



**Sistema de seguridad por encerramiento de guardas móviles, accionadas por llaves magnéticas y de bloqueo por solenoide, controlada por PLC de seguridad**

Paola Andrea Guerrero Arenas

Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniera Electrónica

Tutores

Andrés Felipe Sánchez Prisco, Magíster (MSc)

Julián Kemmerer López, Ingeniero mecánico

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Electrónica

Medellín, Antioquia, Colombia

2023

<b>Cita</b>	(Guerrero Arenas, 2023)
<b>Referencia</b>	Guerrero Arenas P. A. (2023). Sistema de seguridad por encerramiento de guardas móviles, accionadas por llaves magnéticas y de bloqueo por solenoide, controladas por PLC de seguridad. [Semestre de industria]. Universidad de Antioquia, Medellín Antioquia, Colombia.
<b>Estilo APA 7 (2020)</b>	



Biblioteca Carlos Gaviria Díaz

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** John Jairo Arboleda Céspedes

**Decano/Director:** Julio Cesar Saldarriaga Molina

**Jefe departamento:** Eduard Emiro Rodríguez Ramírez

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## **DEDICATORIA**

Este proyecto lo dedico principalmente a mi madre, Ledys Maria Arenas Valderrama, y mi padre Ivo Jose Guerrero Torres, quienes siempre han confiado en mí y me brindan cada día su apoyo incondicional en cada aspecto de la vida, permitiendome realizar este proceso, brindándome sus consejos de perseverancia, honestidad, valentía y siempre aconsejandome tener en cuenta la palabra de Dios. A mi tía Omaira Arenas y familia, quien con todo mi corazón agradezco por ser partícipes en este largo camino que culmina con el apoyo de todos.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco con todo mi corazón a mi familia, padres, hermanas, tíos y abuela, por ser partícipes de este largo camino que culmina con el apoyo de todos.

Expreso mis más sinceros agradecimientos al grupo de docentes del departamento de ingeniería electrónica, en especial a aquellos que con su apoyo y enseñanzas forjaron mi carrera profesional y me dejaron grandes enseñanzas. Agradezco a los compañeros Andrés Flores y Federico Moreno, que siempre me dieron una mano de apoyo en momentos de dificultad en el transcurso de la carrera y muchas veces juntos llevamos a cabo proyectos de algunas materias.

Agradezco a el Sr Julian Kemmerer, quien me permitió realizar mis prácticas académicas y desarrollar mi proyecto de grado en una gran empresa como lo es Samco ingeniería, además de siempre brindarme su apoyo y confianza para la realización de nuevos proyectos, también agradezco a mi jefe inmediato, Juan Carlos Briceño, por el gran aporte que realiza en mi carrera profesional con sus enseñanzas en el transcurso de la práctica académica.

Agradezco al ingeniero Andres Felipe Sanchez Prisco, por aceptar ser mi tutor en este proceso de práctica profesional, brindarme su apoyo y tiempo en el desarrollo de este proyecto.

## CONTENIDO

<b>1. RESUMEN.....</b>	<b>5</b>
<b>2. PALABRAS CLAVES.....</b>	<b>5</b>
<b>3. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>6</b>
3.1 Justificación.....	6
3.2 Planteamiento del problema:.....	7
3.3 Limitaciones:.....	8
3.4 Alcances del proyecto:.....	8
<b>4. OBJETIVOS.....</b>	<b>9</b>
4.1 Objetivo general:.....	9
4.2 Objetivos específicos:.....	9
<b>5. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>10</b>
5.1 Estado del Arte.....	10
5.1.1 Sistema de seguridad Industrial:.....	10
5.1.2 Importancia de los sistemas de seguridad industriales:.....	10
5.1.3 ISO (Organización Internacional de Normalización):.....	11
5.1.4 Norma ISO 12100-1:2010:.....	11
5.1.5 Norma ISO 13849-1:.....	12
5.1.6 Método HRN (Hazard Rating Number) para estimación del riesgo.....	14
5.1.7 Dispositivos de seguridad.....	15
5.1.8 La seguridad industrial en Colombia.....	16
5.1.9 Proyectos relacionados:.....	16
<b>6. METODOLOGÍA.....</b>	<b>17</b>
6.1 Evaluación de riesgos, lineamientos del sistema de seguridad.....	17
6.1.1 Análisis de riesgo.....	17
6.1.2 Máquina a intervenir: Llenadora de botellas de la línea 8B.....	20
6.1.3 Dispositivos de seguridad.....	22
6.2 Diseño de planos electrónicos del sistema en el software See Electrical V7R2.....	27
6.2.1 See Electrical:.....	28
6.2.2 Aspectos relevantes del plano eléctrico eléctrico:.....	29
6.3 Programación PLC de seguridad, mediante el software Safe PLC PSC BR compact.....	32
6.3.1 Safe PLC PSCBR Compact:.....	32
6.3.2 Programación de PLC.....	34
6.4 Montaje eléctrico y de control en planta del sistema de seguridad.....	36
6.5 Pruebas del sistema implementado.....	38
<b>7. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....</b>	<b>39</b>
7.1 Costos de los dispositivos de seguridad e insumos electricos.....	39
<b>8. CONCLUSIONES.....</b>	<b>40</b>
<b>9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>41</b>
<b>10. ANEXOS.....</b>	<b>43</b>

## 1. RESUMEN

El presente informe suscitado de la realización del proyecto de grado con nombre, *SISTEMA DE SEGURIDAD POR ENCERRAMIENTO DE GUARDAS MÓVILES, ACCIONADAS POR LLAVES MAGNÉTICAS Y DE BLOQUEO POR SOLENOIDE, CONTROLADAS POR PLC DE SEGURIDAD*, que tuvo como propósito principal la ejecución de un sistema de seguridad de encerramiento en una máquina llenadora de botellas de la empresa Bavaria, implementando guardas móviles para accesos, monitoreadas por llaves de seguridad y controladas por un autómata programable de seguridad (PLC), aportando con ello, un sistema rígido y seguro, en el que se mitigaron los riesgos de accidentalidad de los operarios que manipulan esta máquina, en pro de proteger su integridad física. Lo anterior considerando el nivel de riesgo por atrapamientos mecánicos que se evidencio en la máquina, y el riesgo al que se expone el personal que trabaja en sus proximidades.

Para el desarrollo de este proyecto se hizo uso de diferentes dispositivos de seguridad propiamente certificados, como lo son, sensores magnéticos y llaves de bloqueo por solenoide, para una constante monitorización de la guardas móviles de acceso, así también como un PLC de seguridad libremente programable, que asegura el procesamiento eficaz de las señales de los interruptores para resguardos móviles de seguridad, paros de emergencias, entre otros. En la implementación de dichos circuitos eléctricos y el respectivo análisis del nivel de riesgo de ésta máquina, se tuvo en cuenta las normas que rigen el sistema de seguridad de una máquina industrial (ISO 12100-1:2010)[8], y la categoría de seguridad a implementar.

Finalmente se obtuvo un sistema de seguridad con óptimo funcionamiento, regido por la categoría necesaria que demanda la máquina, con la finalidad de proteger a los operarios que laboran en las proximidades de esta máquina llenadora de botellas.

## 2. PALABRAS CLAVES

Seguridad, Atrapamientos mecánicos, máquina insegura, accidente laboral industrial, dispositivos de seguridad, PLC de seguridad, sensores magnéticos, llave de bloqueo por solenoide. categoría de seguridad.

### 3. INTRODUCCIÓN

Las plantas industriales tienen un papel fundamental en la economía, desarrollo y productividad de un país, ya que, estas son las encargadas de transformar diferentes tipos de materias primas, dando como resultado diversos productos, que son pilares fundamentales, para la sostenibilidad de la economía. Con la llegada e implementación de nuevas tecnologías, en la nueva era de la 4ta revolución industrial, estas plantas han llevado a cabo varios tipos de transformaciones, en las que aplican técnicas vanguardistas, incorporadas al campo de la automatización y control industrial, implementando así, etapas de producción automatizadas con máquinas comandadas eléctricamente, accionadas por diversos tipos de actuadores y controladas por autómatas programables.

En el transcurso de estas transformaciones, las empresas industriales han debido tomar un papel fundamental y determinante, para proteger a los trabajadores de los peligros que conllevan estas nuevas tecnologías, ya que, la implementación y cumplimiento de sistemas de seguridad, que protejan la integridad física de los trabajadores, involucra y responsabiliza de manera directa a las empresas, además, la certificación de dichos sistemas de seguridad, demuestra el compromiso de estas empresas, para con sus empleados y demás entes de control, y son fundamentales según las normas, para aquellas empresas competitivas, que incursionan en el mercado nacional e internacional.[17]

En consecuencia, el presente proyecto fue desarrollado en la empresa de bebidas Bavaria, el cual contrató de manera directa con la empresa Samco ingeniería, para la implementación de un sistema de seguridad eficaz, regido a las normas, que incluyó el respectivo análisis de riesgo, diseño y montaje en planta, el cual debió satisfacer las necesidades específicas de la seguridad de una máquina llenadora de botellas, en pro de salvaguardar a los operarios de los peligros que puede ocasionar dicha máquina.

#### 3.1 Justificación

La seguridad industrial ha tenido un gran impacto en las últimas décadas, donde se han implementado distintas normas, que rigen el funcionamiento de las máquinas, en pro de proteger a las personas que las operan. Según estudios de la federación de aseguradores de Colombia, en el 2017 se reportaron 655.570 casos de accidentes laborales, en los cuales la mayoría ocurrieron en Bogotá y Medellín, además destacaron que de cada 100 trabajadores un promedio de 6.4% sufrieron un accidente laboral, siendo el mayor número de caso en los sectores de construcción, industria manufacturera y minas [1]. La seguridad que se debe ejercer en una máquina es regida a nivel mundial de forma general por la norma ISO 12100-1:2010[8], y de manera específica por la norma ISO 1349-1[11], allí se establecen los principios generales para el diseño, evaluación y reducción de riesgos de las máquinas. Según la Directiva de Máquinas, las partes móviles potencialmente peligrosas de una máquina deben estar diseñadas y construidas de forma que no existan riesgos de accidente por puntos de contacto no previstos. Cuando esta minimización de riesgos no se pueda alcanzar con

medidas de diseño, los elementos móviles de la máquina deberán estar provistos de resguardos o de dispositivos de protección[11].

Por lo anterior, este proyecto tuvo como enfoque, la implementación de un sistema de seguridad industrial en la empresa Bavaria , debidamente estandarizado y regido por la normativa, en una máquina llenadora de botellas, el cual tuvo como objetivo principal garantizar la integridad física de los trabajadores que operan la máquina, evitando de manera significativa los peligros que conlleva el trabajo en las proximidades de esta.

### **3.2 Planteamiento del problema:**

Bavaria S.A.S es una empresa líder en la economía colombiana, que incursiona a nivel mundial, perteneciente al sector de alimentos y bebidas, dedicada a la fabricación de cervezas, la producción y transformación de bebidas alimenticias, fermentadas o destiladas, así como la fabricación, producción, y transformación de toda clase de bebidas como refrescos, refajos, jugos, aguas lisas, aguas carbonatadas, aguas saborizadas y su respectiva comercialización.

El sector de bebidas se encuentra en un gran auge, debido a su gran desarrollo, según estudios de Fedesarrollo, Bavaria aporta el 2,89% del PIB industrial y el 45,92% del PIB del sector de bebidas[4]. Esta empresa ha logrado reconocimientos importantes, por la calidad de sus productos, la incorporación de innovaciones y la presencia en mercados internacionales, igualmente ha sido identificado, por el Estado y el sector privado como un sector de talla mundial a ser promovido y potencializado.

Bavaria, busca seguir en el top de vanguardia en el crecimiento de este sector. Por lo general, Esta empresa mantienen un alto número de personas laborando, por consiguiente, cuando grupos significativos de personas se concentran en un lugar para llevar a cabo tareas de producción, la organización pasa a ser responsables de la seguridad de sus empleados[17], por tanto, debe garantizar la seguridad de sus trabajadores, por medio de sistemas de seguridad regidos a la normativa, para reducción de accidentes laborales, ya que, un sistema apropiado que permita controlar la seguridad de los trabajadores dentro de la planta, es clave para garantizar resultados en la productividad de la compañía. Seguridad y productividad son aspectos complementarios, no contradictorios.

Según normativa ISO 12100-1:2010[8], toda máquina debe ser segura en sí misma, debe cumplir con los requisitos mínimos de seguridad, en lo que respecta a su instalación, utilización, mantenimiento y reparación. Cada campo de aplicación tiene sus riesgos específicos, en los que se pueden producir accidentes por atrapamiento, corte, abstracción o proyección, y por tanto presentan diferentes requisitos, en cuanto a la seguridad y la accesibilidad de la máquina, donde estas debe ser equipadas con resguardos y dispositivos de protección, mitigando así, los riesgos de accidentes. De forma específica, el campo que se intervino en el desarrollo de este proyecto, estuvo encaminado a una máquina llenadora de botellas para producción industrial de la empresa Bavaria, en la que se evidencio diferentes tipos de riesgos de atrapamiento y corte, en ciertos sectores de la máquina.

### **3.3 Limitaciones:**

Muy a pesar que muchas empresas optan por la implementación de estos sistemas de seguridad en cada una de las máquinas de las plantas, para cumplimiento de diferentes normas, esto no es garantía que se reducirá de manera total y absoluta la accidentalidad laboral en estas máquinas, aunque si se disminuye a gran escala estos sucesos. Esta reducción de accidentes debe ir de la mano tanto de la empresa industrial, así también como cada uno de los operarios, debido que se debe hacer una buena utilización de los dispositivos de seguridad, de igual modo como el respectivo mantenimiento preventivo de los sistemas. Además se debe garantizar no violar los dispositivos de seguridad por parte de los operarios, ya que muchas veces aún cuando se realiza la instalación adecuada con implementos acordes a la norma, no están del todo exentas a daños por transgresión hacia los dispositivos.

### **3.4 Alcances del proyecto:**

El sistema de seguridad consta de un encerramiento perimetral de la zona donde está ubicada la máquina a intervenir, integrada por algunos accesos, los cuales son muchas veces necesarios para mantenimientos o ajustes para cambios de referencias en la producción, estos accesos se implementaron por medio de compuertas pivotantes y corredizas, dependiendo cual sea el caso y necesidad específica de la zona. Algunos accesos son monitoreados por sensores magnéticos, el cual envían una señal de confirmación hacia el PLC de seguridad, para la confirmación de compuerta cerrada, en el caso de que una compuerta sea abierta, inmediatamente el sensor magnético dejará de enviar la señal de confirmación al PLC y este detendrá al instante de manera segura las zonas peligrosas cercanas a dicho acceso.

Otros accesos son monitoreados por llaves de seguridad de bloqueo por solenoide con retardo a la desconexión, la diferencia de este dispositivo a utilizar en este tipo de accesos, se da, debido que los motores y actuadores ubicados en estas zonas, cuentan con algún tipo de inercia al ser detenidos, quedando en movimiento por algún tiempo más, luego de su señal de parada, causando aún peligros para los operarios, por tanto se debe garantizar que estos dispositivos están totalmente paralizados en el momento de abrir el acceso, para este caso son adecuadas este tipo de llaves de seguridad, ya que para que la llave permita abrir el acceso, se debió presionar anteriormente un pulsador de parada de los dispositivos que permiten los movimientos específicos de la zona y poseen algún tipo de inercia, luego de esto, un sensor inductivo de seguridad censará y registrará el momento de parada de dichos dispositivos, permitiendo así que la llave de seguridad de bloqueo por solenoide desbloquee el acceso de la zona, y permita que este sea abierto al presionar un pulsador de abrir. Esta llave envía una señal hacia el PLC de seguridad y este a su vez detendrá de manera segura los demás dispositivos de la zona que no poseen movimientos por inercia.

Para prevenir que alguna persona ingrese a uno de estos accesos y por error otro operario cierre la compuerta, e inicie la marcha de la máquina quedando la persona que ingresó atrapada dentro de zonas peligrosas, se implementan sistemas de confirmación por medio de pulsadores internos y externos, en el que una vez se abra la compuerta del acceso y se vuelva a cerrar, la máquina no inicie la marcha, solo lo hará en caso

que el operario que ingresó accione el pulsador de configuración interno ubicado en las zonas de peligro y luego al salir y cerrar la compuerta del acceso, presione el pulsador de confirmación externo, esta es la principal condición para que la máquina inicie la marcha luego de haberse abierto un acceso y detenido por tal motivo.

De forma general, se llevó a cabo, la ejecución de un sistema de seguridad por encerramiento, de una máquina llenadora de botellas de la empresa Bavaria, implementado por guardas móviles para accesos, con una constante monitorización por medio de dispositivos propios para éstas aplicaciones, como lo son sensores de seguridad magnéticos y llaves de bloqueo por solenoide, ancladas a las compuertas de los accesos, para inspección y control del estado de los mismos, y un autómata programable de seguridad PSCBR-10C, para el procesamiento y verificación de las señales, aportando con ello, un sistema rígido y seguro, en el que se mitiguen los riesgos de accidentes de los operarios que manipulan ésta máquina. Entendiéndose como accidente a todo hecho no deseado que interrumpe un proceso normal de trabajo y que causa lesiones o pérdida de bienes materiales.

Es así que este sistema, tiene la capacidad de proveer un monitoreo constante y eficaz en las compuertas de los accesos instalados en las zonas peligrosas de la máquina, deteniendo de manera segura los motores y actuadores de la misma, en caso de abrir algún acceso, con el fin de proteger a los operarios de alguna lesión o amputación que se pueda ocasionar al ingresar a zonas peligrosas de la máquina con ésta en movimiento.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo general:**

Implementar un sistema de seguridad y monitoreo de una máquina llenadora de botellas, mediante encerramiento, equipada por guardas móviles de acceso, accionadas por llaves de seguridad de bloqueo por solenoide, magnéticas y monitoreadas por un PLC de seguridad PSCBR-10C, con el fin de mitigar los riesgos de accidentes laborales, por parte de los operarios que manipulan la máquina.

### **4.2 Objetivos específicos:**

1. Evaluar los lineamientos del sistema de seguridad, teniendo en cuenta visita previa de la máquina, en el que se analizará sistema eléctrico, y señales concretas a atacar, para una correcta estructuración y planeación de los componentes a utilizar.
2. Diseñar planos electrónicos del sistema, basados en buenas prácticas eléctricas, mediante el programa de diseño eléctrico See Electrical V7R2, para tener una mejor perspectiva y referenciación del montaje a realizar.
3. Implementar programa de control para PLC, mediante el software Safe PLC PSC BR compact, el cual monitorea las entradas de las llaves de seguridad, controlando las salidas seguras, para permitir o denegar acceso a zonas peligrosas de la máquina cuando se requiera.

4. Desarrollar en la planta, montaje eléctrico del sistema, con los respectivos componentes y elementos que lo componen, obteniendo ayuda de un montador de la empresa, con el fin de poner en correcto funcionamiento el sistema de seguridad de la máquina llenadora de botellas.
5. Realizar pruebas del sistema implementado, mediante visitas en campo, para verificar su funcionalidad y eficiencia, conforme a los requerimientos del proyecto y lineamiento hechos entre Bavaria y Samco Ingeniería

## **5. MARCO TEÓRICO**

### **5.1 Estado del Arte.**

#### **5.1.1 Sistema de seguridad Industrial:**

Los sistemas de Seguridad Industriales, son disposiciones obligatorias que tienen por objeto la prevención y limitación de riesgos, así como la protección contra accidentes capaces de producir daños a las personas, o los bienes, derivados de la actividad industrial o de la utilización, funcionamiento y mantenimiento de las instalaciones o equipos y de la producción. Su mayor utilidad consiste en minimizar la ocurrencia de accidentes laborales, actuando como agente preventivo en vez de reactivo, sin embargo, cubre también el manejo e investigación de accidentes e incidentes, en caso de llegar a presentarse[2].

El principal objetivo de esta disciplina es alcanzar el indicador mínimo de Accidentes en Planta. Para lograrlo se trabaja con una planeación detallada en la identificación de peligros de las instalaciones y los procesos. Sobre la base de la planeación efectuada, se determinan acciones de monitoreo, ejecución y control para reducir los riesgos de accidentes[2].

#### **5.1.2 Importancia de los sistemas de seguridad industriales:**

Las actividades de producción en una planta industrial se caracterizan por ser generadoras de empleo masivo. Si bien, el avance tecnológico acelerado ha ocasionado que muchos trabajadores en plantas, tengan un contacto con la máquina, solo por interacción de pantallas HMI , en algunos casos, los trabajadores deben tener un contacto físico con la máquina, ya sea por mantenimiento, cambios de referencia de productos o ajustes manuales.

Los sistemas de seguridad industrial no sólo previenen, sino que también miden y reducen impactos. Los accidentes en una planta pueden tener costos muy elevados, las consecuencias de una falla abarcan desde pérdidas monetarias, daños al medio ambiente, lesiones en trabajadores o incluso la muerte[3].

### 5.1.3 ISO (Organización Internacional de Normalización):

ISO (Organización Internacional de Normalización) es una federación mundial de organismos nacionales de normalización, para la creación de estándares compuesta por diversas organizaciones nacionales de normalización. El trabajo de preparación de las normas internacionales normalmente se realiza a través de los comités técnicos de ISO. Las normas internacionales se redactan de acuerdo con las reglas establecidas en la Parte 2 de las Directivas ISO/IEC.

El uso de estándares facilita la creación de productos y servicios que sean seguros, facilita el manejo de temas específicos de este dominio, entre ellos la gestión de servicios tecnológicos, seguridad, gestión del riesgo y seguridad de la información.

La tarea principal de los comités técnicos es preparar normas internacionales. Los proyectos de normas internacionales adoptados por los comités técnicos se envían a los organismos miembros para votación. La publicación como norma internacional requiere la aprobación por al menos el 75% de los organismos miembros que emiten voto[9].

### 5.1.4 Norma ISO 12100-1:2010:

La Norma ISO 12100 fue preparada por el Comité Técnico ISO/TC 199, Seguridad de máquinas. La edición de la Norma ISO 12100-1:2010: anula y sustituye a las Normas ISO 12100-1:2003, ISO 12100-2:2003 y la Norma ISO 14121-1:2007 [8]

La finalidad principal de esta norma internacional es especificar la terminología básica, los principios y una metodología para lograr la seguridad en el diseño de las máquinas. Especifica los principios de evaluación del riesgo y reducción del riesgo para ayudar a los diseñadores a alcanzar este objetivo. Estos principios están basados en el conocimiento y la experiencia en el diseño, utilización, incidentes, accidentes y riesgos asociados con las máquinas. Se describen los procedimientos para la identificación de peligros y la estimación y valoración de los riesgos durante las fases relevantes del ciclo de vida de las máquinas, y para la eliminación de los peligros o la provisión de la reducción del riesgo adecuada. Se proporcionan directrices sobre la documentación y la verificación de la evaluación del riesgo y el proceso de reducción. También proporciona una estrategia para los normalizadores y les ayudará en la preparación de normas de tipo B y normas de tipo C coherentes y apropiadas. El concepto de seguridad de las máquinas tiene en cuenta la aptitud de una máquina para desempeñar las funciones para las que está prevista durante su ciclo de vida, cuando los riesgos han sido adecuadamente reducidos.

Esta norma internacional es la base para un conjunto de normas que tiene la estructura siguiente:

**normas de tipo A** (normas de seguridad fundamentales) que precisan nociones fundamentales, principios para el diseño y aspectos generales que pueden ser aplicados a todos los tipos de máquinas;

**normas de tipo B** (normas de seguridad relativas a una máquina) que tratan de un

aspecto de seguridad o de un tipo de protección que condiciona la seguridad, que son válidas para una amplia gama de máquinas.

**normas de tipo C** (normas de seguridad por categorías de máquinas) que tratan de prescripciones de seguridad detalladas para una máquina particular o para un grupo de máquinas.

Los Peligros que se deben considerar en una máquina, según norma ISO 12100 son: peligros mecánicos, peligros eléctricos, peligros térmicos, peligros por ruidos, peligros por vibraciones, entre otros.

De manera general esta norma internacional especifica la terminología básica, los principios y una metodología para lograr la seguridad en el diseño de las máquinas. Especifica los principios de evaluación del riesgo y reducción del riesgo para ayudar a los diseñadores a alcanzar este objetivo.

En la norma armonizada EN ISO 12100 se definen procedimientos importantes de sistemas y partes de sistemas de mando relativas a la seguridad de máquinas e instalaciones. Sobre la base de esta norma fundamental, otras normas armonizadas como EN ISO 13849-1/2: EN 61508 y su norma sectorial EN 62061 asociada, describen el diseño, la estructura y la integración de partes de sistemas de mando y dispositivos de protección relativas a la seguridad[8].

#### **5.1.5 Norma ISO 13849-1:**

Esta parte de la Norma ISO 13849 proporciona requisitos de seguridad y orientaciones sobre los principios para el diseño e integración de las partes de los sistemas de mando relativas a la seguridad (SRP/CS), incluyendo el diseño del soporte lógico. Para estas partes especifica las características, incluyendo el nivel de prestaciones requerido, para desempeñar las funciones de seguridad. Se aplica a las SRP/CS para modo de alta solicitud y modo continuo, independientemente de la tecnología y del tipo de energía utilizadas (eléctrica, hidráulica, neumática, mecánica, etc.)[11].

A diferencia del enfoque determinístico de la anterior norma, la EN ISO 13849-1 se basa en un enfoque probabilístico (que tiene en cuenta la probabilidad) para evaluar los sistemas de mando relativos a la seguridad.

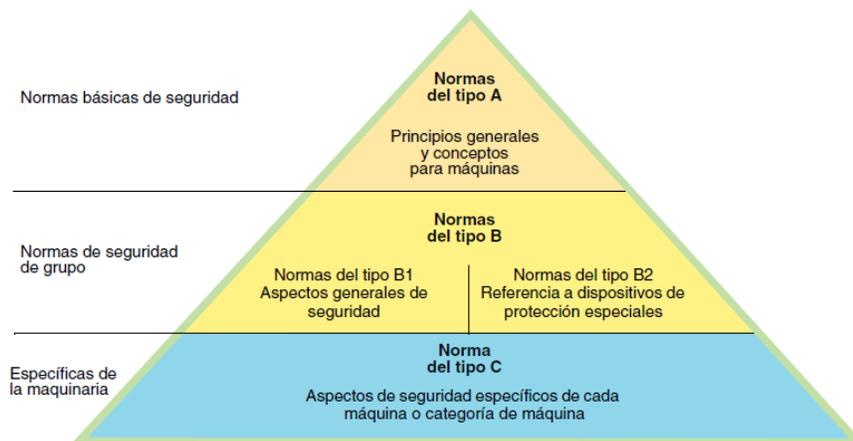


Figura 1. Jerarquía sistema de seguridad

## • Clasificación del riesgo

En la norma EN ISO 13849-1[11] se definen los Performance Level o nivel de prestaciones (PL). El PL es una medida de la fiabilidad de una función de seguridad. Este se divide en cinco niveles (a-e). El nivel que aporta la mayor fiabilidad y equivale a aquella necesaria cuando el nivel de riesgo es máximo.

Performance level (EN ISO 13849-1)	PFH <sub>d</sub> Probabilidad media de un fallo peligroso [1/h]
a	$10^{-5} \leq \text{PFH}_d < 10^{-4}$
b	$3 \cdot 10^{-6} \leq \text{PFH}_d < 10^{-5}$
c	$10^{-6} \leq \text{PFH}_d < 3 \cdot 10^{-6}$
d	$10^{-7} \leq \text{PFH}_d < 10^{-6}$
e	$10^{-8} \leq \text{PFH}_d < 10^{-7}$

Figura 2. Performance level (PL) Según norma ISO 13849-1

De conformidad con EN ISO 13849-1 el riesgo se calcula con tres factores: gravedad del daño (S, gravedad), frecuencia de exposición al riesgo (F, frecuencia) y la posibilidad que tiene de evitar o limitar el daño (P, posibilidad). Para cada factor vienen dadas dos opciones. En la norma no se especifica dónde está el límite entre estas dos opciones, pero éstas son interpretaciones habituales:

S1: Hematomas, abrasiones, heridas punzantes y lesiones leves por aplastamiento.

S2: Lesiones esqueléticas, amputaciones y muerte.

F1: Menos de una vez cada dos semanas.

F2: Más de una vez cada dos semanas

P1: Movimientos lentos de la máquina, mucho espacio, baja potencia

P2: P2 Movimientos rápidos de la máquina, concurrido, alta potencia

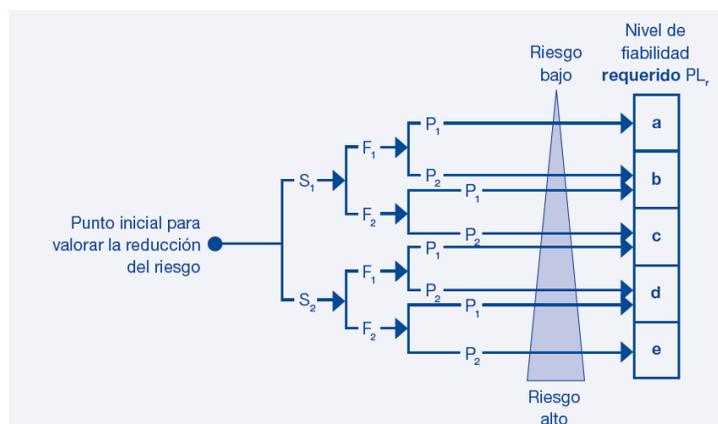


Figura 3. Gráfico del riesgo para la determinación del PLr según norma EN ISO 13849-1

### 5.1.6 Método HRN (Hazard Rating Number) para estimación del riesgo

Es un método de fundamento numérico, definido por J. Steel en 1990, que permite un análisis exhaustivo y estimaciones muy precisas, evaluando las consecuencias de un evento en términos de daño a las personas. Este método está basado en la multiplicación de los siguientes parámetros[18]:

- Grado de severidad de la lesión (GS)

Valor	Tipo de daño
0.1	Hematomas
0.5	Laceración / Efecto de salud leve
1	Fractura de hueso menor o enfermedad menor (temporal)
2	Fractura de hueso menor o enfermedad (permanente)
4	Pérdida de 1 miembro, 1 ojo o enfermedad grave (temporal)
8	Pérdida de 2 miembros, 2 ojos o enfermedad grave (permanente)
15	Fatalidad

- Frecuencia de exposición al peligro (FE)

Valor	Frecuencia de exposición
0.5	Año
1.0	Mensual
1.5	Semanal
2.5	Todos los días
4	Cada hora
5	Constantemente

- Probabilidad de ocurrencia (PO)

Valor	Nivel de Probabilidad
0.033	Imposible, no puede pasar bajo ninguna circunstancia
1	Improbable
1.5	Improbable, aunque concebibles.
2	Posible: pero poco comunes
5	Probable: podría suceder
8	Probable: no se sorprendió
10	Probable: sólo cabe esperar
15	Cierto: no hay duda

- Número de personas expuestas al riesgo (NP)

Valor	Número de personas
1	1-2
2	3-7
4	8-15
8	16-50
12	50 >

Donde:  $HRN = GS \times FE \times PO \times NP$

Empleando este método se obtendrán diferentes puntuaciones, según la máquina, en las que se analizará el resultado por la estimación del riesgo de la siguiente tabla.

<b>Estimación del Riesgo</b>		
<u>Magnitud del Riesgo</u>	<u>Puntuación</u>	<u>Acción Necesaria</u>
Riesgo aceptable (Insignificante)	0 - 5	Riesgo mínimo para la seguridad y salud
Riesgo Menor pero significativo	>5 - 50	Los peligros requieren medidas de control. Los riesgos a este nivel requieren acciones inmediatas para reducir el riesgo
Riesgo Alto	>50 - 500	Riesgos potencialmente peligrosos que requieren medidas de control urgentes.
Riesgo Inaceptable	>500	Continuar las operaciones a este nivel es inaceptable. Los riesgos a este nivel requieren un plan de acción y debe de ser desarrollado teniendo la aprobación del Director de Planta (Finalización en el plazo de 1 día)

Tabla 1. Estimación del riesgo.

### 5.1.7 Dispositivos de seguridad

Los dispositivos de seguridad son algo diferentes a los dispositivos utilizados para propósitos generales en sistemas de control, debido que tienen una arquitectura diferente en cuanto al diseño, el fabricante está obligado al cumplimiento de la Directiva 2006/42/CE o Directiva de Máquinas, además de normativas, de contenido diferente según el país. Los dispositivos de seguridad no impiden el acceso y la entrada a la zona peligrosa de la máquina pero, al activarse, desconectan de forma segura los movimientos peligrosos[19].

### 5.1.8 La seguridad industrial en Colombia

A nivel nacional la seguridad de máquinas industriales está regida por varias resoluciones, entre ellas se destaca la mas actual que es la Resolución 0312 – Año 2019, Esta es una definición de los estándares mínimos que se deben seguir en el Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST)[15]

En colombia existen algunas empresas, que ejecuten proyectos para brindar soluciones en cuanto sistemas de seguridad industrial, algunas destacadas tenemos:

**SAMCO INGENIERIA:** Es una empresa de ingeniería dedicada al desarrollo e implementación de soluciones electromecánicas, de automatización y soluciones en sistemas de seguridad hombre-máquina[20].

**COLSEIN:** Es una empresa de ingeniería que ofrece Productos y servicios de Alta Tecnología, brindando soluciones para la Automatización de Procesos Industriales y seguridad industrial[21].

### 5.1.9 Proyectos relacionados:

- Implementación de sistema de seguridad por parte de la empresa Samco Ingeniería para acampanadoras de tubos de la empresa Pavco Wavin[20]

Proyecto de seguridad implementado por la empresa Samco ingeniería para equipar con un sistema de seguridad eficaz, las máquinas acampanadoras de tubo de la empresa Pavco Wavin de Cali, Bogotá y Barranquilla. Desarrollado en el año comprendido entre 2022-2023

Objetivo General: Implementar un sistema de seguridad, teniendo en cuenta las normativas para nivel de riesgo de las máquinas industriales, en las máquinas acampanadoras de tubos de la empresa Pavco Wavin, con el fin de mitigar los riesgos de accidentes laborales, por parte de los operarios que manipulan la máquina en esa empresa.

- Implementación de sistema de gestión de seguridad industrial en Jaferpa JFP S.A.S Bajo las normas OHSAS 18001[6].

Proyecto de grado presentado para optar por el título de ingeniero industrial, presentado por Mayra Alejandra Reyes Díaz, Bogotá DC año 2013.

Objetivo general: Implementar el sistema de gestión de seguridad industrial y salud ocupacional en JAFERPA JFP S.A.S., bajo la norma OHSAS 18001.

- Implementación de normas de seguridad industrial en el área de producción de la empresa Casa internacional de diseño y moda CIDMA S.A.S[7]

Proyecto de grado presentado para optar por el título de ingeniero industrial, presentado por Adriana Maira Baqueros Rojas y Paola Andrea Pineda Gomez, Bogotá DC, año 2013

Objetivo General: Implementar las normas de seguridad industrial en el área de producción en la Empresa Casa Internacional de Diseño y Moda CIDMA S.A.S.

## 6. METODOLOGÍA

### 6.1 Evaluación de riesgos, lineamientos del sistema de seguridad y planeación de los componentes a utilizar

El primer paso para el desarrollo de este objetivo fue la visita de inspección primaria, en la que se realizó curso de seguridad para ingreso a la planta, para luego de permitirse el ingreso a zona de producción, realizar la inspección respectiva de la máquina, donde se analizó su funcionamiento.

#### 6.1.1 Análisis de riesgo

Una vez establecida la función de la máquina, se realiza la identificación sistemática de peligros, situaciones de peligro y/o eventos de peligro previsible, tales como corte, aplastamiento, golpe entre otros.

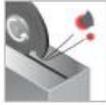
	Corte		Aplastamiento
	Cizallamiento		Punzonamiento
	Succión o atrapamiento		Succión o atrapamiento
	Atrapamiento/Arrastre		Golpe
	Efectos por utilajes rotos		Proyección de partículas

Figura 4. Ejemplo de peligros mecánicos en máquinas

Las situaciones de riesgo derivadas de la conjunción de las tareas de los operarios con los peligros existentes, son fundamentales para identificar peligros y situaciones peligrosas, tales como los recorridos a realizar, las intervenciones en la maquinaria y las posiciones a adoptar.

Para la minimización de riesgos detectados, deberán tomarse medidas basadas en técnicas de seguridad. Entre las medidas técnicas de seguridad se puede encontrar dispositivos de enclavamiento o enclavamiento con bloqueo (asociados a un resguardo o compuerta). La norma europea EN ISO 13849-1[11], especifica cómo debe diseñarse el sistema de control que supervisa las técnicas de seguridad mencionadas anteriormente.

De conformidad con EN ISO 13849-1[11], el riesgo se calcula con tres factores: gravedad del daño (S, gravedad), frecuencia de exposición al riesgo (F, frecuencia) y la posibilidad que tiene de evitar o limitar el daño (P, posibilidad).

Para la revisión primaria de la máquina, se tuvo en cuenta los pasos sugeridos por la normativa, llevando un orden jerárquico ilustrado en el siguiente esquema de realización de acciones, para implementar luego el método HRN.

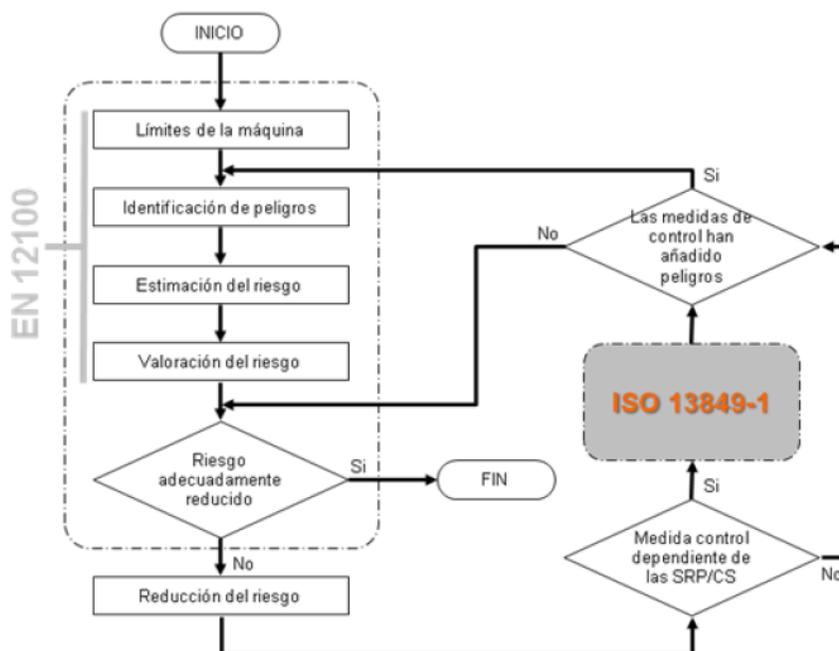


Figura 5. Principios para la evaluación y reducción de riesgos según EN ISO 12100

En la evaluación de riesgos se determinó que la máquina se opera con una frecuencia alta (F2). Se considera que los arranques intempestivos provocan lesiones graves (S2). Se considera que el operario tiene la posibilidad de evitar lesiones cuando la máquina está en movimiento (P1)

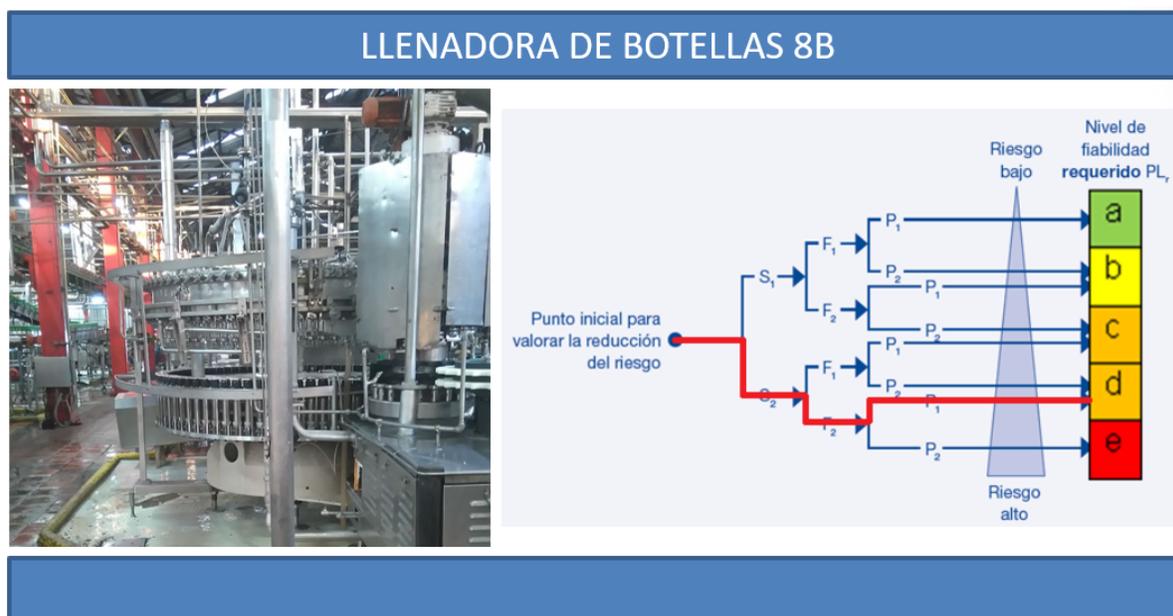


Figura 6. Análisis de riesgo

Para calcular el valor del HRN se asigna un valor numérico a cada uno de estos parámetros:

HRN CONDICIÓN DE LA MAQUINA LLENADORA DE BOTELLAS 8B			
Probabilidad de ocurrencia (PO)	8	Frecuencia de Exposición (FE)	2,5
Grado de severidad (GS)	4	Número de personas (NP)	1
$HRN = GS \times FE \times PO \times NP$	80	CLASIFICACIÓN DEL RIESGO	Riesgo Alto

Tabla 2 . Análisis de riesgo, método HRN

#### Peligros encontrados

- Elementos móviles
- Explosión de partículas
- Elementos rotativos
- Aceleración y desaceleración

#### Consecuencias potenciales.

Lesión por aplastamiento  
 Lesión por vidrios  
 Atrapamiento /Arrastre  
 Impactos / Golpes

En esta primera vista, también se realizó revisión de los gabinetes eléctricos, junto con los planos eléctricos de control de la máquina, suministrados por el personal de mantenimiento eléctrico de la planta, con el fin de visualizar los dispositivos de maniobra y control específicos de cada actuador y motor, para así relacionar el consumo de cada uno de ellos.

### 6.1.2 Máquina a intervenir: Llenadora de botellas de la línea 8B

Se ilustra modelo y condiciones iniciales de la máquina llenadora de botella, donde se evidencia alguno de los peligros, al tener varios motores y elementos móviles a la intemperie.



*Figura 7. Condiciones iniciales de la máquina*



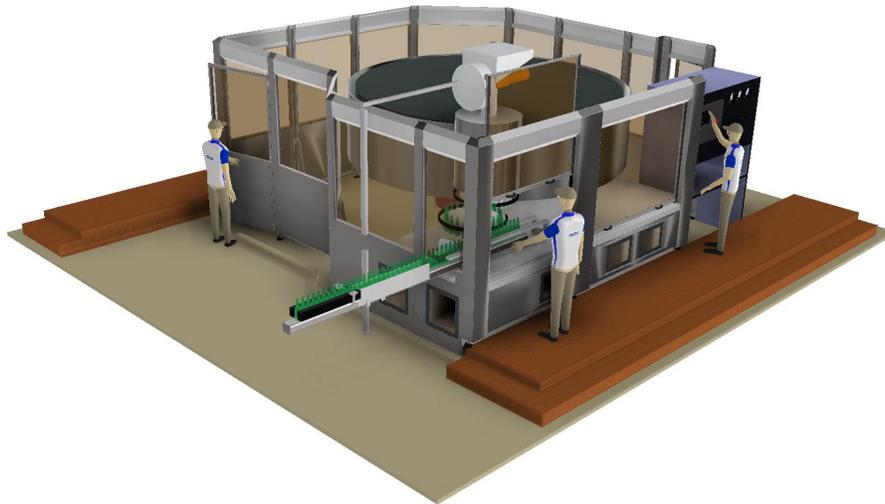
*Figura 8. Condiciones iniciales de la máquina*

Luego de la respectiva visita de planta, con un panorama claro del funcionamiento de la máquina e información detallada, el cual se discutió con los compañeros del departamento mecánico de samco, donde ilustraron con el respectivo diseño en 3D de la máquina, la ubicación y tipo de cada acceso, se procedió a hacer un estudio detallado de los elementos de seguridad a utilizar, para conocer su información técnica y conexiones.

El diseño a implementar con los respectivos accesos y dispositivos de seguridad se

describe a continuación:

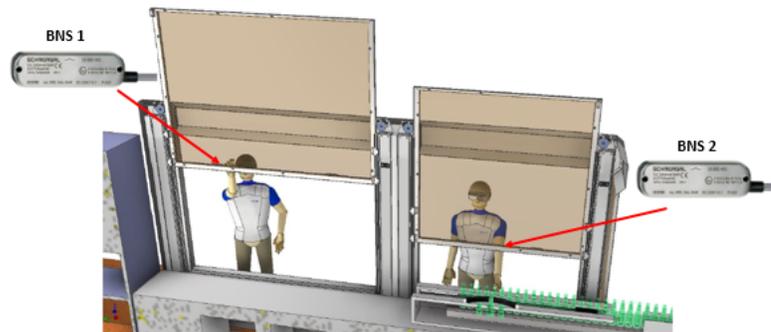
La siguiente imagen, se refiere al diseño final de la máquina.



*Figura 9. Llenadora de botellas línea 8B*

Las zonas a intervenir con los respectivos dispositivos de monitoreo son:

- **Accesos frontales:** Se planteó dos compuertas deslizantes, las cuales estarán monitoreadas cada una por 1 sensor magnético de seguridad BNS, en acero inoxidable, debido a la humedad de la máquina.



*Figura 10. Accesos frontales*

- **Accesos Inferiores:** Se planteó 9 compuertas inferiores, las cuales están monitoreadas cada una por un sensor magnético en acero inoxidable BNS

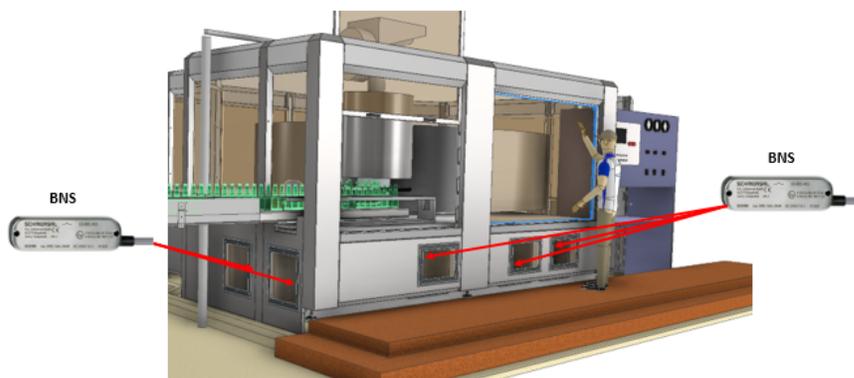


Figura 11. Accesos frontales

- **Accesos posteriores:** Se planteó 2 accesos posteriores, los cuales están monitoreados cada uno por 1 llave de seguridad de bloqueo por solenoide con retardo a la desconexión.

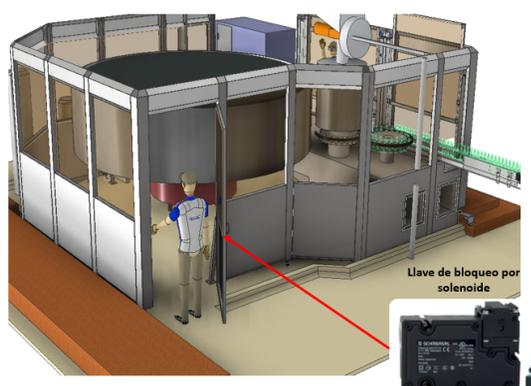


Figura 12. Accesos posteriores

### 6.1.3 Dispositivos de seguridad

- **Sensor Magnético en Acero inoxidable BNS 40S-12Z :**

Los sensores de seguridad permiten una comprobación de la posición de los resguardos de seguridad sin necesidad de contacto. La máquina puede ponerse en funcionamiento cuando el sensor detecta al actuador, el resguardo de seguridad y el circuito de seguridad están cerrados. Está constituido por 1 contacto abierto, generalmente para indicación del acceso, y 2 contactos cerrados utilizados para monitoreo.

Descripción:

- Caja de acero fino
- Cable de conexión apto para la industria alimentaria
- Montaje oculto posible
- 88 mm x 27 mm x 14.5 mm
- Sin desgaste mecánico

- Insensible a la suciedad
- Insensible a desalineamiento transversal
- Adecuado para la industria alimentaria

#### Datos eléctricos:

Tensión de conmutación, máxima	100 VAC
Tensión de conmutación, máxima	100 VDC
Corriente de conmutación, máxima	0,25 A
Potencia de conmutación, máxima	3 W
Frecuencia de conmutación, máxima	5 Hz

#### Distancias de conmutación según EN IEC 60947-5-3:

Distancia de conmutación asegurada "ON"	8 mm
Distancia de conmutación asegurada "OFF"	18 mm

#### Certificación de seguridad

Normas, normas	EN ISO 13849-1
Vida útil	20 Año(s)



Figura 13. Sensor magnetico BNS

- **Llave de bloqueo por solenoide AZM 161CC-12/12K-024:**

Este interruptor asegura que los resguardos de seguridad desplazables lateralmente, en funcionamiento conjunto con la parte técnica de control de una máquina, como relés de seguridad de paro de movimiento (velocidad nula) o relés de seguridad con retardo, no puedan ser abiertos hasta que las condiciones de peligrosidad (p.ej. movimientos por inercia) hayan sido eliminadas. La diferencia de este dispositivo a utilizar en este tipo de accesos, se da, debido que los motores y actuadores ubicados en estas zonas, cuentan con algún tipo de inercia al ser detenidos, en el que la llave bloquea la apertura de la compuerta hasta que los motores se haya detenido totalmente y pistones se encuentren en una posición segura. Está constituido por 3 contactos auxiliares, 1 NA y 2 NC y 3 contactos de seguridad, 1 NC y 2 NA

### Descripción:

- Amplia zona de conexión
- Rearme manual
- Entradas de cable 4 M 16x1.5
- Caja de termoplástico
- Doble aislamiento
- Bloqueo con protección de errores
- 130 mm x 90 mm x 30 mm
- 6 contactos

### Datos eléctricos:

Corriente continua térmica	6 A
Tensión nominal de alimentación	24 VAC/DC
Corriente de cortocircuito según EN 60947-5-1	1.000 A
Consumo de potencia eléctrica, máxima	10 W

### Certificados de seguridad.

Normas, normas	EN ISO 13849-1
Vida útil	20 Año(s)



Figura 14. Llave por bloqueo por solenoide

### • Relé de seguridad

Para la evaluación segura de señales, ofrece una variedad de opciones de visualización y diagnóstico, dependiendo de la complejidad y profundidad de la conexión de los circuitos de seguridad, encargados de procesar las señales seguras que llegan como entrada al PLC. Está constituido por 2 entradas de alimentación, 4 entradas de la señal a diagnosticar (Señal de salida del PLC), 3

contactos NC de seguridad y 1 contacto NO de seguridad. Para funcionamiento de la máquina, los elementos de seguridad deben estar en su estado inicial (compuertas cerradas y paros de emergencia sin activar), los relés de seguridad deben estar armados (detectando señales proveniente del PLC de seguridad)

#### Descripción:

- 1 contacto de señalización
- Terminales con tornillo enchufable con codificación
- Adecuado para aplicaciones hasta Cat. 4/PL e y hasta SIL 3
- Evaluación de señales en 1 o 2 canales
- Monitorización de arranque / circuito de realimentación
- Detección de cortocircuito entre hilos opcional
- 3 contactos de seguridad de la categoría Stop 0

#### Datos eléctricos:

Tensión de dimensionamiento de alimentación de control con c.c., máxima	28,8 VDC
Consumo de potencia eléctrica	2,9 W
Consumo de potencia eléctrica	5 VA
Resistencia de los contactos, máxima	0,1 $\Omega$
Nota (resistencia de los contactos)	en estado nuevo
Retardo de desconexión en fallo de alimentación, típico	80 ms
Retardo de desconexión en "Paro de Emergencia", típico	20 ms

#### Certificados de seguridad:

Normas, normas	EN ISO 13849-1 EN IEC 62061 EN IEC 61508
----------------	--

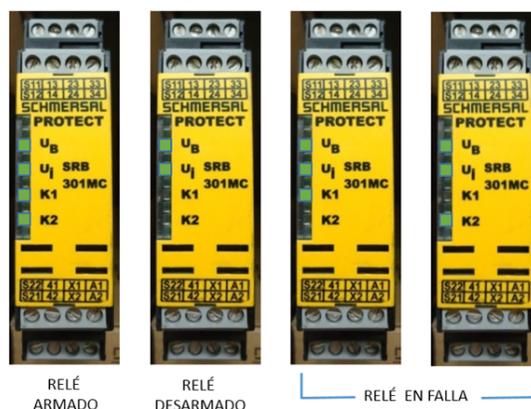


Figura 15. Estados de Relé de seguridad

**Relé armado:** cuando el PLC, detecta que los elementos que son monitoreados están en correctas condiciones de trabajo (compuertas cerradas y paros de emergencia sin ser accionados), envía una señal a los canales seguros de entrada del relé

El relé armado tiene los 4 pilotos encendidos:

**UB** y **ul** para indicar que el relé se encuentra energizado (que por él circulan 24VDC y que está listo para monitorear señales de seguridad).

**K1** y **K2**, contactos redundantes. Que cumplen la función de accionarse, cuando las compuertas y los paros están en correctas condiciones.

El relé desarmado tiene 2 pilotos encendidos:

**UB** y **ul** para indicar que el relé se encuentra energizado.

**K1** y **K2** apagados. Esto quiere decir que alguna de las compuertas está abierta o que algunos de los paros de emergencia fueron accionados.

El relé en falla tiene 3 pilotos encendidos:

**Ub** y **UI** para indicar que el relé se encuentra energizado.

**K1** ó **K2** energizado. Esto indica que en las señales que son monitoreadas de forma segura, ocurrió un evento peligroso. Cuando el relé entra en falla, debe apagarse el breaker de control y reponerse de nuevo, para que el relé se reinicie. Este caso no es frecuente, pero puede llegar a ocurrir.

Siempre deben estar accionados al tiempo K1 y K2, si alguno de ellos no lo está, significa que el relé entró en falla.

- **PLC de seguridad PSCBR-C-10:**

Está compuesto por un PLC de la línea compacta, libremente programables y módulos de ampliación E/S, que aseguran el procesamiento seguro de las señales de interruptores de PARO DE EMERGENCIA, rejillas ópticas, interruptores para resguardos móviles de seguridad y otros dispositivos de seguridad mecánicos y electrónicos. Esta línea de PLC se utiliza para pequeñas aplicaciones, como es el caso.

Descripción:

- Entradas / salidas libremente programables, 2 A tipo P
- Conexión para todos los interruptores de seguridad habituales hasta PLC según ISO 13849-1
- Ampliable mediante módulos hasta 64 entradas / salidas
- 4 salidas de semiconductor seguras de 2 A tipo pp, conmutables a 2 salidas de semiconductor seguras tipo p/n

- 14 entradas seguras en el módulo básico
- 2 salidas de aviso
- 2 contactos de relé seguro

#### Datos eléctricos:

Operating voltage	24 VDC -15 % / +20 %
Rated operating voltage	24 VDC

#### Certificados de seguridad:

Nivel de prestaciones (PL) hasta	e
Categoría de control según EN ISO 13849	4
Valor PHF	$1,26 \times 10^{-8}$ /h
Safety Integrity Level (SIL), adecuado en	3
Vida útil	20 Año(s)

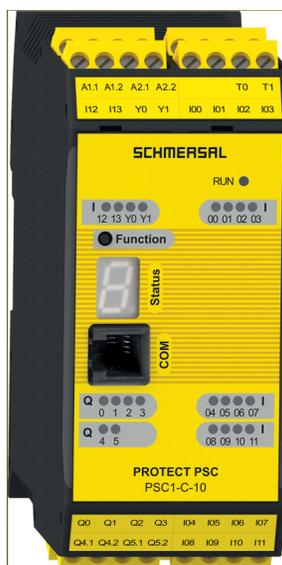


Figura 16. PLC PSCBR-C-10

## 6.2 Diseño de planos electrónicos del sistema en el software See Electrical V7R2

Para el desarrollo de este objetivo, se inició buscando información para instalación y manejo del programa, que permitió realizar el plano eléctrico del proyecto, See electrical.

### 6.2.1 See Electrical:

Es un poderoso software que ofrece un sistema profesional de alta gama para el diseño de diagramas eléctricos, que reduce sustancialmente los tiempos de desarrollo. Su interfaz intuitiva permite producir de forma más rápida y sencilla los planos eléctricos de cualquier proyecto



Figura 17. Software de diseño eléctrico

Posterior al estudio del funcionamiento del software e investigación de buenas prácticas para diseño de planos eléctricos, se procedió con la realización del plano eléctrico del sistema de seguridad de la llenadora de botellas 8B de Bavaria, para esto se debió tener claro la topología de montaje.

La siguiente figura ilustra la topología eléctrica implementada en el sistema de seguridad, con cada uno de los dispositivos utilizados, tal cual como se realizó en el montaje en planta.

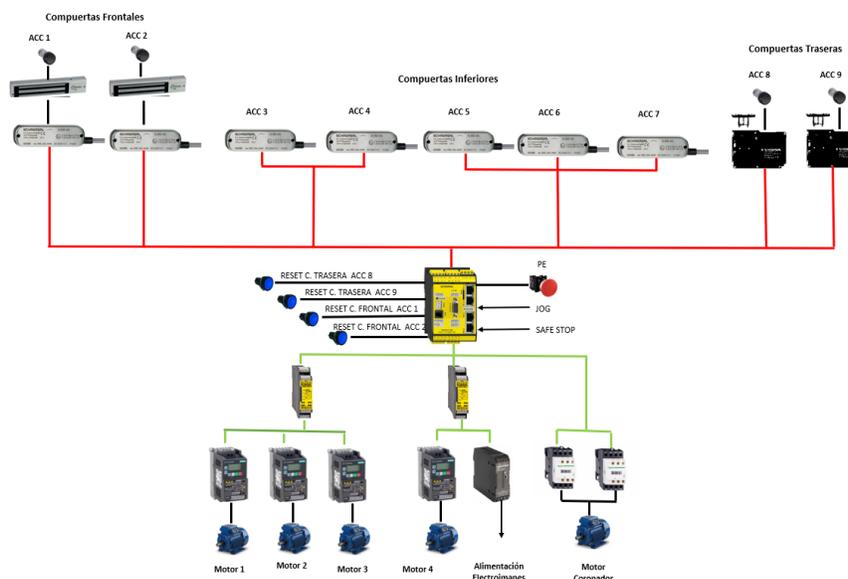


Figura 18. Topología eléctrica

La tensión de entrada con que se alimentó el sistema y el cual se utilizó para la tensión del control es de 24 V DC; Estas líneas de alimentación son entregadas directamente por la planta. Esta tensión es la encargada de alimentar las llaves, sensores, relés y PLC de seguridad con que se monitorea el sistema.

Cada llave y sensor magnético de seguridad envían dos señales eléctricas NC hacia el PLC de seguridad, por motivo de redundancia y corte en cables respectivamente, conceptos esenciales y de gran ayuda para detección de fallas en los sistemas de seguridad, Además los accesos frontales y traseros cuentan con pulsadores de reset, para restablecimiento del sistema y pulsadores de abrir accesos. Las compuertas frontales también cuenta con un electroimán, para general un tipo de bloqueo de puerta en el que se garanticen ciertas condiciones para ser abiertas. El PLC recibe en sus entradas estas señales, y por medio de la programación volcada en el, envía una señal en alto por medio de sus salidas, la cual permite el funcionamiento de la máquina, siempre y cuando los accesos estén debidamente cerrados y los sistemas restablecidos, de lo contrario estas señales estarán en bajo y detendrá de forma total e inmediata toda la máquina. Los relés se utilizan para multiplicar salidas seguras del sistema de manera redundante.

## 6.2.2 Aspectos relevantes del plano eléctrico eléctrico:

En la siguiente figura se ilustra la sección de alimentación del sistema de seguridad, en la que se muestra la tensión principal de 24 VDC, seccionada por un breaker magnético, y los respectivos fusibles para protección de cada dispositivo eléctrico. Se observa también una fuente de alimentación 220 VAC / 12V DC, para alimentación de electroimanes.

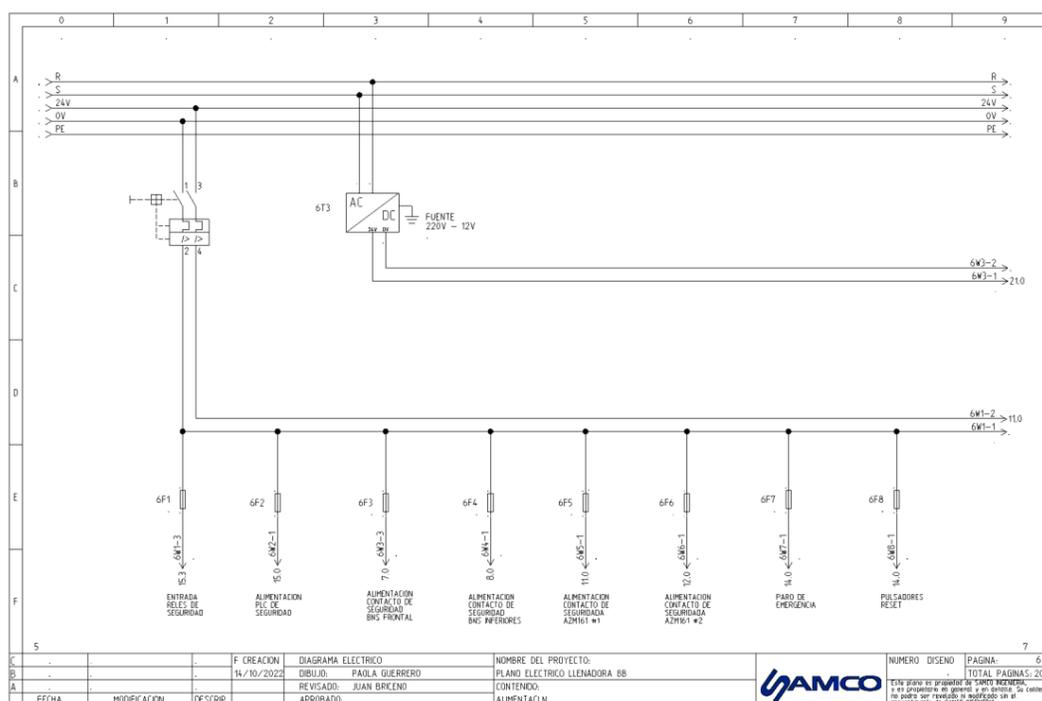


Figura 19. Plano electrico sección de alimentación

En la siguiente figura, se ilustran algunos dispositivos de seguridad en el plano eléctrico, con sus respectivas señales de salida, que van hacia el PLC de seguridad, para control de detección de la máquina, y hacia el PLC de control, para que el sistema de control reciba información de lo que está ocurriendo en la máquina.

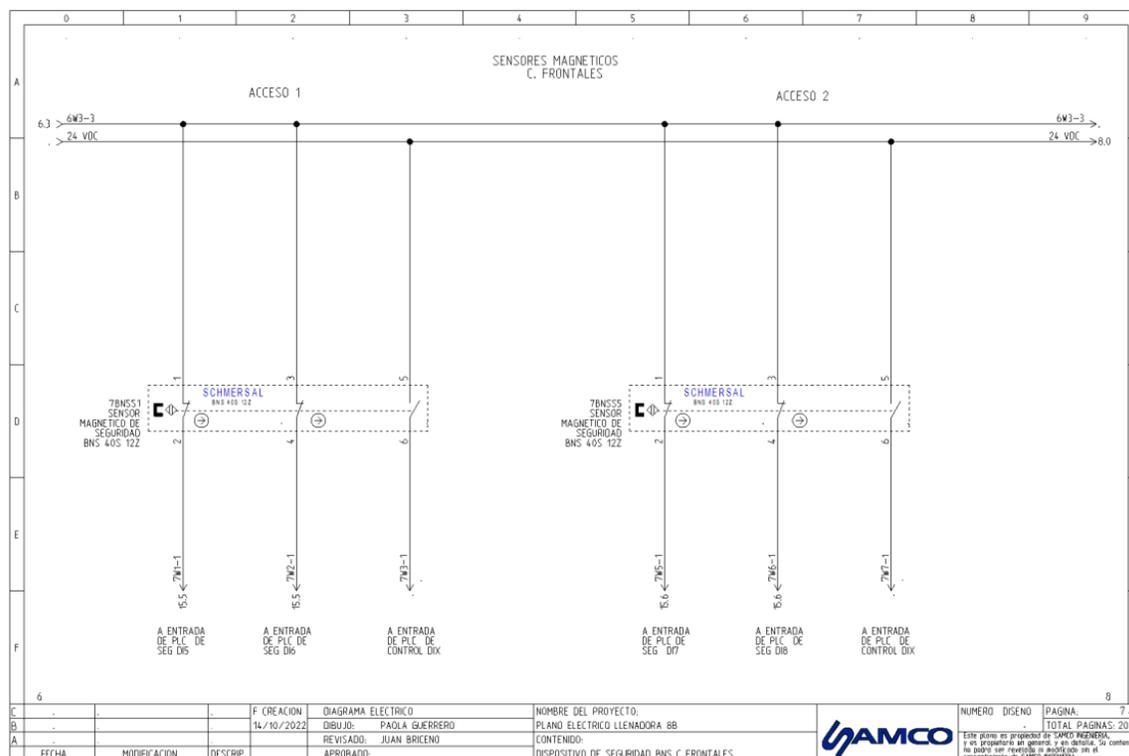


Figura 20. Dispositivo de seguridad en plano eléctrico

Se ilustra a continuación la interconexión del PLC de seguridad realizada en el plano eléctrico, donde se muestra su alimentación de 24VDC, sus respectivas entradas y respectivas salidas.

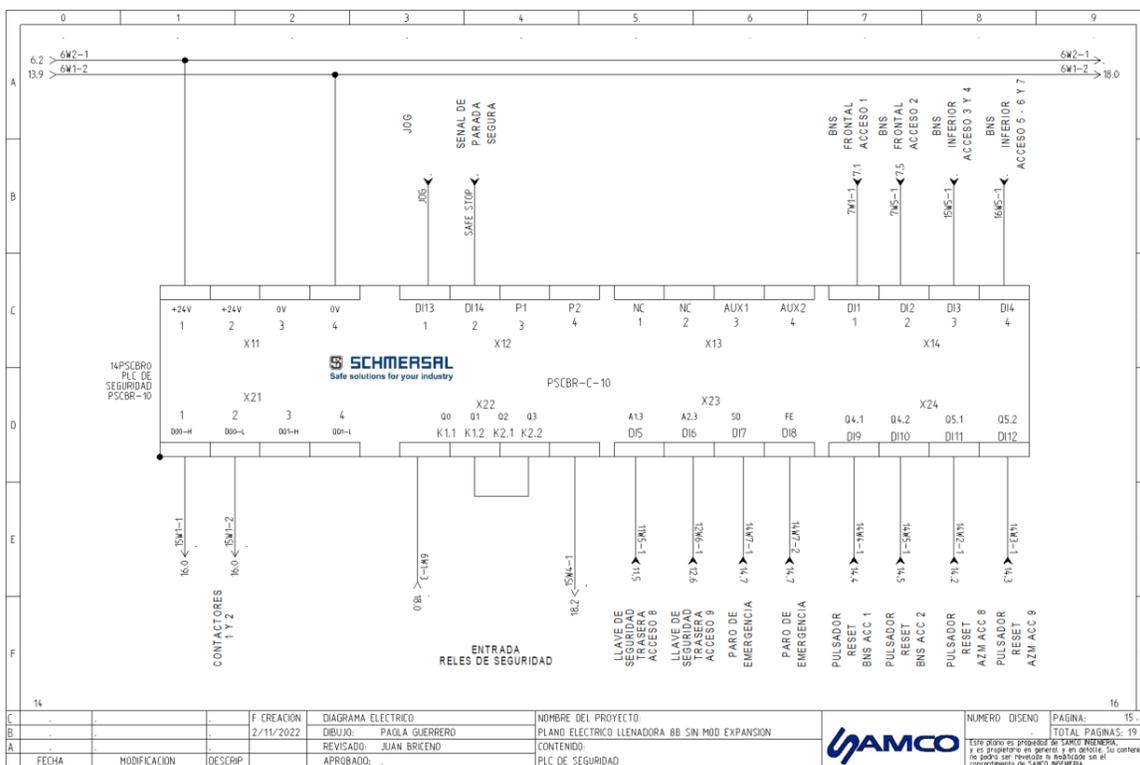


Figura 21. PLC de seguridad en plano eléctrico

Posterior a la claridad del desarrollo y montaje del proyecto, además de un plan de acción trazado, se dimensionó todos los componentes eléctricos necesarios para el montaje, tales como cables de potencia, multilíneas de control, terminales, corazas, conectores, bornas, breakers, fuentes y todos los elementos secundarios necesarios que facilitan el proceso. seguido de esto se procede a solicitar cotizaciones de las listas de insumos a varios proveedores como Equielect, Sistemas eléctricos, Industrial mark, Compel, entre otros, Para finalmente realizar la respectiva solicitud al departamento de compras, para adquisición del listado de insumos.

Se ilustra a continuación una lista de insumos, la cual fue necesaria para el montaje del sistema de seguridad.

COMPONENTE	CANTIDAD A SOLICITAR	UNIDAD	EQUIELECT
TOTAL MULTILINEA 9X18 AWG	35	METROS	18700
TOTAL MULTILINEA 6X18 AWG	40	METROS	13600
BORNERAS 24A	80	UNIDAD	2186
TERMINALES 18AWG	2	PAQUETES	9329
CONTACTOR 32A BOBINA A 24VDC	2	UNIDAD	768591
RELEVOS 14 PINES 24VDC	1	UNIDAD	36462
BORNAS DE 32A	8	UNIDAD	2454
PUENTE BORNERA 24A	2	UNIDAD	14905
BORNERA DE TIERRA	3	UNIDAD	8498
TERMINALES DOBLES 18AWG	1	PAQUETES	55800
TERMINAL PIN HUECO 14AWG	1	PAQUETES	6703
TERMINALES PIN HUECA 12AWG	1	PAQUETES	8223
TORNILLOS AUTOPERFORANTES	90	UNIDAD	48
BREAKER BIPOLAR 3A	1	UNIDAD	143483
FUENTE 12V/2.5A	1	UNIDAD	366244
BREAKER BIPOLAR 2A	2	UNIDAD	143600
BORNAS PORTA FUSIBLE	10	UNIDAD	13211
CABLE VEHÍCULO ROJO 18AWG	2	ROLLO	800
CABLE VEHÍCULO AZUL 18AWG	2	ROLLO	800
CABLE VEHÍCULO NEGRO 12AWG	2	ROLLO	2837
CABLE VEHÍCULO VERDE 12AWG	2	ROLLO	2837
CORREAS DE AMARRA NEGRAS 10CMS	2	PAQUETES	1761
CORREAS DE AMARRA NEGRAS 20CMS	2	PAQUETES	7024
CORREAS DE AMARRA NEGRAS 30CMS	2	PAQUETES	13683
CAJA DE PASO 10X10CMS	3	UNIDAD	8125
CINTA AUTOFUNDENTE	2	UNIDAD	50858
CINTA AISLANTE	3	UNIDAD	49330
CABLE 40X18AWG	20	METROS	

Tabla 3. Insumos eléctricos

Se ilustra a continuación la lista de dispositivos de seguridad, la cual fue solicitada al departamento de compras, para adquisición de la misma.

PRODUCTOS SCHMERSAL LLENADORAS BAVARIA			
ITEM	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	CANTIDAD
1	CONECTOR PLC MOD EXPANSIÓN	CONECTOR T-BUS BACKPLANE PSCBR	3
2	PLC DE SEGURIDAD	PSCBR-C-10	1
3	MODULO DE EXPANSIÓN	PSCBR-E-31-12DI-10DIO	1
4	CABLE Y LLAVE PARA PROGRAMACIÓN	PSC1-A-90-PROG-CABLE	1
5	LLAVE DE BLOQUEO POR SOLENOIDE	AZM 161SK-12/12rk-024	2
6	ACTUADOR DE LLAVE	AZM 161-B1	2
7	SENSOR MAGNETICO	BNS 40S-12Z 5,0M	7
8	ACTUADOR SENSOR MAGNETICO	BPS 40S-1 101215268	7
9	RELÉ DE SEGURIDAD	SRB301MC-24V	2

Tabla 4. Dispositivos de seguridad

### 6.3 Programación PLC de seguridad, mediante el software Safe PLC PSC BR compact

Para el desarrollo de este objetivo, se inició buscando información del software Safe PSCBR compact, para instalación y manejo del programa que permitió realizar la programación del sistema.

#### 6.3.1 Safe PLC PSCBR Compact:

Este es el entorno de programación del PLC de seguridad, donde se podrán hacer las configuraciones necesarias de los dispositivos conectados al controlador, su direccionamiento y lógica de programación por bloques, para activación de señales de

salida según las condiciones del programa. Es un programa muy intuitivo, el cual facilita la programación.

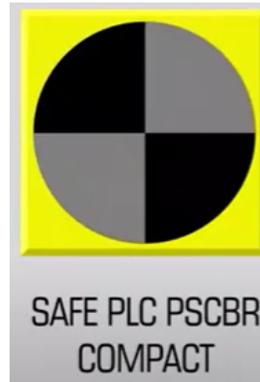


Figura 22. Software para PLC

Se ilustrara en la siguiente figura, el entorno de programación donde se realiza la configuración y direccionamiento de los dispositivos, y alguna de sus características

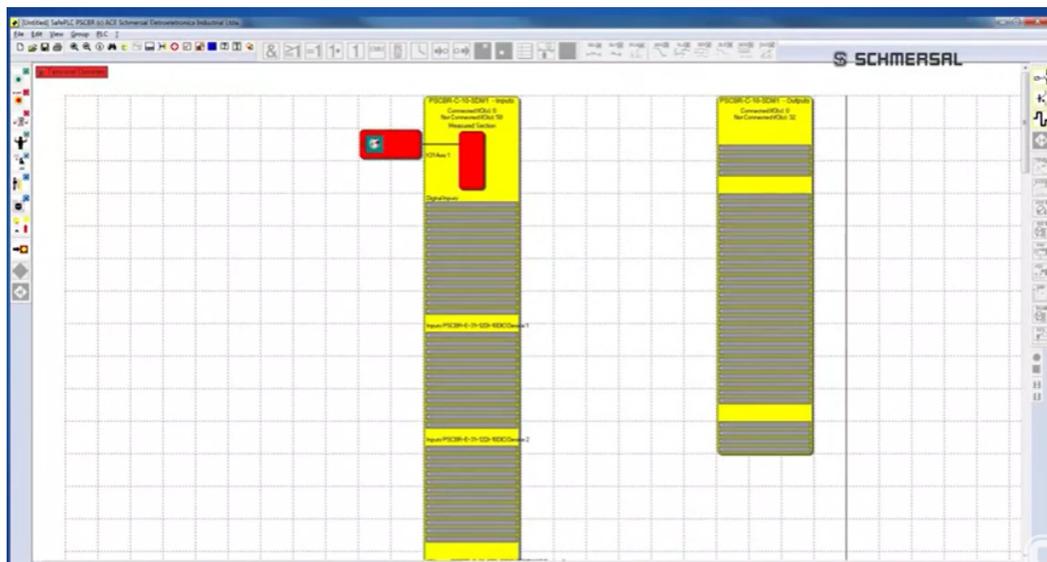


Figura 23. Entorno definicion entradas y salidas

## DISPOSITIVOS DE ENTRADA



## TIPOS DE SALIDAS

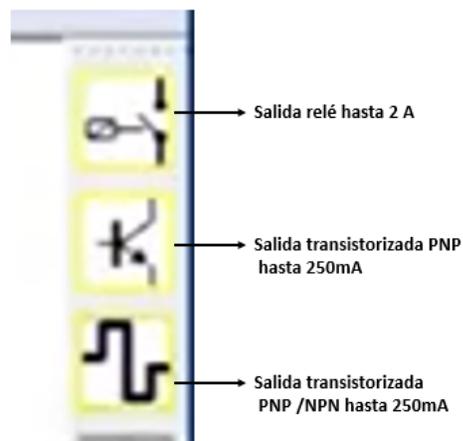


Figura 24. Características del programa

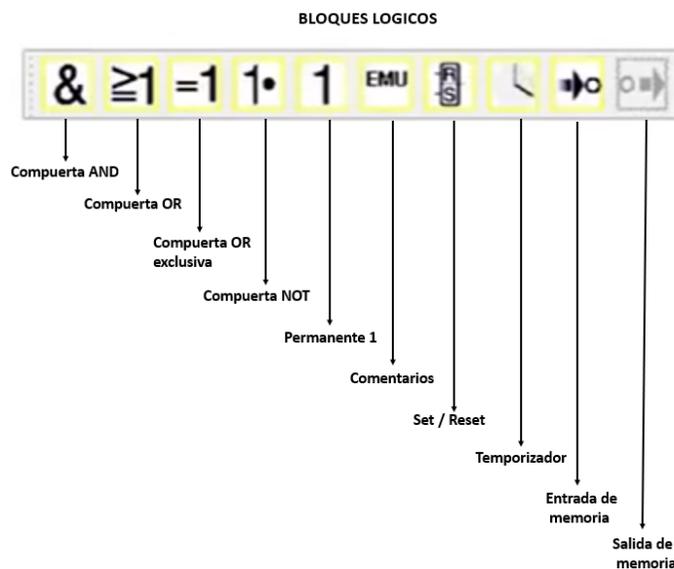


Figura 25. Características del programa

### 6.3.2 Programación de PLC

Posteriormente se realizó el programa de PLC, primero se hizo la definición y configuración de los dispositivos de entrada y salidas, en la figura siguiente se puede observar cada uno de los dispositivos de seguridad y su respectiva asignación a las entradas del PLC, así también como la asignación de las salidas a utilizar para el control del sistema

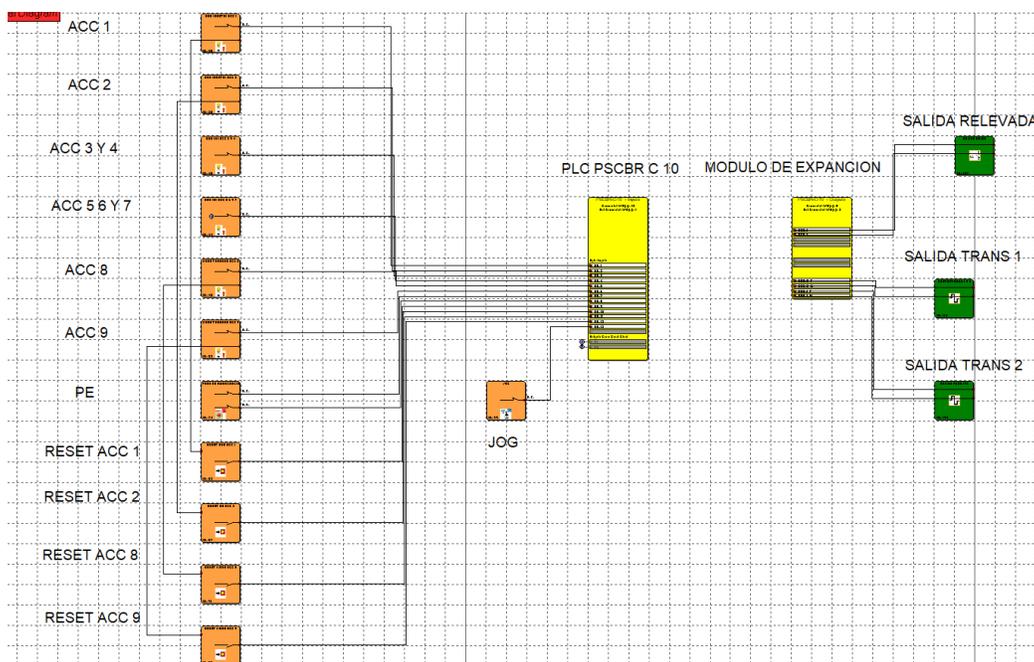


Figura 26. definición de entradas y salidas

Se realiza la lógica de bloques para el funcionamiento y control del sistema, por medio del cual, la salida transistorizada alimenta los contactores de corte que abre la potencia del motor del coronador, y la señal de salida relevada se llevó a 2 relés de seguridad, el cual atacarán el STO de los variadores que permiten el funcionamiento de los demás motores de la máquina

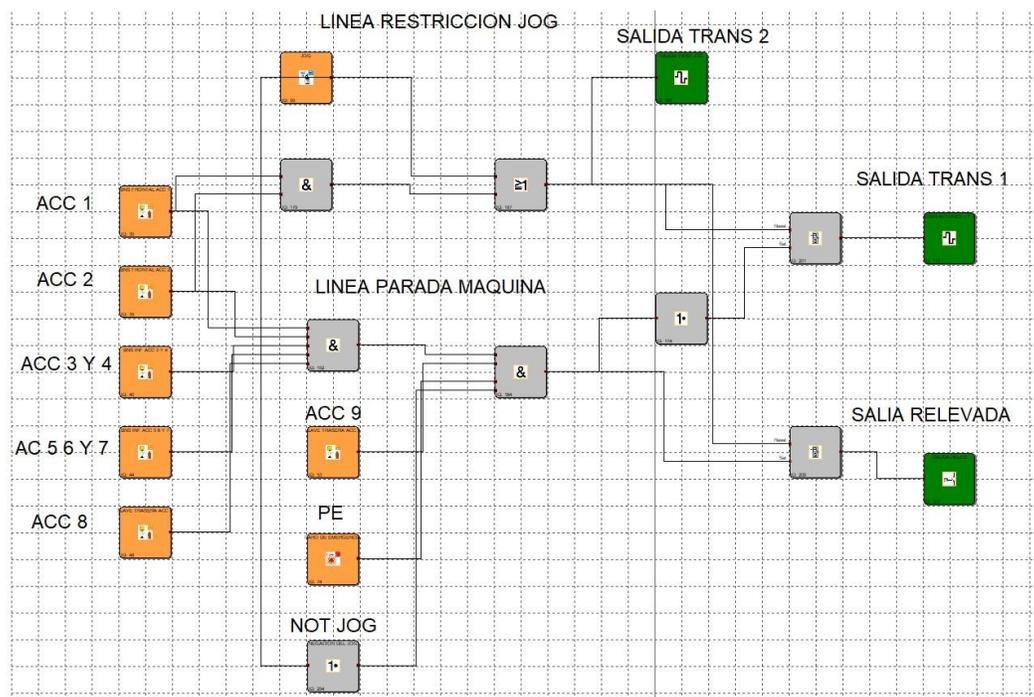


Figura 27. Lógica de bloques

Con el fin de realizar algunas pruebas, del funcionamiento del PLC de seguridad y la lógica de programación, se realizó en la empresa samco, junto con el banco de pruebas, algunos ensayos de verificación, esto debido que el programa en el que se desarrolla la lógica de este PLC, no tiene la posibilidad de ejecutarse online junto con el PLC, así que se procedió a conectar algunas llaves de seguridad, sensores magnéticos, pulsadores y paros de emergencia, tal como se ilustra en la siguiente figura.



*Figura 28. pruebas para PLC de seguridad*

#### **6.4 Montaje eléctrico y de control en planta del sistema de seguridad**

Para el desarrollo de este objetivo, primero los compañeros encargados diligenciaron algunos papeles necesarios, como declaración de métodos, y cronograma de montaje, para que fuese permitido el ingreso e iniciar el montaje, el cual fue realizado en la parada de línea que hizo esta empresa para el mes de marzo, asegurándonos con esto la detención de la producción de la máquina a intervenir, luego se llevó a cabo la programación del envío de todo los materiales tanto eléctricos como mecánicos hasta las instalaciones de la empresa bavaria, para posteriormente iniciar con el montaje.

Para el montaje, se inició por adecuación de acometida eléctrica, la cual realizaron los compañeros técnicos eléctricos, posteriormente, inicié con la adecuación de gabinete eléctrico, con actividades como, montaje de breakers, bornes portafusible, borneras de control, contactores, relés de seguridad, y todos los dispositivos situados dentro del gabinete eléctrico, para luego la interconexión de cada uno de estos elementos y marcas de multilíneas. Como tercer paso de montaje, se inició con la instalación de los dispositivos de seguridad ubicados en campo, con actividades de puesta en punto de los mismos, tendido de señales que van desde cada dispositivo hasta el gabinete eléctrico, e interconexión dentro del gabinete. Estas actividades se realizaron en

conjunto con los compañeros de montaje. Finalmente, cuando el montaje de los mismos estuvo terminado, se procedió a realizar un download del programa hacia el PLC de seguridad, y las respectivas pruebas de funcionamiento.

En la siguiente imagen se ilustra el montaje final de la máquina, donde se puede observar el resultado del sistema de seguridad.



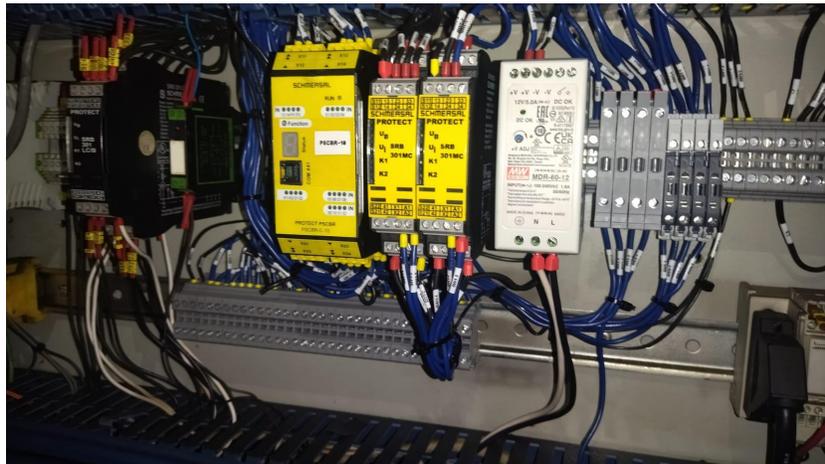
*Figura 29. Montaje final*



*Figura 30. Montaje final*



*Figura 31. Montaje final*



*Figura 32. Montaje Eléctrico*

## 6.5 Pruebas del sistema implementado.

Este objetivo se llevó a cabo luego de tener todo el sistema completamente terminado, allí se capacito al jefe de operarios y uno de los eléctricos, dando algunas indicaciones de como resetear el sistema, pulsadores para abrir puertas, indicaciones de relés de seguridad, periodos de mantenimiento, entre otra información relevante del sistema de seguridad. Finalmente se procede a enviar la documentación correspondiente del sistema.

## 7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Se realizan diferentes pruebas en la empresa Samco ingeniería, conectando varias BNS y llaves de seguridad a las entradas del PLC, para verificar la transmisión de señales, y conectando en las salidas pilotos luminosos, con los que se pueda apreciar visualmente la activación de las señales de salida. Para las conexiones y alimentación se utiliza el banco de pruebas disponible en la empresa, todo esto se hace con el fin de probar el funcionamiento del programa del PLC, ya que el software es muy limitado y no permite simulación y visualización online del funcionamiento del programa realizado.

Inicialmente en estas pruebas parece estar todo el sistema OK, aunque en el momento del montaje se tuvieron que implementar algunos cambios, como la adición de 2 relés de seguridad, para monitoreo de llaves inferiores, debido que estas llaves no se pudieron conectar de forma redundante con doble canal de entrada al PLC, por tal motivo para que el sistema no perdiera la categoría de seguridad establecida en el contrato, se agrego estos dos dispositivos de seguridad.

Se tuvieron inconvenientes con la implementación de uno de los sensores magnéticos en uno de los accesos, debido que estaba ubicado en una zona donde se generan vibraciones fuertes en la compuerta, por tal motivo la señal enviada por el sensor se hacía algo intermitente, situación que afectaba de manera notable el funcionamiento del sistema, ya que estas señales recibidas por el PLC de seguridad deben ser lo más verídicas posibles para la ejecución eficaz del programa.

Para solución del problema anterior el equipo mecánico realizó algunas adecuaciones en la compuerta de ese acceso, de tal forma que fuese más rígido y no sufriera vibraciones fuertes que afectarán el funcionamiento del sensor magnético, mejorando así la eficiencia del sistema.

En el cumplimiento del objetivo de instalación del sistema, hubieron algunas complicaciones, el cual retrasó el montaje en planta, esto debido que la línea a la cual hace parte la llenadora de botellas a intervenir, se le haría unas actualizaciones y nuevas adecuaciones, el cual sufrió atrasos significativos, por tal motivo el montaje del sistema de seguridad debía esperar que dichas actualizaciones estuvieran totalmente listas, y al ellos retrasarse, por consiguiente se retrasó el montaje de nuestro proyecto, corriendo así las fechas estipuladas de los dos últimos objetivos, que son montaje y pruebas del sistema.

Finalizada la instalación, se realizó el respectivo informe de entrega donde se les notificó de manera relevante que, para el buen funcionamiento del sistema de seguridad y trazabilidad en el tiempo, es primordial e indispensable el mantenimiento preventivo de todo el sistema de seguridad, donde se verifique el funcionamiento de las llaves, conmutación de contactos y todo lo que conlleva el buen funcionamiento de dicho sistema.

### 7.1 Costos de los dispositivos de seguridad e insumos electricos

En la implementación del sistema de seguridad para la llenadora de botellas 8B, se requirieron diferentes tipos de dispositivos de seguridad e insumos eléctricos,

mencionados anteriormente, el cual se ilustra en la siguiente tabla con sus respectivos precios.

Los precios de los insumos eléctricos son tomados con base a las cotizaciones realizadas, y los precios de los dispositivos de seguridad, se tomaron de la página oficial de nuestro proveedor SCHMERSAL.

PRODUCTOS SCHMERSAL LLENADORAS BAVARIA				
ITEM	DESCRIPCIÓN	REFERENCIA	CANTIDAD	PRECIO \$
1	CONECTOR PLC MOD EXPANSIÓN	CONECTOR T-BUS BACKPLANE PSCBR	3	131.005
2	PLC DE SEGURIDAD	PSCBR-C-10	1	12.567.122
3	MODULO DE EXPANSIÓN	PSCBR-E-31-12DI-10DIO	1	11.308.538
4	CABLE Y LLAVE PARA PROGRAMACIÓN	PSC1-A-90-PROG-CABLE	1	3.546.492
5	LLAVE DE BLOQUEO POR SOLENOIDE	AZM 161SK-12/12rk-024	2	1.698.386
6	ACTUADOR DE LLAVE	AZM 161-B1	2	102.932
7	SENSOR MAGNETICO	BNS 40S-12Z 5,0M	7	3.045.866
8	ACTUADOR SENSOR MAGNETICO	BPS 40S-1 101215268	7	711.170
9	RELÉ DE SEGURIDAD	SRB301MC-24V	2	1843427
10	INSUMOS ELECTRICOS			\$ 15.000.000
	TOTAL			49.954.938

*Tabla 5. Precios de dispositivos de seguridad e insumos*

## 8. CONCLUSIONES

1. Se desarrolló un sistema de seguridad de la máquina llenadora de botellas de la línea 8B de la empresa Bavaria, mediante encerramientos, con accesos equipados por guardas móviles, accionadas por llaves de seguridad de bloqueo por solenoide, magnéticas y monitoreadas por un PLC de seguridad PSCBR-10C, el cual conllevó a la mitigación de riesgos de accidentes laborales, por parte de los operarios que manipulan y trabajan en las proximidades de esta máquina.
2. Teniendo en cuenta la visita de inspección de la máquina llenadora de botellas, se evaluaron los lineamientos del sistema de seguridad, que conllevó análisis de sistema eléctrico y funcionamiento de la máquina, lo que permitió realizar un diagnóstico con respecto a los requisitos especificados por la norma, para una correcta estructuración e implementación en el diseño del proyecto y componente necesarios para su implementación.
3. Se realizó diseño de planos eléctricos en el software See Electrical, el cual permitió tener una mejor perspectiva y referenciación al momento de realizar el montaje.
4. Se llevó a cabo la implementación del programa de control para el PLC de seguridad, mediante el software Safe PLC PSC BR compact, lo que permite tener una total verificación del sistema, permitiendo o denegando acceso a zonas peligrosas de la máquina.
5. Se desarrolló el respectivo montaje en planta del sistema eléctrico, con el que

gracias a las respectivas pruebas realizadas se evidenció el correcto funcionamiento del sistema de seguridad de la máquina llenadora de botellas de la línea 8B en la empresa Bavaria.

6. Puesta en marcha de un sistema de seguridad eficiente y preciso, de acuerdo a los requerimientos y lineamientos establecidos en el proyecto entre las empresas Bavaria y Samco ingeniería.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Semana (2018). Indices de accidentalidad en Colombia Available at: <https://www.semana.com/edicion-impres/pais/articulo/accidentes-y-enfermedades-labores-en-2017/255313/> (Accessed: March 10, 2023).

[2] Departamento de desarrollo sostenible y medio ambiente (ed.) (2021) La seguridad industrial, Euskadi. Available at: <https://app.bibguru.com/p/f5a96048-7aba-4280-bff3-3450af0b0317> (Accessed: March 10, 2023).

[3] Prismex (2021) La seguridad industrial, Prismex. Available at: <https://www.prysmex.com/blog/seguridad-industrial-que-es-y-para-que-sirve> (Accessed: March 10, 2023).

[4] Fedesarrollo (2009) PIB industrial y Bavaria, Portafolio.co. Available at: <https://www.portafolio.co/economia/finanzas/bavaria-aporta-89-pib-industrial-45-92-pib-sector-bebidas-fedesarrollo-436484> (Accessed: March 24, 2023).

[5] Helm Fiduciaria (2012) Informe de representación legal de tenedores de bonos Bavaria S.A, Helm.fiduciaria. Available at: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.itaucolombia.com/sites/default/files/12\\_2012\\_Bavaria\\_emision2004.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.itaucolombia.com/sites/default/files/12_2012_Bavaria_emision2004.pdf) (Accessed: March 11, 2023).

[6] Reyes, M.alejandra (2013) Implementación del sistema de gestión de seguridad industrial y salud ocupacional en Jaferpa JFP S.A.S Bajo la normativa. at: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/9376/PROYECTO%20DE%20GRADO%20SISTEMA%20DE%20GESTI%C3%93N%20SYSO.pdf?sequence=1> (Accessed: March 15, 2023).

[7] Baquero, A.M. and Pineda, P.A. (2013) Implementación de normas de seguridad industrial en el área de producción de la empresa casa internacional de diseño y moda CIDMA S.A.S. rep. Available at: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/9333/PROYECTO%20FINAL%20IMPLEMENTACI%C3%93N%20CIDMA%20S.A.S..pdf?sequence=1> (Accessed: March 15, 2023).

[8] Instituto Ecuatoriano de Normalización (2014) Norma técnica INEN-ISO 12100 . INEM. Available at: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.normalizacion.gob.ec>

/buzon/normas/nte\_inen\_iso\_12100.pdf (Accessed: March 15, 2023).

[9] Organización Internacional de Normalización (2023) Wikipedia. Wikimedia Foundation. Available at: [https://es.wikipedia.org/wiki/Organizaci%C3%B3n\\_Internacional\\_de\\_Normalizaci%C3%B3n](https://es.wikipedia.org/wiki/Organizaci%C3%B3n_Internacional_de_Normalizaci%C3%B3n) (Accessed: March 24, 2023).

[10] Grupotice (2023) ISO 12100: Evaluar La Seguridad y reducir El Riesgo en las máquinas, Tice. Available at: <https://www.grupo-tice.com/iso12100-evaluar-la-seguridad-y-reducir-el-riesgo-en-las-maquinas/> (Accessed: March 24, 2023).

[11] GmbH, P. (2021) EN ISO 13849-1: Nivel de Prestaciones (PL), EN ISO 13849-1. Clasificación de peligros mediante niveles de prestaciones - Pilz ES. Available at: <https://www.pilz.com/es-ES/support/knowhow/law-standards-norms/functional-safety/en-iso-13849-1> (Accessed: March 24, 2023).

[12] B. camargo.osg (2019) Conoce Toda la información acerca de la cervecería Bavaria, Bavaria. Available at: <https://www.bavaria.co/acerca-de-nosotros> (Accessed: March 24, 2023).

[13] BNS 40s-12Z (2020) Schmersal. Schmersal. Available at: [https://products.schmersal.com/es\\_ES/bns-40s-12z-4024.html?type=product](https://products.schmersal.com/es_ES/bns-40s-12z-4024.html?type=product) (Accessed: March 24, 2023).

[14] Ltda., A.C.E.S.E.I. (2023) Productos para Seguridad industrial de Máquinas . Schmersal. Available at: <https://www.schmersal.com.br/produtos> (Accessed: March 24, 2023).

[15]C.G.B (2019, 15 agosto). Normativas de seguridad industrial en Colombia. <https://cgbsas.com/normativas-que-reglamentan-la-seguridad-industrial-en-colombia/> (Accessed: March 24, 2023).

[16]. Schmersal (2022) Sensor de seguridad,magnético. <https://www.schmersal.es/productos/portafolio-de-productos/interruptores-de-seguridad-y-sensores-de-seguridad/sensores-de-seguridad-magneticos> (Accessed: March 24, 2023).

[17] . Ministerio del trabajo. (2019, 13 febrero) *Resolución 0312 – Año 2019*. <https://safetya.co/normatividad/resolucion-0312-de-2019/#:~:text=La%20presente%20Resoluci%C3%B3n%20tiene%20por,%C2%B0%20de%20este%20Acto%20Administrativo.> (Accessed: March 24, 2023).

[18] Scribd (2018). Metodología de evaluación de riesgo Hazard Rating Number at: <https://es.scribd.com/doc/214945378/Hazard-Rating-Number#> (Accessed: March 10, 2023).

[19] SCHMERSAL (2023). Dispositivos de seguridad. at: <https://www.schmersal.es/inicio> (Accessed: March 10, 2023).

[20] Samco ingeniería (2023). Empresa Samco at: <http://samcoingenieria.com/> (Accessed: March 10, 2023).

[21] Colsein ingeniería (2022). Empresa Colsein Medición, control y automatización at: <http://samcoingenieria.com/> (Accessed: March 10, 2023).

## 10. ANEXOS

- Se anexará junto con este documento, el respectivo programa realizado para el PLC de seguridad.
- Se anexará junto con este documento, los respectivos planos eléctricos del sistema de seguridad.