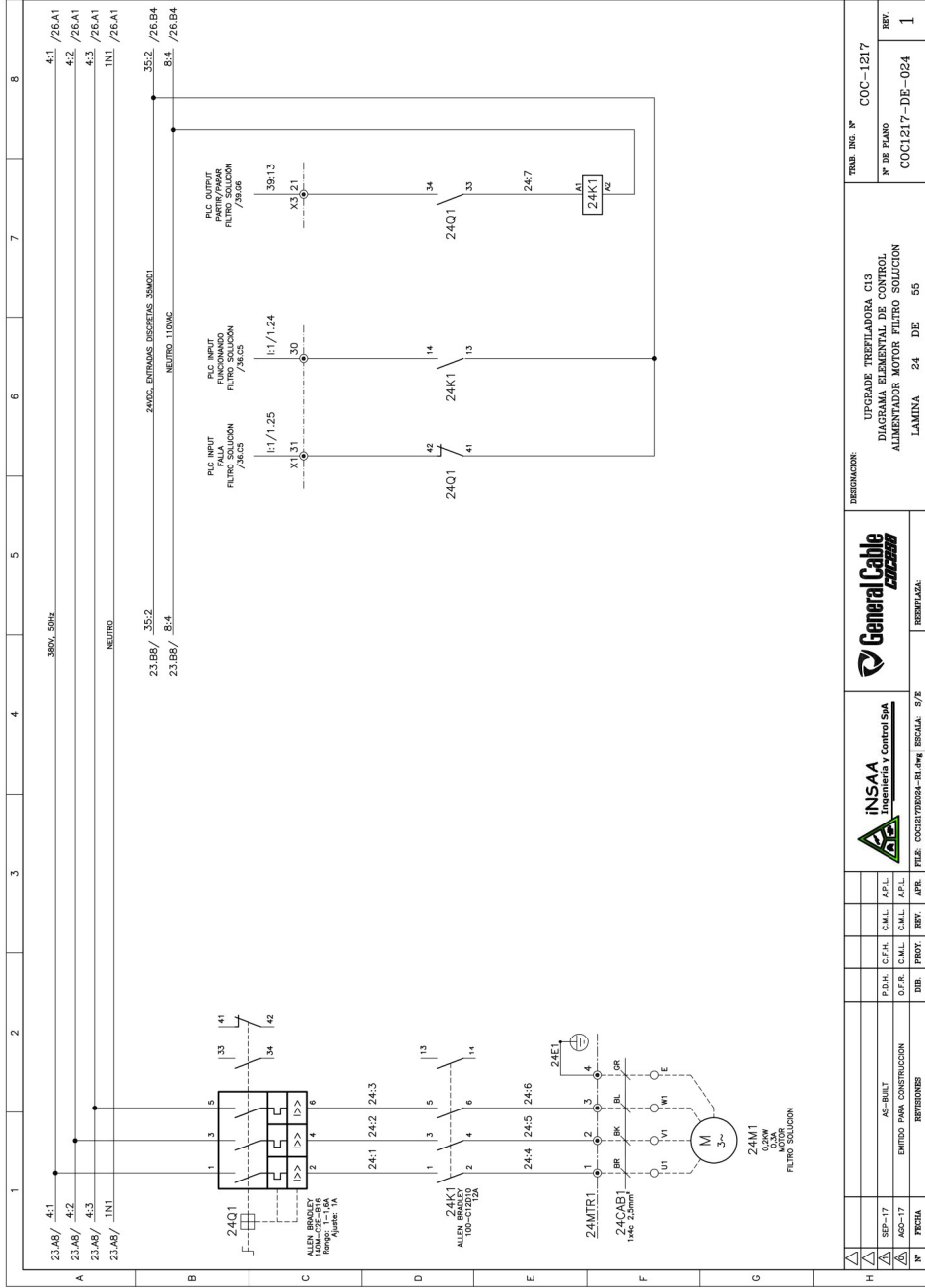
INSAA	General Cable	UPGRADE TREFILADORA CI.3	COG-1217
INGENIERIA Y CONTROL S.A.		DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL	Nº DE PLANO
		ALIMENTADOR BOMBA TREFILADO N°2	COG1217-DE-022
		LAMINA	22 DE 55
			SEP-17

FILE: CAD: M:\127Pinos\Fer+0\001217-d6-022-1.dwg





PLANO		DESCRIPCION		GENERAL		REFERENCIAS	
PLANO	1	DESCRIPCION	UPGRADE TREFILADORA C13 DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL ALIMENTADOR BOMBA TREFILADO N°3	GENERAL	General Cable	REFERENCIAS	SEP-17
PLANO	1	DESCRIPCION	UPGRADE TREFILADORA C13 DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL ALIMENTADOR BOMBA TREFILADO N°3	GENERAL	General Cable	REFERENCIAS	SEP-17
PLANO	1	DESCRIPCION	UPGRADE TREFILADORA C13 DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL ALIMENTADOR BOMBA TREFILADO N°3	GENERAL	General Cable	REFERENCIAS	SEP-17
PLANO	1	DESCRIPCION	UPGRADE TREFILADORA C13 DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL ALIMENTADOR BOMBA TREFILADO N°3	GENERAL	General Cable	REFERENCIAS	SEP-17

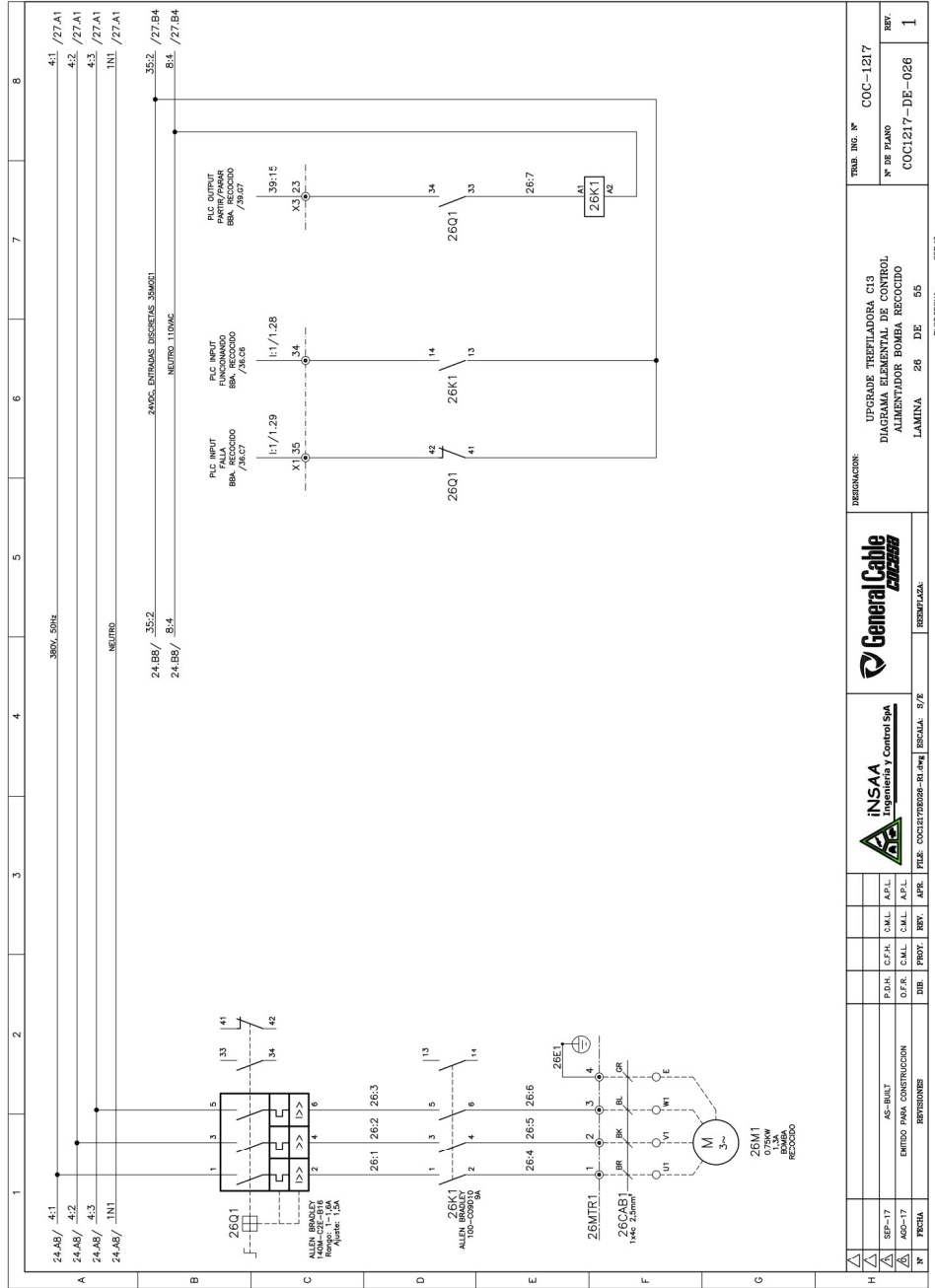
FILE-OAC: M:\127Pinos\Rev\0\001217-d6-0231.dwg



INSAA		General Cable		INSAA		General Cable	
INGENIERIA Y CONTROL S.A.		CABLES Y ACCESORIOS		INGENIERIA Y CONTROL S.A.		CABLES Y ACCESORIOS	
P.D.H. C.F.A. S.M.L. A.P.L.		P.D.H. C.F.A. S.M.L. A.P.L.		P.D.H. C.F.A. S.M.L. A.P.L.		P.D.H. C.F.A. S.M.L. A.P.L.	
D.F.R. C.M.L. S.M.L. A.P.L.		D.F.R. C.M.L. S.M.L. A.P.L.		D.F.R. C.M.L. S.M.L. A.P.L.		D.F.R. C.M.L. S.M.L. A.P.L.	
DIB. PROY. EBO. / APR.		DIB. PROY. EBO. / APR.		DIB. PROY. EBO. / APR.		DIB. PROY. EBO. / APR.	
FILE: COC1217-DE-024-1.dwg		FILE: COC1217-DE-024-1.dwg		FILE: COC1217-DE-024-1.dwg		FILE: COC1217-DE-024-1.dwg	
REVISIONES		REVISIONES		REVISIONES		REVISIONES	
ENTRO PARA CONSTRUCCION		ENTRO PARA CONSTRUCCION		ENTRO PARA CONSTRUCCION		ENTRO PARA CONSTRUCCION	
AS-BUILT		AS-BUILT		AS-BUILT		AS-BUILT	
SEP-17		SEP-17		SEP-17		SEP-17	
AGO-17		AGO-17		AGO-17		AGO-17	
FICHA		FICHA		FICHA		FICHA	
INDICACION:				INDICACION:			
UPGRADE TREFILADORA C13				UPGRADE TREFILADORA C13			
DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL				DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL			
ALIMENTADOR MOTOR FILTRO SOLUCION				ALIMENTADOR MOTOR FILTRO SOLUCION			
LAMINA 24 DE 55				LAMINA 24 DE 55			
TABL. ING. N°				TABL. ING. N°			
COC-1217				COC-1217			
N° DE PLANO				N° DE PLANO			
COC1217-DE-024				COC1217-DE-024			
REV. 1				REV. 1			
SEP-17				SEP-17			

FILE: COC1217-DE-024-1.dwg

H A A A X		SEP-17 AGO-17 FICHA	AS-BUILD ENTIBO PARA CONSTRUCCION REVISIONES	P.D.H. D.F.R.	C.F.A. C.M.L.	S.M.L. C.M.L.	A.P.L. A.P.L.	INSAA Ingeniería y Construcción S.A.  FILE: COC1217-DE-025-1.dwg ESCALA: 3/4	 RESERVADA	DENOMINACION: UPGRADE TREFILADORA CI 3 DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL LIBRE LAMINA 25 DE 55	TITULO: COC-1217 N° DE PLANO: COC1217-DE-025	COC-1217 1		
A	B	C	D	E	F	G	1	2	3	4	5	6	7	8



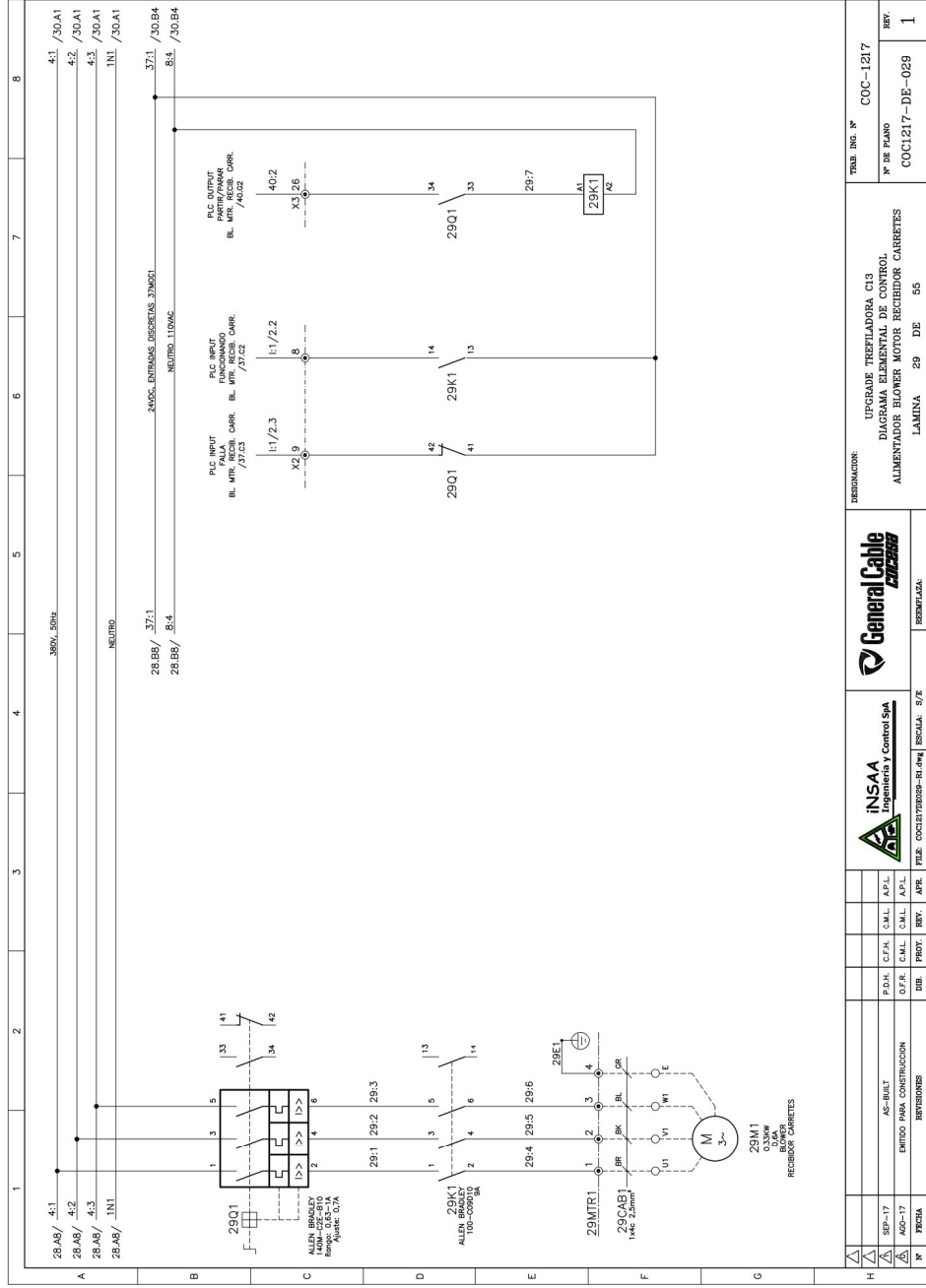
H	SE-17	SE-17	SE-17	SE-17	SE-17	SE-17	SE-17	SE-17	SE-17	SE-17	SE-17
A	SE-17	SE-17	SE-17	SE-17	SE-17	SE-17	SE-17	SE-17	SE-17	SE-17	SE-17
A	SE-17	SE-17	SE-17	SE-17	SE-17	SE-17	SE-17	SE-17	SE-17	SE-17	SE-17
N	SE-17	SE-17	SE-17	SE-17	SE-17	SE-17	SE-17	SE-17	SE-17	SE-17	SE-17

P.D.N. C.F.A. S.M.L. A.P.L.		P.D.N. C.F.A. S.M.L. A.P.L.	
O.P.R. C.M.L. S.M.L. A.P.L.		O.P.R. C.M.L. S.M.L. A.P.L.	
DIB. PROY. E.B.Y.		DIB. PROY. E.B.Y.	
DIB. PROY. E.B.Y.		DIB. PROY. E.B.Y.	

INSAA	General Cable
INGENIERIA Y CONTROL S.A.	General Cable

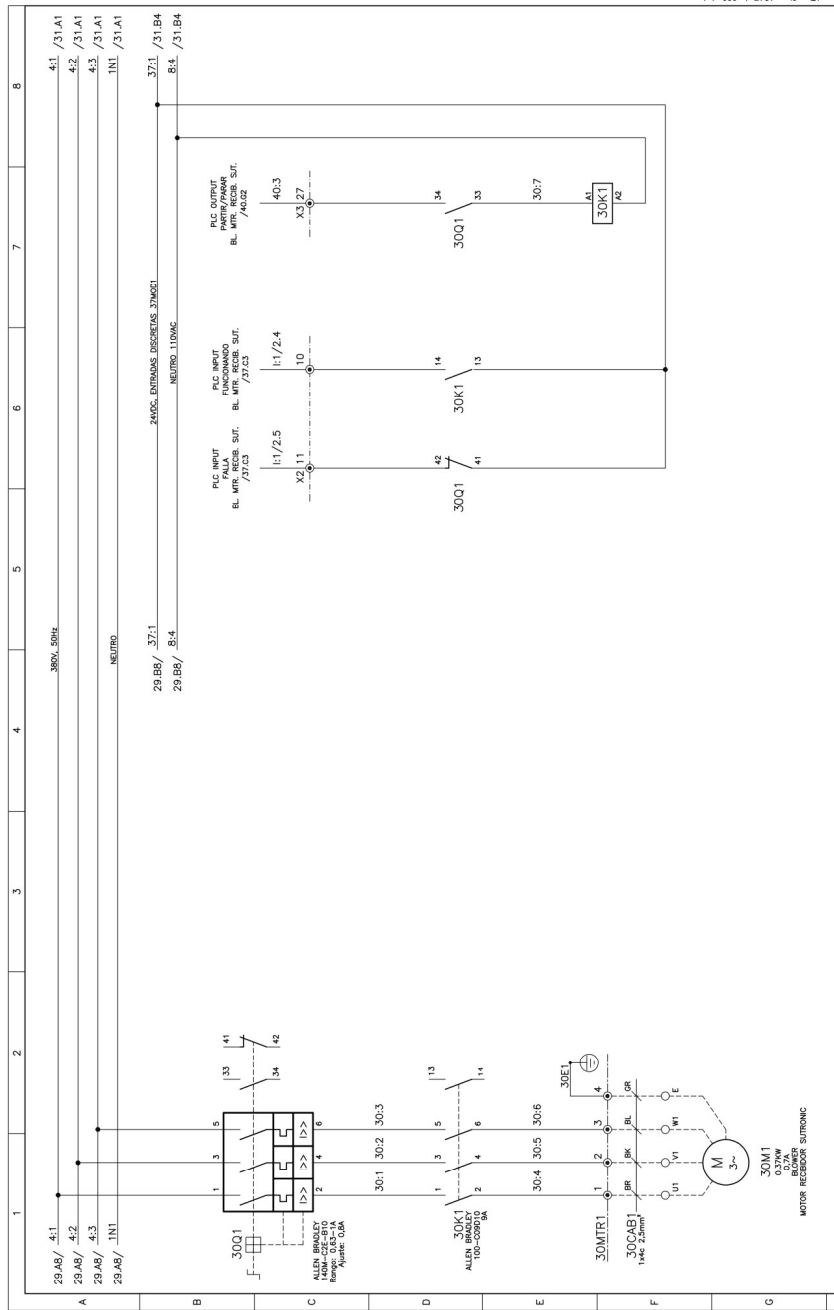
INFORMACION	UPGRADE TREFILADORA CI.3	TABL. ING. N°	COC-1217
DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL	ALIMENTADOR BOMBA RECICLADO	N° DE PLANO	COC1217-DE-026
LAMINA	26 DE 55	REPETICION	SEP-17

FILE-04-C M:127PinosRev.0/001217-d6-026-1.dwg



GENERAL CABLE <small>General Cable</small>		INSAA <small>Ingeniería y Control S.A.</small>		General Cable <small>General Cable</small>		INSAA <small>Ingeniería y Control S.A.</small>		General Cable <small>General Cable</small>	
P.D.M. C.F.A. C.M.L. A.P.L. D.F.R. C.M.L. C.M.L. A.P.L.		P.D.M. C.F.A. C.M.L. A.P.L. D.F.R. C.M.L. C.M.L. A.P.L.		P.D.M. C.F.A. C.M.L. A.P.L. D.F.R. C.M.L. C.M.L. A.P.L.		P.D.M. C.F.A. C.M.L. A.P.L. D.F.R. C.M.L. C.M.L. A.P.L.		P.D.M. C.F.A. C.M.L. A.P.L. D.F.R. C.M.L. C.M.L. A.P.L.	
DIB. PROJ. REV. / APR.		DIB. PROJ. REV. / APR.		DIB. PROJ. REV. / APR.		DIB. PROJ. REV. / APR.		DIB. PROJ. REV. / APR.	
FILE: COC1217-DE-029-1.dwg		FILE: COC1217-DE-029-1.dwg		FILE: COC1217-DE-029-1.dwg		FILE: COC1217-DE-029-1.dwg		FILE: COC1217-DE-029-1.dwg	
ESCALA: 3/2		ESCALA: 3/2		ESCALA: 3/2		ESCALA: 3/2		ESCALA: 3/2	
RESERVA:		RESERVA:		RESERVA:		RESERVA:		RESERVA:	
REVISIONES		REVISIONES		REVISIONES		REVISIONES		REVISIONES	
ENTIBO PARA CONSTRUCCION		ENTIBO PARA CONSTRUCCION		ENTIBO PARA CONSTRUCCION		ENTIBO PARA CONSTRUCCION		ENTIBO PARA CONSTRUCCION	
AS-BLBT		AS-BLBT		AS-BLBT		AS-BLBT		AS-BLBT	
85-17		85-17		85-17		85-17		85-17	
80-17		80-17		80-17		80-17		80-17	
1		1		1		1		1	
COC-1217		COC-1217		COC-1217		COC-1217		COC-1217	
Nº DE PLANO		Nº DE PLANO		Nº DE PLANO		Nº DE PLANO		Nº DE PLANO	
COC1217-DE-029		COC1217-DE-029		COC1217-DE-029		COC1217-DE-029		COC1217-DE-029	
LAMINA 29 DE 55		LAMINA 29 DE 55		LAMINA 29 DE 55		LAMINA 29 DE 55		LAMINA 29 DE 55	
1		1		1		1		1	
1		1		1		1		1	

FILE: COC-1217.dwg
 M:\127Pinos\Fed\0001217-ds-029-1.dwg
 SEP-17



PLA. 4:1	31 A1
PLA. 4:2	31 A1
PLA. 4:3	31 A1
1N1	31 A1
37:1	31 B4
8:4	31 B4

380V, 50Hz
NEUTRO
29 B8 / 37:1
29 B8 / 8:4
NEUTRO 110VAC

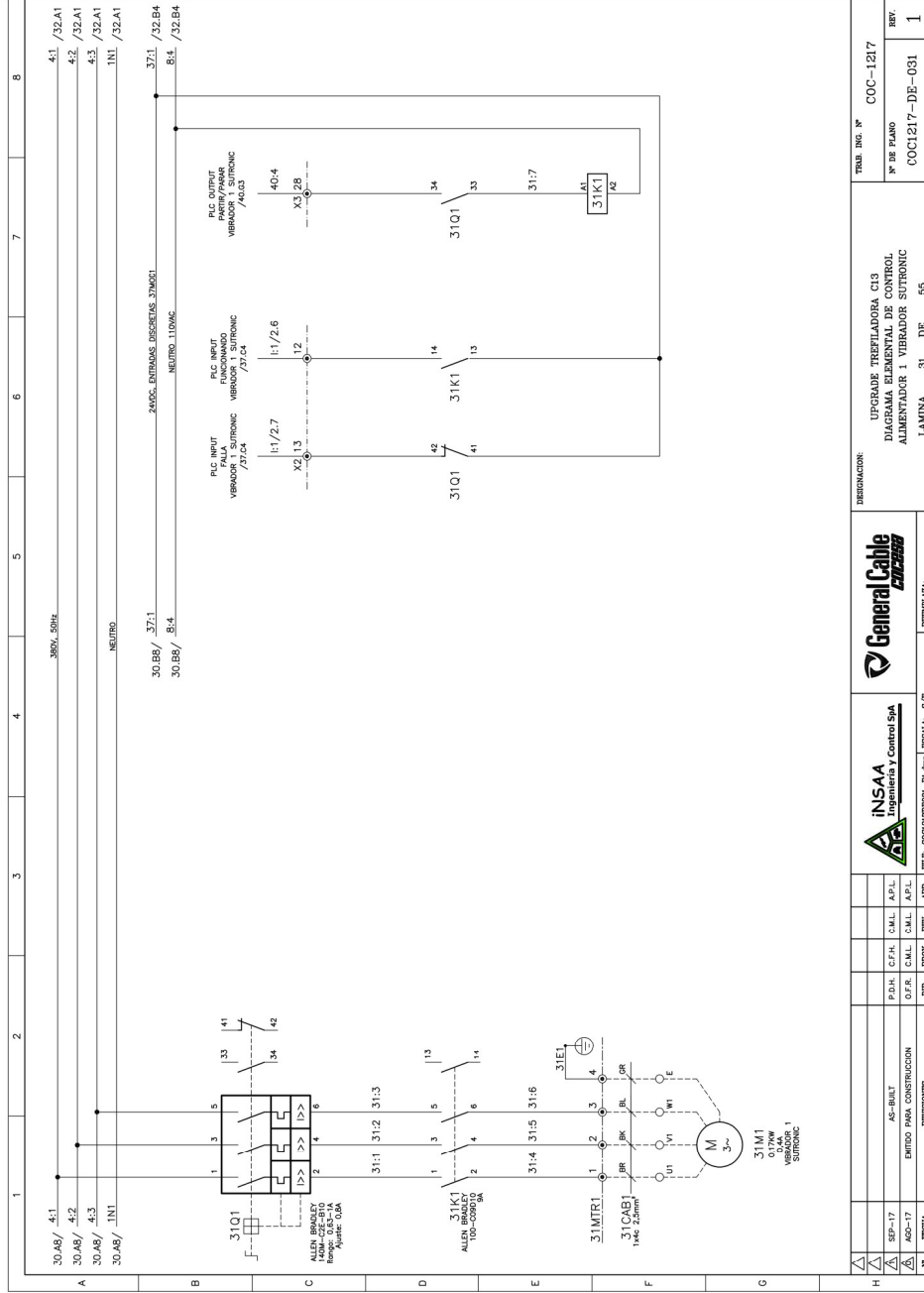
PLC INPUT	PLC INPUT	PLC INPUT
BL. MTR. RECB. SUT.	BL. MTR. RECB. SUT.	BL. MTR. RECB. SUT.
/37:3	/37:3	/4:3

PLC OUTPUT	PLC OUTPUT	PLC OUTPUT
BL. MTR. RECB. SUT.	BL. MTR. RECB. SUT.	BL. MTR. RECB. SUT.
/4:3	/4:3	/4:3

30Q1	30Q2	30Q3	30Q4	30Q5	30Q6
------	------	------	------	------	------

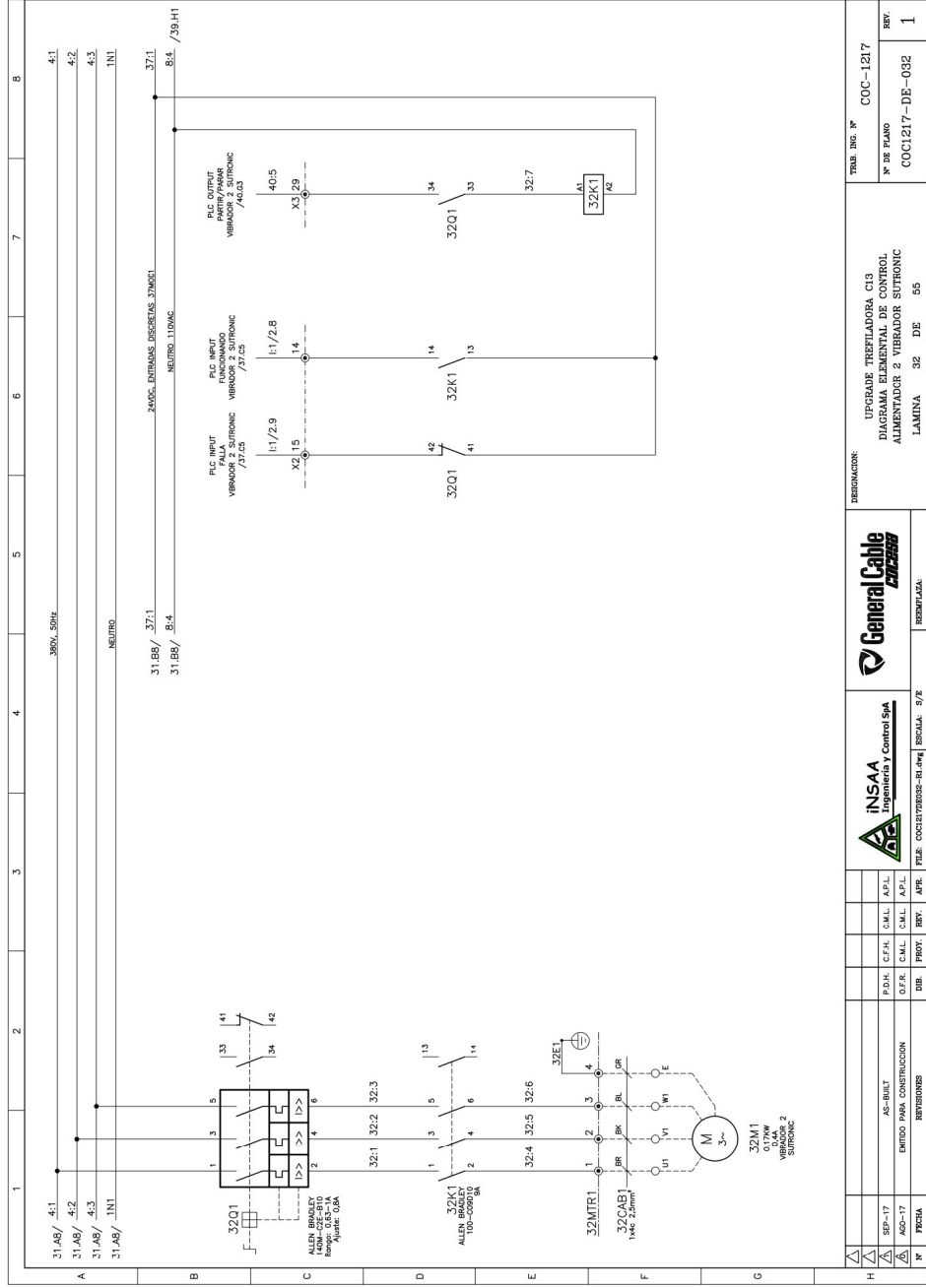
30K1	30MTR1	30CAB1	M
------	--------	--------	---

TITULO: DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL
 ALIMENTADOR BLOWER MOTOR RECIORR SUTRONIC
 LAMINA 30 DE 55
 COC1217-DE-030
 COC-1217
 # DE PLANO
 1



FILE CAD: M:\127\Proyectos\Rev\0001217-d-031-1.dwg



H	SE-17	AS-BEST	P.D.H. C.F.A. C.M.L. A.P.L.	INSAA Ingeniería y Control S.A.	General Cable	DESCRIPCION: UPGRADING FRECUENTADORA C13 DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL ALIMENTADOR 1 VIBRADOR SINTRONIC LAMINA 31 DE 55	TABLA ING. N° COC-1217	REP. 17
A	AS-17	ENTRADA PARA CONSTRUCCION	D.F.R. C.M.L. C.M.L. A.P.L.	INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES Y CONTROL S.A.	General Cable	DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL ALIMENTADOR 1 VIBRADOR SINTRONIC LAMINA 31 DE 55	N° DE PLANO COC1217-DE-031	REP. 1
B	AS-17	REVISIONES	D.H. D.F.R. D.F.R. A.P.L.	INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES Y CONTROL S.A.	General Cable	DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL ALIMENTADOR 1 VIBRADOR SINTRONIC LAMINA 31 DE 55	N° DE PLANO COC1217-DE-031	REP. 1



FILE: CAD: M:\127Pinos\Rev\0\001217-d6-032-1.dwg

DESIGNACION:	UPGRADER TREFILADORA C13 DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL ALIMENTADOR 2 VIBRADOR SUTRONIC LAMINA 32 DE 55	TABLA FIG. N°	COC-1217
REVISIONES:		N° DE PLANO	COC1217-DE-032
FECHA:	18/09/2017	REPUESTO:	1
ELABORADO:	INGENIERIA Y CONTROL S.A.	PROYECTADO:	INGENIERIA Y CONTROL S.A.
REVISADO:	INGENIERIA Y CONTROL S.A.	REVISADO:	INGENIERIA Y CONTROL S.A.
APROBADO:	INGENIERIA Y CONTROL S.A.	APROBADO:	INGENIERIA Y CONTROL S.A.
FILE:	COC1217-DE-032.dwg	ESCALA:	3/2
PROYECTADO:	INGENIERIA Y CONTROL S.A.	REVISADO:	INGENIERIA Y CONTROL S.A.
APROBADO:	INGENIERIA Y CONTROL S.A.	REVISADO:	INGENIERIA Y CONTROL S.A.

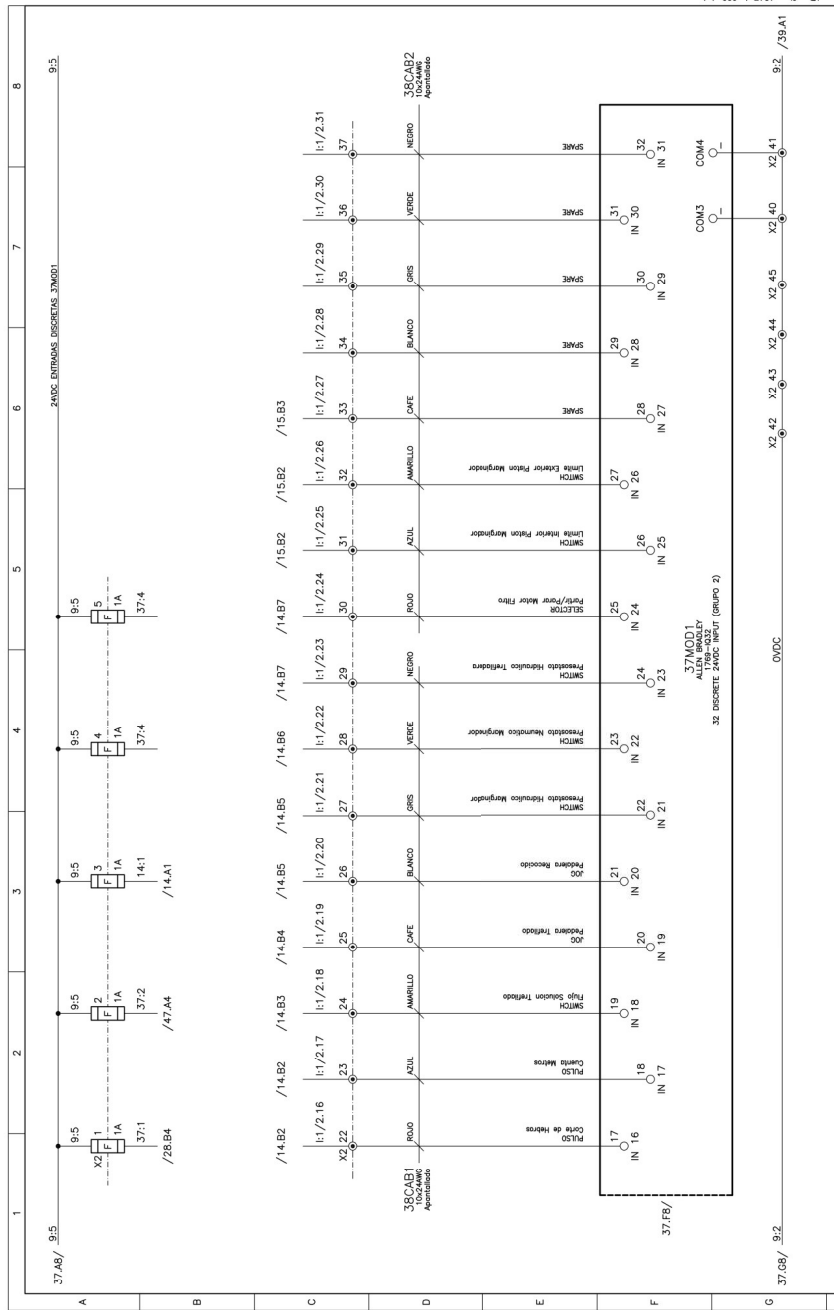
REPUESTO

A		B		C		D		E		F		G		8						
SEP-17	AS-BUILD	P.D.N.	C.F.A.	C.M.L.	A.P.L.															
AGO-17	ENTRADA PARA CONSTRUCCION	D.F.R.	C.M.L.	C.M.L.	A.P.L.															
Nº	REVISIONES	IMP.	PROY.	REV.	APR.	FILE	COEXISTENCIA-RI.dwg	ESCALA	3/8"	RESERVAJA										
															DENOMINACION: UPGRADE TREFILADORA CI 3 DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL LIBRE LAMINA 34 DE 55		TITULO REG. Nº Nº DE PLANO COCI217-DE-084		REF. 1	

SEP-17

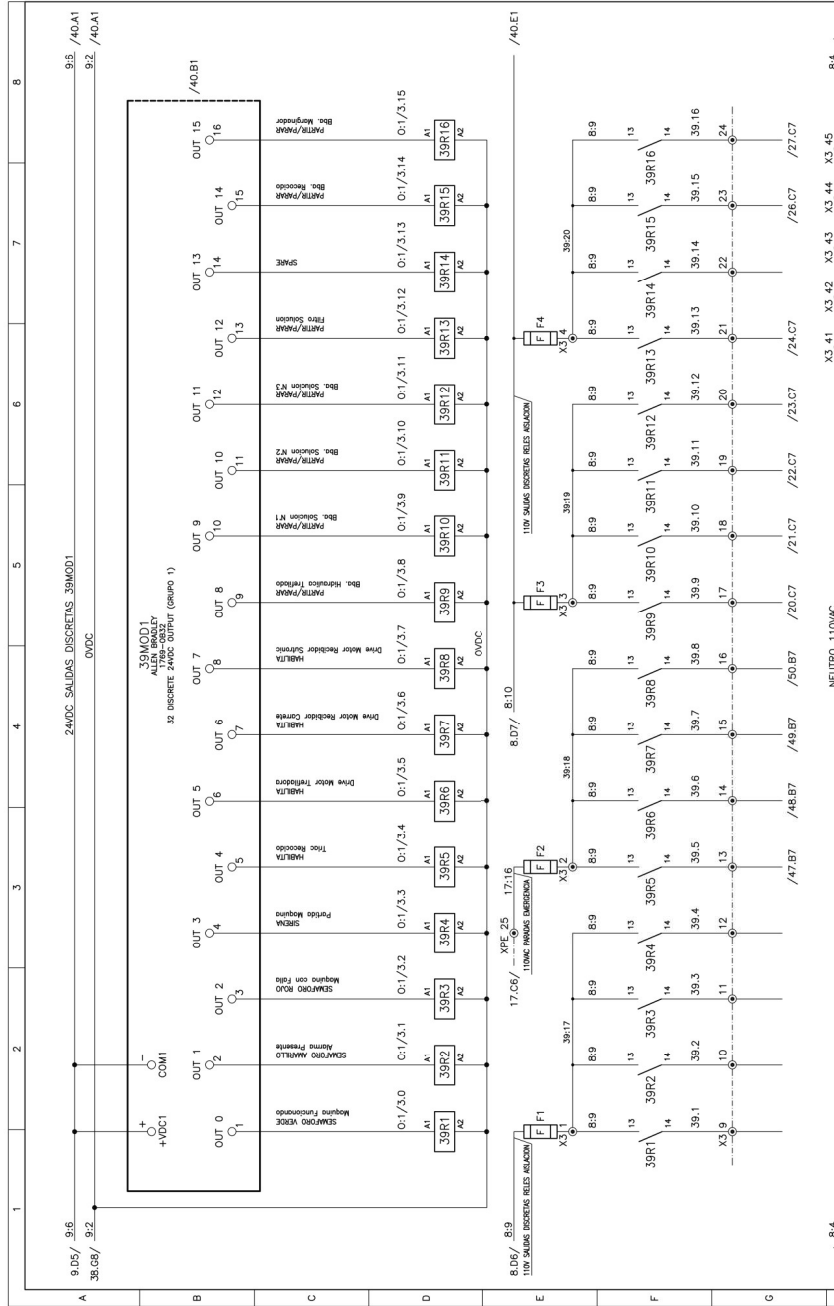
RESERVAJA

ESCALA 3/8"

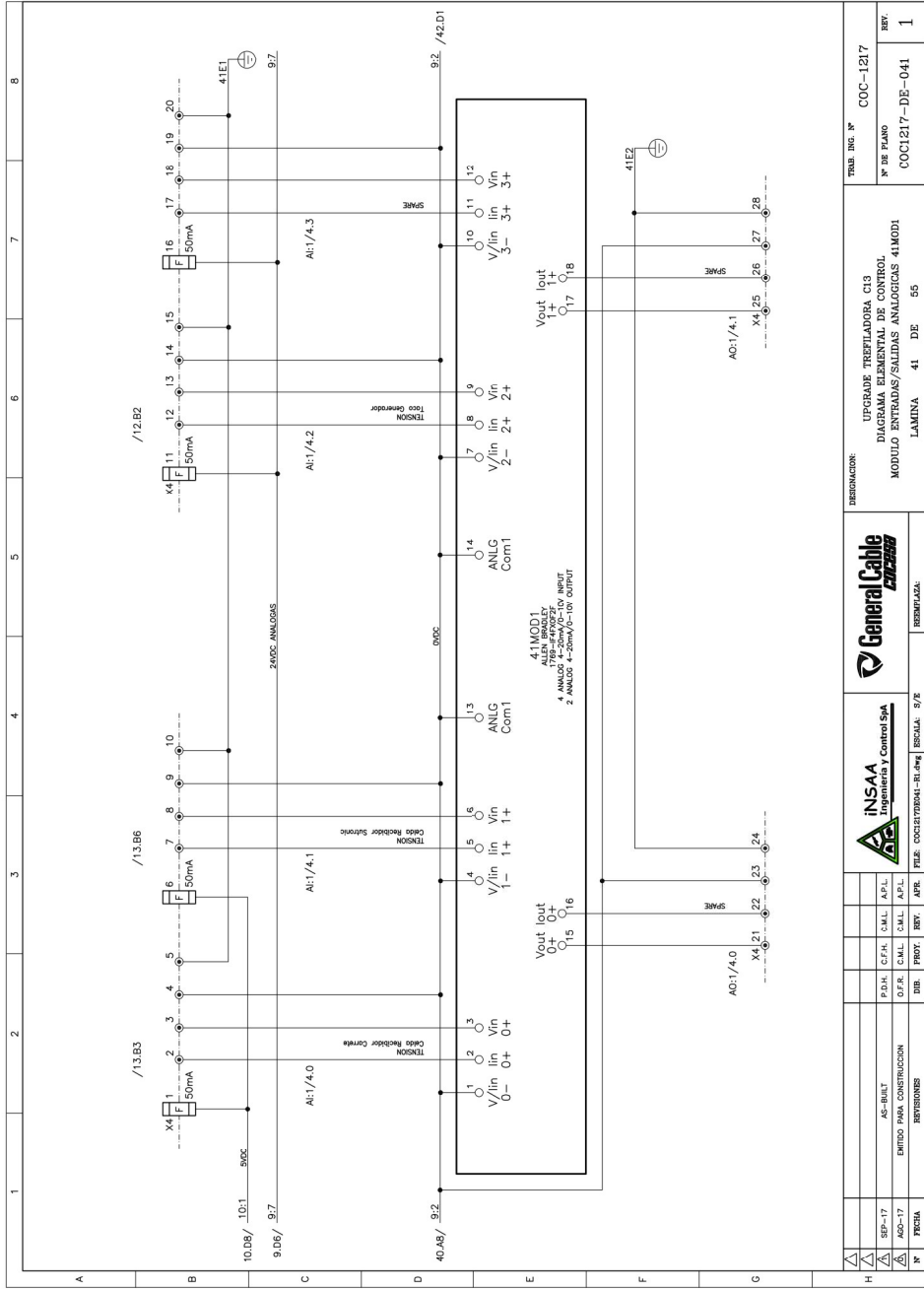


INSAA Ingeniería y Control S.A.		General Cable		INFORMACION:		TABLA REG. N°	
CALLE 14 # 14-11		CALLE 14 # 14-11		UPGRADE TREFILADORA CI 3		COC-1217	
BOGOTÁ		BOGOTÁ		DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL		N° DE PLANO	
TEL: 3002178088-81.406		TEL: 3002178088-81.406		MODULO ENTRADAS DISCRETAS 37MOD1 (GRUPO 2)		COC1217-DE-088	
FECHA: 02/07/2018		FECHA: 02/07/2018		LAMINA 38 DE 55		REV. 1	
DISEÑADO: J.F. GONZALEZ		DISEÑADO: J.F. GONZALEZ		REVISADO: J.F. GONZALEZ		REVISADO: J.F. GONZALEZ	
AUTORIZADO: J.F. GONZALEZ		AUTORIZADO: J.F. GONZALEZ		AUTORIZADO: J.F. GONZALEZ		AUTORIZADO: J.F. GONZALEZ	

FILE-04C M:\17\Pinos\Rev\0\001217-de-088-1.dwg SEP-17

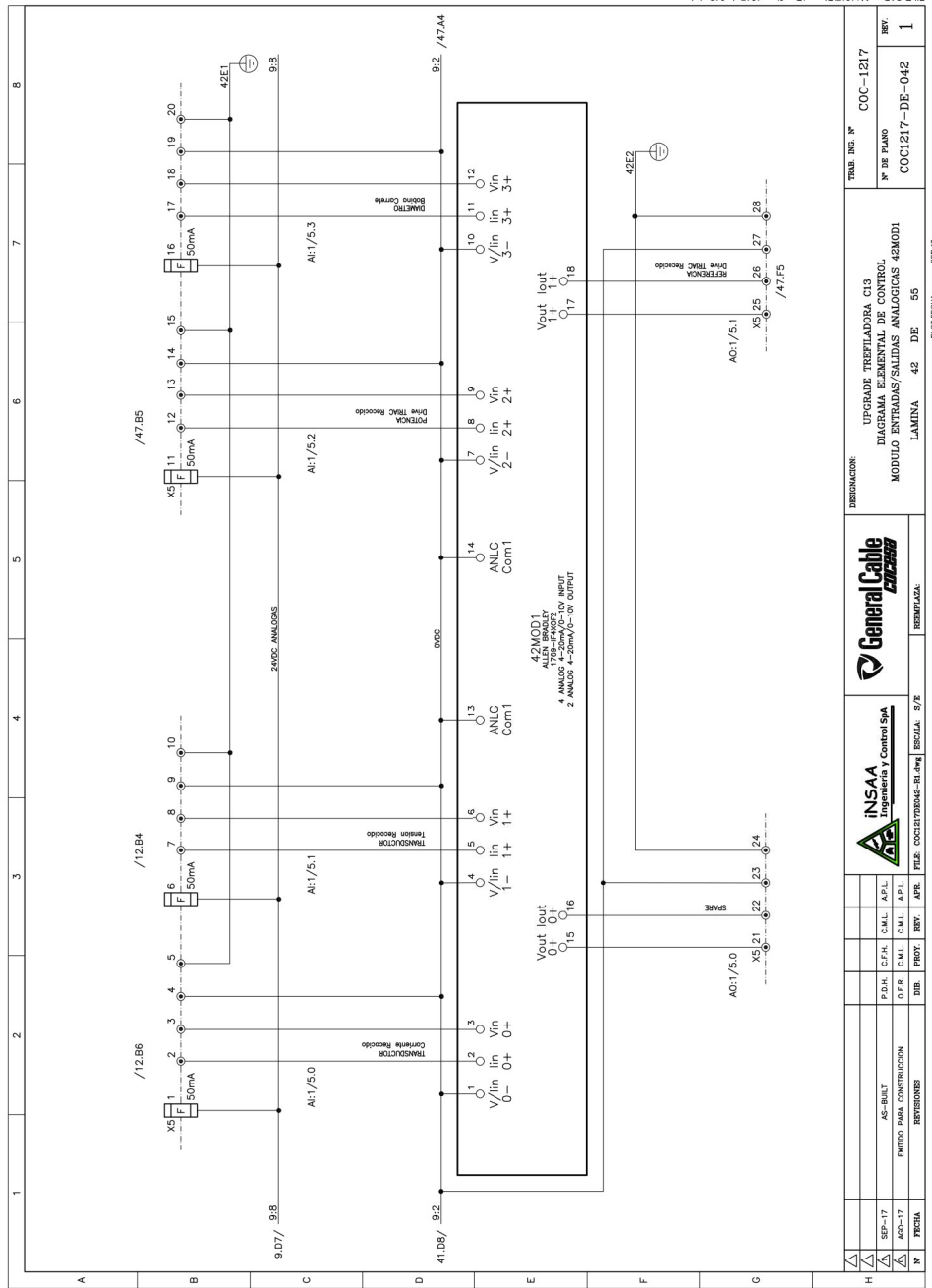


NO.	DESCRIPCION	REVISION	FECHA	PROY.	REV.	ESCALA	S/E
1	ENTRADA PARA CONSTRUCCION						
2	REVISIONES						
3	AS-BUILT						
4	P.D.H. C.F.A. C.M.L. A.P.L.						
5	D.F.R. C.M.L. C.M.L. A.P.L.						
6	INSAA Ingeniería y Control S.A.						
7	General Cable						
8	INFORMACION:						
9	UPGRADER TREFILADORA C13						
10	DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL						
11	MODULO SALIDAS DISCRETAS 39MOD1 (GRUPO 1)						
12	LAMINA 39 DE 55						
13	TABLA REG. N°						
14	N° DE PLANO						
15	COCI1217-DE-039						
16	REV.						
17	1						



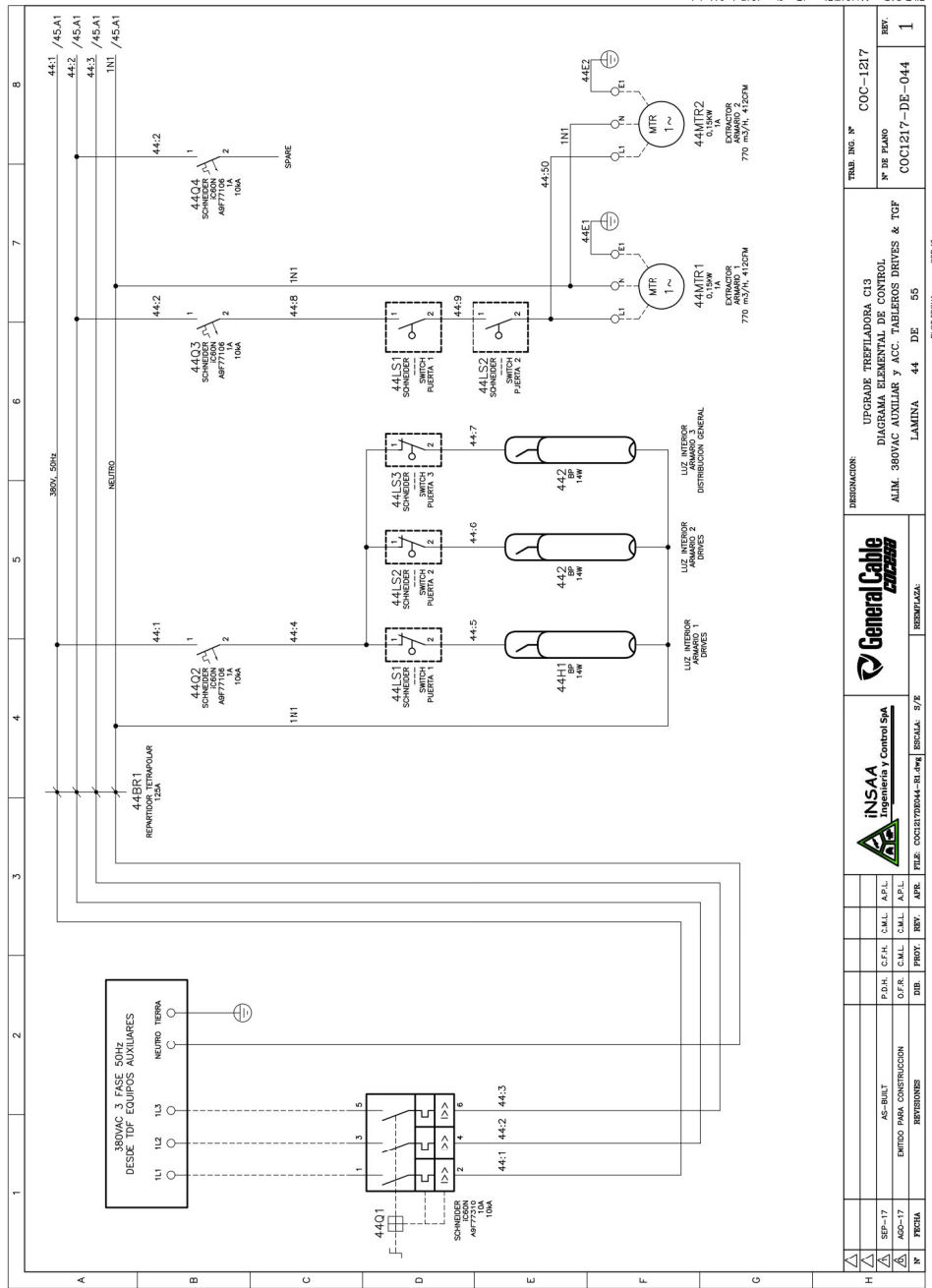
FILE-041 M:127PinosRev 0/0001217-de-041-1.dwg

H	SEP-17	AS-BASE	P.D.H.	C.F.A.	C.M.L.	A.P.L.	TRAB. ING. N°	COC-1217	
A	AG-17	ENTRADA PARA CONSTRUCCION	C.F.R.	C.M.L.	C.M.L.	A.P.L.	N° DE PLANO	COC1217-DE-041	
A	PROBA	REVISIONES	IMP.	PROY.	REV.	APR.	LAMINA	41 DE 55	
							RESERVAJA	REP-17	
								INFORMACION: UPGRADE TREFILADORA CI.3 DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL MODULO ENTRADAS/SALIDAS ANALOGICAS 41MOD1	REP: 1



FILE: CAD: M:\127Pinos\Fer\0001217-d6-042-1.dwg

REP.:	1
NO. DE PLANO:	COC-1217
TRAB. ING. N°:	COC-1217
REVISIONES:	
FECHA:	42 DE 55
LAMINA:	42 DE 55
MODULO ENTRADAS/SALIDAS ANALOGICAS 42MOD1	
DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL	
UPGRADER TRREFILADORA CI 3	
INFORMACION:	
REEMPLAZA:	
REVISION:	
FECHA:	
ELABORADO POR:	
REVISADO POR:	
APROBADO POR:	
INSAA	
INGENIERIA Y CONTROL S.A.	
General Cable	
General Cable	



4401	SWITCH	4401	SWITCH
441S1	SWITCH	441S2	SWITCH
441S3	SWITCH	44H1	LIGHT
44H2	LIGHT	44H3	LIGHT
44MTR1	MOTOR	44MTR2	MOTOR

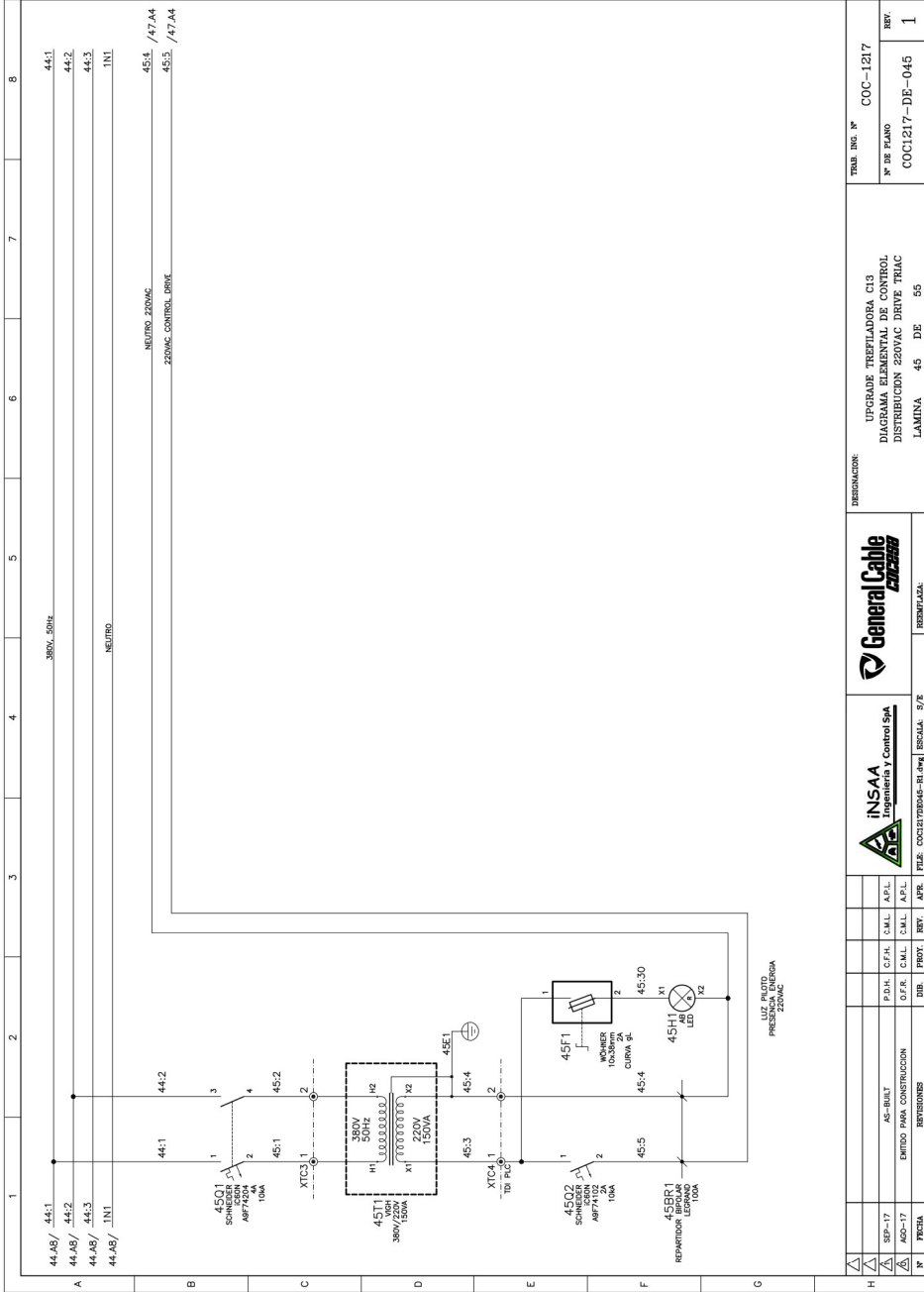
DESIGNACION:	UPGRADE TREFILADORA C13
	DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL
	ALIM. 380VAC AUXILIAR Y ACC. TABLEROS DRIVES & TGP
TRAB. ING. N°	COC-1217
N° DE PLANO	COC1217-DE-044
REPUESTO:	1
LAMINA	44 DE 55

INSAA	INGENIERIA Y CONTROL S.A.
PROYECTO:	COCESTRAMA-RI-044
ESCALA:	3/2

PROYECTO:	COCESTRAMA-RI-044
ESCALA:	3/2

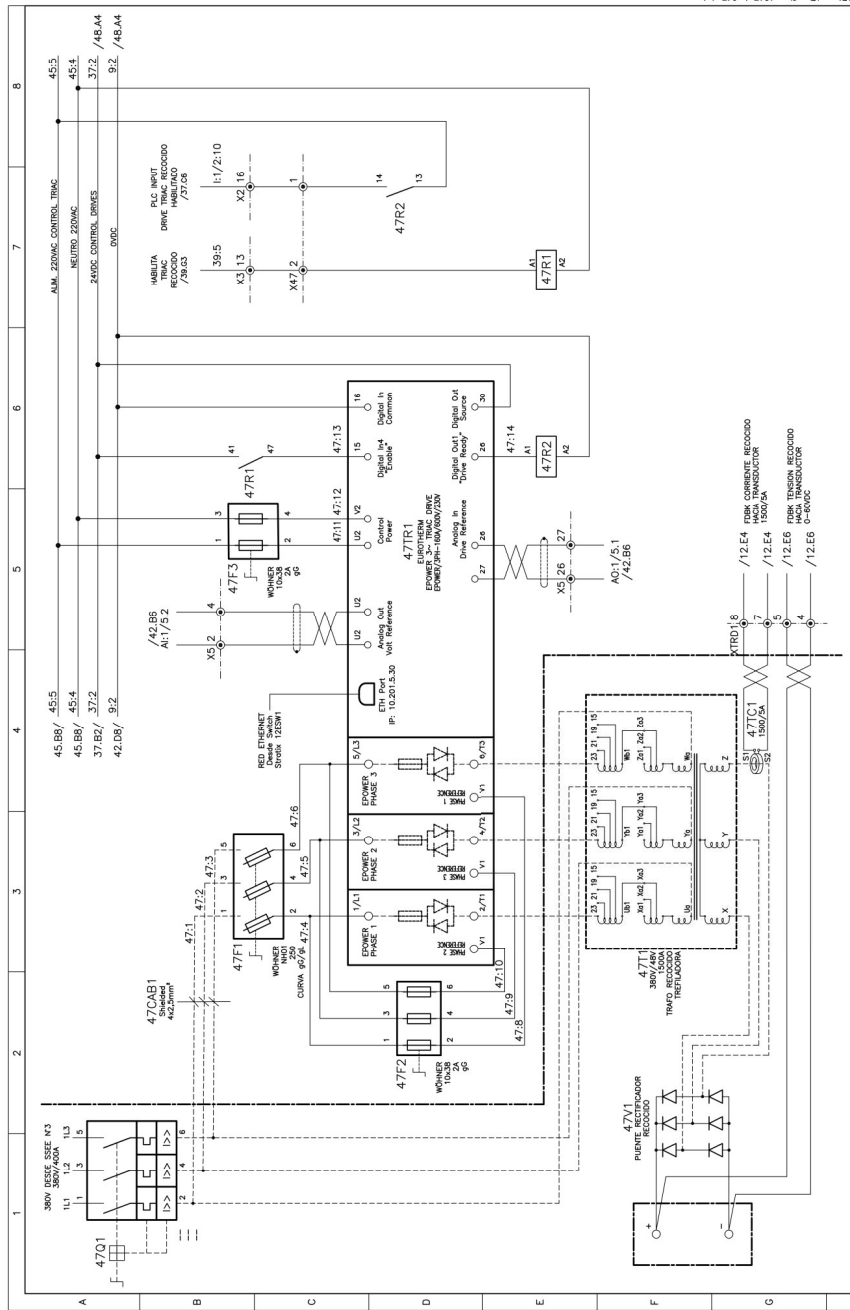
General Cable
 INSAA Ingeniería y Control S.A.
 COC-1217
 COC1217-DE-044
 LAMINA 44 DE 55
 REPUESTO: 1

FILE-04C M:127Pinos/Rev:0/001217-d-044-1.dwg SEP-17



FILE:CAD\M1127PinosRev 0\0001217-d6-045-1.dwg SEP-17

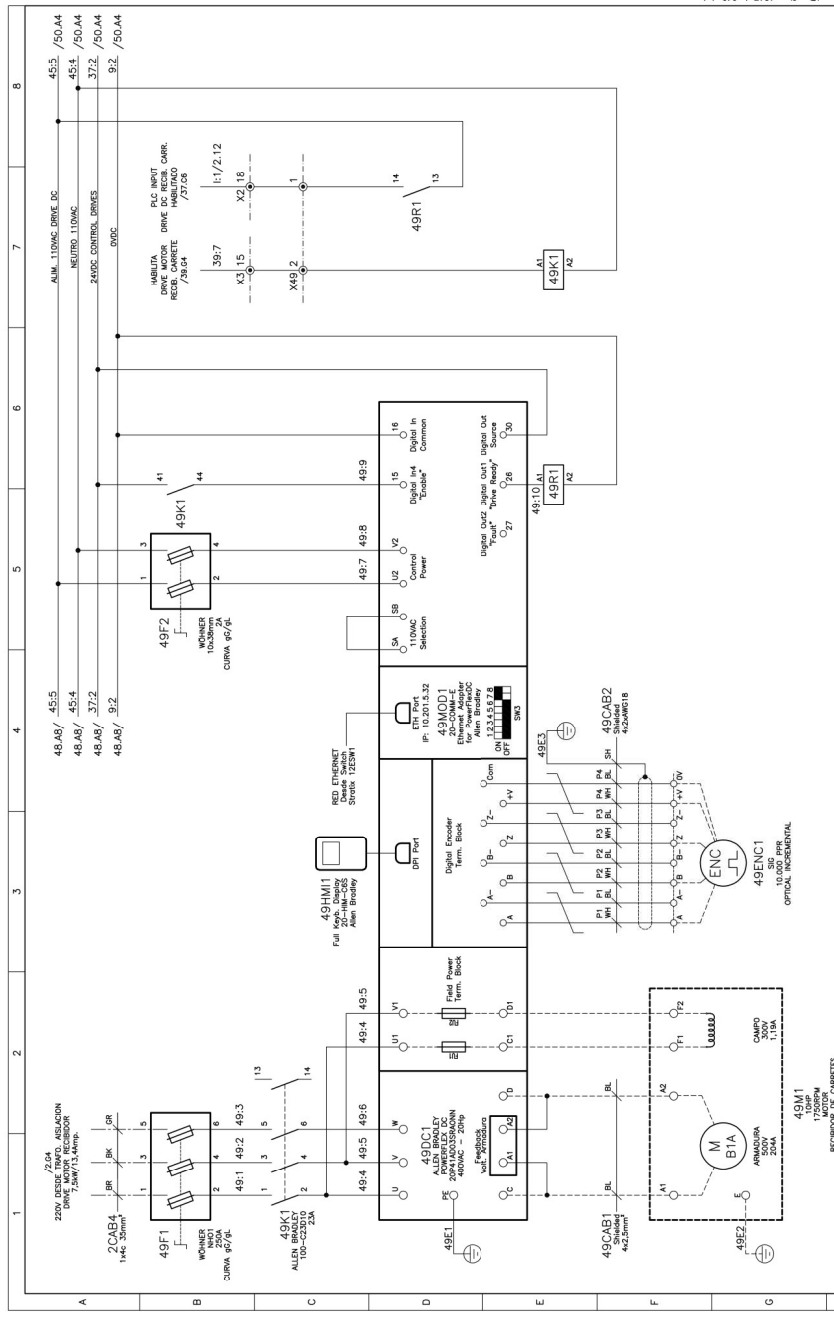
H	REV	FECHA	PROY	REV	APR	FILE	COEXISTENCIA-RI.dwg	ESCALA	3/2	
Δ	SEP-17									
Δ	AGO-17									
Δ										
Nº	ENTRADA PARA CONSTRUCCION		REVISIONES		AS-BUILT		P.D.M. C.F.A. C.M.L. A.P.L.		D.F.R. C.M.L. C.M.L. A.P.L.	
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>INSAA Ingeniería y Control S.A.</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>General Cable</p> </div> </div>										
DESCRIPCION: UPGRADE TRÉPTILADORA C13 DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL DISTRIBUCION 220VAC DRIVE THAC					LAMINA 45 DE 55		REEMPLAZA			
TABLA ING. Nº Nº DE PLANO COC1217-DE-045							COC-1217			
							REF: 1			



47F1	47F2	47F3	47F4	47F5	47R1	47R2	47R3	47TR1	47TC1	47T1	47T2
SWITCH	CIRCUIT BREAKER	CONTACTOR	CONTACTOR	CONTACTOR	RELAY	RELAY	RELAY	DRIVE	TRANSFORMER	TRANSFORMER	TRANSFORMER
11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5
11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5

GENERAL		REVISIONES		REVISIONES	
NOV 2017	45-BUS	NOV 2017	45-BUS	NOV 2017	45-BUS
SEP-17	45-BUS	SEP-17	45-BUS	SEP-17	45-BUS
AGO-17	45-BUS	AGO-17	45-BUS	AGO-17	45-BUS
JUN	45-BUS	JUN	45-BUS	JUN	45-BUS

INSAA Ingeniería y Control S.A.
 General Cable
 UPGRADE TREFILADORA G13
 DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL
 DRIVE TRIAC TRAFIO RECOCIDO
 LAMINA 47 DE 55
 COC-1217-DE-047
 N° DE PLANO
 COC-1217
 TRAB. ING. N° COC-1217
 SEP-17



1	2	3	4	5	6	7	8
<p>48AB/ 45.5 / 45.5 / 50.44 48AB/ 45.4 / 45.4 / 50.44 48AB/ 37.2 / 37.2 / 50.44 48AB/ 9.2 / 9.2 / 50.44</p> <p>PLC INPUT DRIVE RECIBIDOR DE CABLETES 73/64</p> <p>11/2.12 X3 15 X2 18 X45 2</p> <p>49K1 14 13</p> <p>49F2 1 2 3 4 1 2 3 4 41 44</p> <p>49K1 1 2 3 4 1 2 3 4</p> <p>49DC1 1 2 3 4 1 2 3 4 1 2 3 4</p> <p>49MOD1 1 2 3 4 1 2 3 4 1 2 3 4</p> <p>49ENC1 1 2 3 4 1 2 3 4 1 2 3 4</p> <p>49M1 1 2 3 4 1 2 3 4 1 2 3 4</p> <p>49R1 1 2 3 4 1 2 3 4 1 2 3 4</p>							

FILE CAD: M:\17\Proyectos\Fed+0001217-DE-041-DWG

INFORMACION: UPGRADE TREFILADORA C13
 DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL
 DRIVE DC MOTOR RECIBIDOR DE CABLETES

General Cable

INSAA Ingeniería y Control S.A.

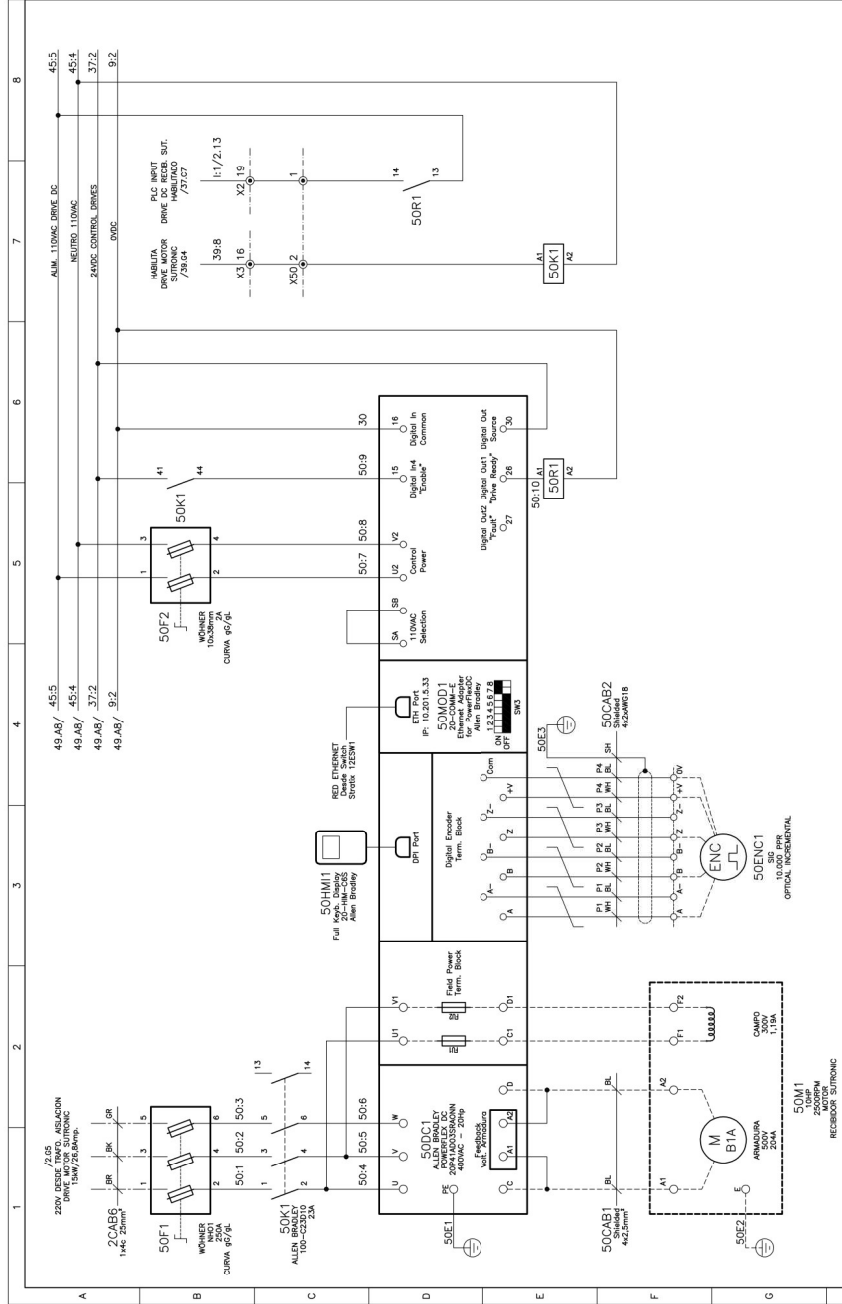
SEPTIEMBRE 2017

REVISIONES

REPUESTAJA

SEPTIEMBRE 2017

TABLA: ING. Nº COC-1217
 Nº DE PLANO COC1217-DE-049
 LAMINA 49 DE 55



H		P.D.H. C.F.A. C.M.L. A.P.L.		INSAA Ingeniería y Control S.A.		INFORMACION:		TABLA ING. N°		COC-1217	
A		P.D.H. C.F.A. C.M.L. A.P.L.		INSAA Ingeniería y Control S.A.		UPGRADE TREFILADORA C13		N° DE PLANO		COC-1217-DE-060	
A		P.D.H. C.F.A. C.M.L. A.P.L.		INSAA Ingeniería y Control S.A.		DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL		REF:		1	
X		P.D.H. C.F.A. C.M.L. A.P.L.		INSAA Ingeniería y Control S.A.		DRIVE DC MOTOR RECIPIDOR SUTRONIC		LÁMINA		50 DE 55	
		P.D.H. C.F.A. C.M.L. A.P.L.		INSAA Ingeniería y Control S.A.		REEMPLAZA:		FECHA:		SEP-17	
		P.D.H. C.F.A. C.M.L. A.P.L.		INSAA Ingeniería y Control S.A.		REEMPLAZA:		FECHA:		SEP-17	
		P.D.H. C.F.A. C.M.L. A.P.L.		INSAA Ingeniería y Control S.A.		REEMPLAZA:		FECHA:		SEP-17	

FILE-04C M:\1217\Pinos\Fw\0001217-d6-050-1.dwg

H		SEP-17		AS-BUILT		P.D.M.		C.F.A.		C.M.L.		A.P.L.		T.M.B. ING. N°		COC-1217	
A		SEP-17		ENTRADA PARA CONSTRUCCION		D.F.R.		C.M.L.		C.M.L.		A.P.L.		N° DE PLANO		COC1217-DE-054	
B		AUG-17		REVISIONES		DIB.		PROY.		REV.		APR.		COC1217-DE-054		REV.	
C		FEB-18		REVISIONES		DIB.		PROY.		REV.		APR.		COC1217-DE-054		REV.	
<p>INSAA Ingeniería y Construcción S.A.</p> <p>General Cable</p> <p>UPGRADE TREFILADORA CI 3 DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL LIBRE LAMINA 54 DE 55</p>																	
<p>INDICACION: UPGRADE TREFILADORA CI 3 DIAGRAMA ELEMENTAL DE CONTROL LIBRE LAMINA 54 DE 55</p>																	
<p>RESUMEN: INSPECCION</p>																	

