

DOCUMENTO MAESTRO DEL PROYECTO: RETROFIT DE SEGURIDAD INDUSTRIAL

Activo: Cortadora Semiautomática de Aluminio (Acceal Seamax) **Planta de Implementación:** Materiales Monarca **Autor:** Emmanuel Bermont Salazar **Estatus del Proyecto:** MVP 90% Funcional y Operativo en Piso

1.0 INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

1.1 Resumen del Problema Operativo

La línea de procesamiento de perfiles de aluminio en la planta de Materiales Monarca presentaba un cuello de botella crítico en su productividad, operando a apenas el 60% de su capacidad nominal debido a la inoperatividad y obsolescencia de la cortadora secundaria. Un diagnóstico de ingeniería detectó fallas estructurales por fatiga mecánica en la transmisión y, de forma alarmante, un sistema de control eléctrico totalmente expuesto y degradado. El activo operaba en completo incumplimiento de las normativas federales, constituyendo un pasivo legal y un peligro inminente de choque eléctrico o amputación para el personal.

1.2 Objetivo del Proyecto

Diseñar, ejecutar y validar un *Retrofit* electromecánico integral bajo la filosofía de **Falla Segura (Fail-Safe)**, restableciendo la capacidad productiva del activo al 100% y mitigando el riesgo humano mediante la aplicación estricta de las normas **NOM-004-STPS-1999**, **ISO 13849-1** e **ISO 14119**.

2.0 ARQUITECTURA DE CONTROL Y REINGENIERÍA

Para garantizar la dependabilidad del sistema y proteger la integridad del trabajador (el activo más valioso de la organización), la reingeniería se fundamentó en tres pilares estrictos:

- **Protección del Activo Principal (Arranque Normativo):** Se diseñó y construyó un tablero eléctrico de estado sólido alojado en un gabinete de acero con certificación **NEMA 4 / IP65**. Este nivel de estanqueidad es indispensable para aislar herméticamente los componentes internos de la viruta fina de aluminio flotante, la cual es un material altamente conductor que propiciaba arcos eléctricos y cortocircuitos en el sistema anterior. La interfaz de arranque y paro se rige bajo la NOM-004-STPS, subordinando la energía del motor a la condición de seguridad del entorno.
- **Cadena de "Falla Segura" (Fail-Safe Electromecánico):** En cumplimiento estricto con la norma **ISO 13849-1** para paros de emergencia Categoría 0, se omitió por completo el uso de microcontroladores de propósito general o PLCs estándar que pudieran introducir latencias de software o congelamientos de código. La lógica se ejecuta de manera cableada en un lazo **AND de estado sólido**: la fase de mando se rutea físicamente en

serie a través de los contactos Normalmente Cerrados (NC) del hongo de emergencia y del switch de la guarda. Ante cualquier anomalía física (falso contacto, cable trozado o apertura de puerta), el circuito interrumpe el flujo de electrones, colapsando instantáneamente el campo magnético del contactor Siemens AC-3 y separando los platinos de potencia de 220V por defecto.

- **Modificación de Interfaz para Mejor Uso (Ergonomía Operativa):** Se removió la botonera obsoleta, confusa y desgastada de la máquina. En su lugar, se rediseñó la estación de mando organizándola de forma limpia, visible y estructurada. La separación física deliberada entre el pulsador de marcha, el de paro normal y el hongo de emergencia optimiza la ergonomía de reacción del operador, disminuyendo la fatiga cognitiva y erradicando equivocaciones fatales por accionamientos involuntarios.

3.0 VALIDACIÓN DEL MVP (90%) Y FRONTERAS DEL SISTEMA

3.1 Pruebas de Funcionamiento en Piso

El proyecto ha alcanzado una madurez operativa del 90%, consolidando los siguientes hitos verificables:

1. **Potencia y Control:** El panel eléctrico Siemens se encuentra al 100% de su montaje, cableado y energizado. Integra de manera exitosa las protecciones de guardamotor y relé térmico calibrado al amperaje nominal del motor.
2. **Pruebas Reales de Corte:** Se rompió la fase de vacío y la cortadora ya se encuentra procesando perfiles de aluminio reales de forma estable dentro de la planta, demostrando la rigidez del nuevo eje rectificado del motor.
3. **Auditoría de Seguridad:** Se ejecutaron 15 ensayos destructivos lógicos de interrupción en marcha. En el 100% de los casos, el contactor se botó de forma inmediata (fracción de milisegundos), interrumpiendo el giro de la sierra al abrir la guarda o pulsar la emergencia.


3.2 Delimitación del Alcance Eléctrico frente al Neumático

Para fines de la evaluación final y entrega de este MVP, se establece con transparencia que el sistema desarrollado abarca **únicamente el control y la potencia eléctrica** de la máquina. La red neumática que alimenta las mordazas de sujeción no ha sido modificada, por lo que el paro actual no tiene acción sobre el aire a presión.

4.0 MATRIZ DE MITIGACIÓN INDUSTRIAL (MÉTODO HRN)

La siguiente tabla fundamenta matemáticamente los logros de ingeniería alcanzados en el MVP eléctrico y mapea de forma clara las acciones requeridas para el cierre definitivo al 100% del proyecto (Fase Neumática):

ID	Peligro Identificado	HRN Inicial	Solución Implementada en el MVP (Avance Eléctrico - 90%)	Estatus Actual / Acción Remanente para Cierre (Fase 100%)
R-01	Amputación de extremidades (Disco de sierra a alta velocidad / Inercia residual)	750 (EXTREMO)	Lógica de Falla Segura y <i>Limit Switches</i> de Apertura Positiva. El lazo eléctrico tumba la energía del motor en milisegundos al abrir la guarda o pulsar emergencia.	✓ COMPLETADO. El riesgo primario y crítico de la sierra cortadora ha sido neutralizado al 100%.
R-03	Choque Eléctrico / Cortocircuito (Tablero expuesto a polvo y viruta conductora)	600 (EXTREMO)	Ensamble de gabinete estanco IP65, tierras físicas conectadas e integración de interruptor aislador perimetral Schneider.	✓ COMPLETADO. Sistema aislado operativamente. Se realiza el peinado estético final del cableado interno.
R-02	Aplastamiento por Mordazas (Energía neumática / Cierre de mordazas de sujeción)	125 (ALTO)	Ninguna. El paro de emergencia actual actúa exclusivamente sobre el circuito eléctrico del motor, no sobre la red de aire comprimido.	⚠ PENDIENTE (Fase Neumática): Acoplar una electroválvula de alivio 3/2 conectada en serie al lazo de control para despresurizar las mordazas automáticamente al pulsar el paro.
R-04	Proyección de Material ("Kickback") (Corte de aluminio sin presión de aire suficiente)	125 (ALTO)	Ninguna. Actualmente no existe un candado físico o sensor que evalúe la presión neumática de la línea antes del encendido.	⚠ PENDIENTE (Fase Neumática): Instalar un Presostato industrial (Interlock Electro-Neumático) en serie con el botón de arranque; si la presión cae de 4 Bar, el motor

ID	Peligro Identificado	HRN Inicial	Solución Implementada en el MVP (Avance Eléctrico - 90%)	Estatus Actual / Acción Remanente para Cierre (Fase 100%)
				no enciende.
R-05	Hipoacusia / Daño por Vibración (Ruido excesivo provocado por desalineación)	50 (MEDIO)	Maquinado CNC e instalación del nuevo eje rectificado del motor con tolerancias micrométricas y uso de EPP.	 EN PROCESO (Fase Mecánica): Recepción e instalación final del contrapeso dinámico torneado por el proveedor externo para el balanceo axial definitivo.

5.0 GESTIÓN DE PROYECTOS Y FACTOR HUMANO

5.1 Criterio e Ingeniería de Contingencia (El Retraso del Tornero)

Durante la etapa de integración mecánica se presentó un cuello de botella logístico debido al retraso en el taller de maquinado para la entrega del contrapeso dinámico definitivo. Ante esta desviación del cronograma, se aplicó un criterio gerencial de **aislamiento de variables**: se adaptaron de manera temporal componentes mecánicos funcionales procedentes de una máquina gemela en la planta. Esta acción de contingencia permitió ejecutar con éxito las pruebas de estrés eléctrico, validación del tablero IP65 y la comprobación física del corte real sin detener el avance del proyecto, demostrando una alta capacidad de resolución técnica.

5.2 Socialización y Capacitación Normativa (Kaizen)

Entendiendo que un diseño seguro es inútil si el factor humano lo rechaza, se implementó una estrategia de capacitación formal para el personal operativo de la planta:

1. **Socialización del Diseño:** Se instruyó a los operadores sobre el rediseño ergonómico del panel y la relevancia del switch de apertura positiva bajo la norma ISO 14119, concientizándolos sobre los riesgos del cortocircuito por viruta conductora.
2. **Capacitación Especializada:** Se impartieron las directrices de seguridad contenidas en las normas **NOM-004-STPS** y **NOM-029-STPS** (mantenimiento seguro y candadeo LOTO).
3. **Resultados Culturales:** El adiestramiento culminó con la entrega de **Constancias de Competencia Laboral (DC-3)**. Se abatió la resistencia al cambio en piso y se eliminó el miedo operativo, transformando un activo antes catalogado como "equipo peligroso" en una estación de trabajo segura, controlada y altamente productiva.