

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN EN LA LÍNEA DE  
PRODUCCIÓN PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DE UNA  
EMPRESA DE VELAS**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO INDUSTRIAL**

**AUTOR**

**DANFER VICTOR PEREZ LOPEZ**

**ASESOR**

**JOSELITO SANCHEZ PEREZ**

**<https://orcid.org/0000-0002-1525-8149>**

**Chiclayo 2020**

**PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN EN LA LÍNEA DE  
PRODUCCIÓN PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DE  
UNA EMPRESA DE VELAS**

PRESENTADA POR:

**DANFER VICTOR PEREZ LOPEZ**

A la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo para optar el título de

**INGENIERO INDUSTRIAL**

APROBADA POR

LUCIO ANTONIO LLONTOP MENDOZA  
PRESIDENTE

CARLOS ALEXIS ALVARADO SILVA  
SECRETARIO

JOSELITO SANCHEZ PEREZ  
VOCAL

# ÍNDICE

RESUMEN.....	8
ABSTRACT .....	9
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>10</b>
<b>II. MARCO TEORICO .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 Antecedentes .....</b>	<b>13</b>
<b>2.2 Base teórica científica.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2.1 Sistema Productivo.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2.2 Herramienta de Análisis:.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2.3 Automatización.....</b>	<b>16</b>
<b>2.2.4 Indicadores.....</b>	<b>20</b>
<b>2.3 Definición de términos básicos .....</b>	<b>21</b>
<b>III. RESULTADOS.....</b>	<b>22</b>
<b>3.1 Diagnóstico de la situación actual de la empresa.....</b>	<b>22</b>
<b>3.2 Diseño del sistema automatizado para el proceso productivo de las velas en la empresa de velas.....</b>	<b>53</b>
<b>3.2.1 Concepto general del diseño .....</b>	<b>53</b>
<b>3.2.2 Desarrollo y Cálculo de Equipos.....</b>	<b>73</b>
<b>3.2.3 DIAGRAMA DE MOVIMIENTOS DEL PROCESO PRODUCTIVO DE VELAS EN LA EMPRESA DE VELAS .....</b>	<b>108</b>
<b>3.2.4 REALIZACIÓN DE LÓGICA CONTROL PLC .....</b>	<b>110</b>
<b>3.2.5 Nuevos indicadores de productividad.....</b>	<b>118</b>
<b>3.2.6 Cuadro comparativo de Indicadores .....</b>	<b>123</b>
<b>3.2.7 Análisis costo beneficio .....</b>	<b>123</b>
<b>IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>129</b>
<b>4.1 Conclusiones .....</b>	<b>129</b>
<b>4.2 Recomendaciones .....</b>	<b>129</b>
<b>V. REFERENCIAS .....</b>	<b>131</b>
<b>VI. ANEXOS .....</b>	<b>135</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1 Turnos de trabajo en la empresa de velas.....	23
Tabla N° 2 Turnos de trabajo en la empresa de velas.....	23
Tabla N° 3 Demanda en cajas según los clientes. ....	23
Tabla N° 4 Peligro y Riesgos del área de recepción.....	25
Tabla N° 5 Peligro y Riesgos del área de recepción.....	25
Tabla N° 6 Peligro y Riesgos del área de recepción.....	26
Tabla N° 7 Peligro y Riesgos del área de horneado. ....	27
Tabla N° 8 Peligro y Riesgos del área de horneado. ....	27
Tabla N° 9 Peligro y Riesgos del área de enfriado y moldeado. ....	28
Tabla N° 10 Peligro y Riesgos del área de enfriado y moldeado. ....	29
Tabla N° 11 Peligro y Riesgos del área de enfriado y moldeado. ....	29
Tabla N° 12 Peligro y Riesgos del área de empaquetado. ....	30
Tabla N° 13 Peligro y Riesgos del área de almacenamiento. ....	31
Tabla N° 14 Cantidad de dinero a pagar por accidente .....	31
Tabla N° 15 Diagrama hombre-maquina.....	32
Tabla N° 16 Cantidad de parafina líquida excesiva.....	37
Tabla N° 17 Tiempo de demora en arreglar los hilos en la máquina de velas.....	38
Tabla N° 18 Defectos de velas reprocesadas .....	39
Tabla N° 19 Data de velas reprocesadas durante el mes de abril del 2018 .....	41
Tabla N° 20 Velas reprocesadas en el transcurso del tiempo .....	42
Tabla N° 21 Actividades generadoras de velas reprocesadas.....	43
Tabla N° 22 Unidades reprocesadas en el mes de abril.....	45
Tabla N° 23 Productividad mano de obra .....	46
Tabla N° 24 Costo por piezas reprocesadas. ....	48
Tabla N° 25 Cantidad de leña empleada para el proceso de elaboración de velas .....	49
Tabla N° 26 Indicadores de las causas analizadas.....	52
Tabla N° 27 Guía de selección de sistemas de control.....	57
Tabla 28 Mediciones de temperatura en el horno .....	58
Tabla N° 29 Características del módulo de ampliación “TM3DQ16R/G”.....	71
Tabla N° 30 Características del grosor del tanque.....	76
Tabla 31 Tipos de aceros inoxidables .....	77
Tabla N° 32 Requerimientos de la parte eléctrica del motor.....	78
Tabla 33 Requerimientos de la parte Mecánica del motor. ....	79
Tabla 34 Características del motor.....	80
Tabla N° 35 Requerimientos para la bomba de enfriamiento.....	81
Tabla N° 36 Calculo de motores.....	82
Tabla 37 Ficha técnica de los tubos para enfriamiento .....	83
Tabla 38 Tabla espesores de la tubería de acero inoxidable .....	84
Tabla N° 39 Dispositivos de la propuesta a usar .....	89
Tabla N° 40 Características que necesita el PLC .....	90
Tabla N° 41 Datos del PLC TM241E40R.....	91
Tabla 42 Dispositivos añadidos al PLC .....	91
Tabla 43 Características de los módulos de expansión .....	92
Tabla 44 Características del cartucho TMC4AQ2 .....	93
Tabla 45 Diferencias entre PT100 y PT1000 .....	98
Tabla 46 Características de AGPtek PT100 .....	98
Tabla N° 47 Características del HMI .....	100

Tabla N° 48 Características de la válvula proporcional. ....	101
Tabla N° 49 Categorías de contactores en corriente alterna. ....	104
Tabla N° 50 Diagrama de movimientos .....	108
Tabla N° 51 Entradas digitales .....	110
Tabla N° 52 Entradas analógicas de TM3TI4/G .....	110
Tabla N° 53 Salidas digitales.....	110
Tabla N° 54 Salidas analógicas de TM3DQ16R/G .....	111
Tabla N° 55 Salidas analógicas del segundo TM3DQ16R/G.....	111
Tabla N° 56 Diagrama hombre máquina del proceso de velas después de la propuesta. ....	119
Tabla N° 57 Energía consumida por la empresa .....	122
Tabla N° 58 Comparación de indicadores .....	123
Tabla N° 59 Coste del sistema propuesto (Bienes tangibles) .....	124
Tabla N° 60 Depreciación de inversión fija .....	125
Tabla N° 61 Bienes intangibles .....	125
Tabla N° 62 Capital de trabajo .....	126
Tabla N° 63 Inversión total del proyecto.....	126
Tabla N° 64 Calculo del VAN y TIR del proyecto a realizar.....	127
Tabla N° 65 Periodo de recuperación.....	128

## LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1 Organigrama de la empresa de velas .....	22
Figura N° 2 Diagrama de operaciones de procesos (DAP) .....	24
Figura N° 3: Leña recepcionada .....	25
Figura N° 4 Parafina sólida en sus dos presentaciones (bolsa y caja).....	25
Figura N° 5 Cajas que se utiliza para empaquetar las velas. ....	26
Figura N° 6 Operarios abasteciendo el horno con parafina solida .....	26
Figura N° 7 Operarios sacando uno de los recipientes del horno .....	27
Figura N° 8 Operario manipulando el caño del horno para obtener parafina liquida .....	28
Figura N° 9 Abasteciendo la máquina de velas con parafina liquida a Temperatura de 70°C.....	28
Figura N° 10 Cortando los sobrantes de la máquina de velas.....	29
Figura N° 11 Operario dejando las velas en el área de empaque.....	29
Figura N° 12 Operario dejando las velas en el área de empaque.....	30
Figura N° 13 Operarios empaquetando las velas .....	30
Figura N° 14 Velas almacenadas.....	30
Figura N° 15 Diagrama pictórico del proceso de producción de velas. ....	34
Figura N° 16 Diagrama de flujo en bloques del proceso de producción de velas. ....	35
Figura N° 17 Pasos en el proceso de transporte de parafina liquida .....	37
Figura N° 18 Diagrama de Pareto según el tipo de defecto de las velas. ....	39
Figura N° 19 Operario dejando las velas en el área de empaquetado .....	40
Figura N° 20 Grafico de control de medias de velas reprocesadas .....	42
Figura N° 21 Grafico de control de rango de velas reprocesadas .....	43
Figura N° 22 Productividad de mano de obra .....	47
Figura N° 23 Diseño de la propuesta .....	55
Figura N° 24 Vista frontal del diseño de la propuesta elaborado en software CAD .....	56
Figura N° 25 Vector de entrada (W) en programación en Matlab .....	59
Figura N° 26 Mediciones en el Workspace.....	59
Figura N° 27 Variable de entrada .....	60
Figura N° 28 Valor de referencia .....	60
Figura N° 29 Igualdad entre entrada y salida.....	61
Figura N° 30 Panel de comando ident .....	61
Figura N° 31 Importar desde workspace .....	62
Figura N° 32 Importar desde workspace .....	62
Figura N° 33 Datos de medición representados en una grafica.....	63
Figura N° 34 Estimación de función de transferencia.....	63
Figura N° 35 Estimación de función de transferencia.....	64
Figura N° 36 Datos de la estimación de función de transferencia.....	64
Figura N° 37 Función de transferencia en el panel de Ident .....	65
Figura N° 38 Grafica de zeros y polos del sistema.....	65
Figura N° 39 Grafica de función de transferencia en matlab.....	66
Figura N° 40 Función de transferencia en matlab.....	66
Figura N° 41 Propiedades de la función de transferencia en matlab.....	67
Figura N° 42 Grafica de la función de transferencia en matlab.....	67
Figura N° 43 Valor de retardo (L) .....	68
Figura N° 44 Valor de constante de tiempo (t) .....	69
Figura N° 45 Grafica del método de Ziegler nichols .....	69
Figura N° 46 Modelo de Ziegler Nichols .....	70

<b>Figura N° 47 Logica con PID.....</b>	<b>71</b>
<b>Figura N° 48 Diagrama de lazo cerrado.....</b>	<b>72</b>
<b>Figura N° 49 Diagrama de lazo cerrado del sistema automatizado propuesto.....</b>	<b>72</b>
<b>Figura N° 50 Forma Cónica de la caldera.....</b>	<b>75</b>
<b>Figura N° 51 Forma Cónica de la caldera.....</b>	<b>75</b>
<b>Figura N° 52 Molde de velas.....</b>	<b>78</b>
<b>Figura N° 53 Plano Dimensional del Motor .....</b>	<b>80</b>
<b>Figura N° 54 Recibo de luz de la empresa de velas .....</b>	<b>81</b>
<b>Figura N° 55 Tubo PVC.....</b>	<b>83</b>
<b>Figura N° 56 Serpentín de calentamiento.....</b>	<b>88</b>
<b>Figura N° 57 Balón de gas de 45 Kg .....</b>	<b>89</b>
<b>Figura N° 58 Modulo de expansión TM3TI4 (PT100) .....</b>	<b>92</b>
<b>Figura N° 59 Modulo de expansión TM3DQ16R .....</b>	<b>92</b>
<b>Figura N° 60 Cartucho TMC4AQ2.....</b>	<b>93</b>
<b>Figura N° 61 Pulsador Verde XB4BA31 .....</b>	<b>94</b>
<b>Figura N° 62 Pulsador Rojo XB4BA42.....</b>	<b>94</b>
<b>Figura N° 63 Pulsador Rojo XB4BA42.....</b>	<b>95</b>
<b>Figura N° 64 Pulsador Verde XB4BVM3.....</b>	<b>96</b>
<b>Figura N° 65 Guarda motor GV2ME-08.....</b>	<b>97</b>
<b>Figura N° 66 PT100.....</b>	<b>99</b>
<b>Figura N° 67 Tablero mural spacial crn.....</b>	<b>99</b>
<b>Figura N° 68 HMI Harmony GTU HMIDT351.....</b>	<b>100</b>
<b>Figura N° 69 Válvula solenoide, EV210B .....</b>	<b>101</b>
<b>Figura N° 70 Válvula proporcional.....</b>	<b>102</b>
<b>Figura N° 71 Llave termo magnética A9F74350.....</b>	<b>102</b>
<b>Figura N° 72 Llave termo magnética A9F74220.....</b>	<b>103</b>
<b>Figura N° 73 Llave termo magnética A9R50225 .....</b>	<b>104</b>
<b>Figura N° 74 Contactador LC1D09M7.....</b>	<b>105</b>
<b>Figura N° 75 Bloque de terminal NSYTRV22 .....</b>	<b>106</b>
<b>Figura N° 76 Diferencia tipo A y tipo B .....</b>	<b>107</b>
<b>Figura N° 77 Riel Din NSYSDR200BD.....</b>	<b>107</b>
<b>Figura N° 78 Plano esquemático .....</b>	<b>109</b>
<b>Figura N° 79 Lógica realizada en Somachine</b>	
<b>Figura N° 80 Proyecto plasmado en Vijeo.....</b>	<b>112</b>
<b>Figura N° 81 Lógica realizada en So machine</b>	
<b>Figura N° 82 Proyecto plasmado en Vijeo.....</b>	<b>113</b>
<b>Figura N° 83 Proyecto plasmado en Vijeo</b>	
<b>Figura N° 84 Proyecto plasmado en Vijeo.....</b>	<b>114</b>
<b>Figura N° 85 Proyecto plasmado en Vijeo</b>	
<b>Figura N° 86 Proyecto plasmado en Vijeo.....</b>	<b>115</b>
<b>Figura N° 87 Proyecto plasmado en So Machine</b>	
<b>Figura N° 88 Lógica realizada en Vijeo.....</b>	<b>116</b>
<b>Figura N° 89 Proyecto plasmado en Vijeo</b>	
<b>Figura N° 90 Lógica realizada en So machine .....</b>	<b>117</b>

## RESUMEN

El objetivo de este proyecto es realizar la propuesta de automatización en la línea de producción de la empresa de velas, con el fin de eliminar los reprocesos y así generar mayor productividad en la empresa.

El proyecto de investigación analiza el proceso productivo de las velas ya que se ve afectado la productividad por dos causas importantes, las cuales son los errores del operario al manipular la máquina de velas y el método de trabajo sin estandarizar, el cual disminuyendo la productividad en 30% con un impacto económico por turno de S/ 45 874. Frente a este problema se plantea la siguiente pregunta, ¿Cómo la propuesta de automatización en la línea de producción de velas en la empresa de velas lograra incrementar la productividad?

Se diseñó el sistema automatizado en el software SolidWorks, el plano eléctrico y la programación del PLC TM24ICE40R en el software So machine, presentando el interfaz máquina-hombre dentro del mismo. Con el proceso automatizado se mejoran los indicadores, los cuales tenemos como resultado inexistencia de reprocesos, el porcentaje de saturación del operario disminuyo en 3.95%, la productividad aumento a 95.19% además se logra evitar el contacto del operario con la parafina liquida que puede provocar un accidente muy grave y el pago de una multa superior a los S/. 7 000. El proyecto tendrá una inversión de S/. 34 000,17, con una tasa de retorno de 22%, un valor neto actual de S/ 89 315 en un plazo de 5 años y un periodo de recuperación de 2 años y 8 meses, siendo un proyecto viable y rentable para la empresa.

**Palabras Clave:** Sistema automatizado, productividad, So machine, velas, automatización.

### **ABSTRACT**

The objective of this project is to carry out the automation proposal in the production line of the candle company, in order to eliminate reprocessing and thus generate greater productivity in the company.

The research project analyzes the production process of candles as productivity is affected by two important causes, which are the operator's errors when handling the candle machine and the non-standardized working method, which decreases productivity in 30% with an economic impact per shift of S / 45 874. Faced with this problem, the following question arises, how the automation proposal in the candle production line in the candle company could increase productivity?

The automated system was designed in the SolidWorks software, the electrical drawing and the programming of the TM24ICE40R PLC in the So machine software, presenting the machine-man interface within it. With the automated process, the indicators are improved, which we have as a result of no reprocessing, the operator saturation percentage decreased by 3.95%, productivity increased to 95.19%, and it is also possible to avoid operator contact with the liquid paraffin that can cause a very serious accident and the payment of a fine higher than S / . 7 000. The project will have an investment of S / . 34 000,17, with a rate of return of 22%, a current net value of S / 89 315 over a period of 5 years and a recovery period of 2 years and 8 months, being a viable and profitable project for the company.

**Keywords:** Automated system, productivity, So machine, candles, automation.

## I. INTRODUCCIÓN

La producción de velas tradicionales ha tenido un incremento evidente, en todo el mercado mundial tiene una participación económica de 2,83 Billones de dólares, el exportador más grande en los últimos 5 años de todo el mundo es China, abarcando un 20% del mercado para este producto con 573 Millones de dólares y el importador más relevante en estos últimos 5 años con 416 Millones de dólares ha sido Estados Unidos [1].

Una de las empresas más importantes y una de las primeras en España en la producción de velas de cera, es la empresa “Ceras Roura SA” que produce 2 500 toneladas al año, con ingresos de 9,5 mil de euros, el 20% de sus ventas son exportaciones, la empresa cuenta con 43 empleados. [2]

El valor agregado que tiene esta empresa es que no produce solo velas de cera, más bien le agrega aditivos, como lo son colorantes, aceites vegetales y un proceso totalmente automatizado que aumenta su calidad ya que no tiene errores manuales, además del aumento de su productividad, con tan solo 43 empleados genera unos ingresos elevados y a su vez complace su demanda.

La producción que posee esta empresa es una innovación dentro del mercado de velas, el cual se trata de preparar una fórmula la cual posee colorantes y perfumes, luego es transformado en polvo mediante un proceso de pulverización y enfriamiento sobre cilindros rotatorios refrigerados por agua a 4°C, este proceso es supervisado por operarios ya que es automatizado, luego de obtener el polvo, se prensa o extrusión según el tipo de velas que se desea fabricar, ya que la empresa cuenta con varios tipos de velas, luego de la prensa, que también es de manera automática, se pasa a una máquina moldeadora donde mediante moldes de aluminio y baños por inmersión se obtiene el producto final, finalizado el moldeado, se pasa al siguiente proceso que son llevados a colocarse en sus recipientes, mediante una línea automatizada especial para cada tipo de vela, luego son etiquetados en la misma máquina y estuchados listos para pasar a almacén, que es donde los colaboradores ya tienen contacto directo con el producto solo para empacarlo y ser distribuido.

La demanda de velas en Perú incrementa en fechas festivas, tales como, Señor de los milagros, Fiestas patrias, pero la demanda no solo es interna ya que las exportaciones de las velas peruanas vienen ganando terreno. Según OEC [1] Perú exporta alrededor de 120 mil dólares en velas al mercado mundial, siendo su principal mercado China, con un 23% siguiendo con un 17% de las exportaciones, Estados Unidos.

Una de las empresas que destacan en el territorio peruano, es “Tanha” que produce velas desde el año 1999 hasta la actualidad, su mercado externo es Canadá y Ecuador (Guayaquil), Francia, Estados Unidos y Panamá. [3] Su producción es totalmente artesanal, consta de un taller de 7-8 personas que hay un encargado de manipular la parafina en el primer paso, que es calentarla la parafina sólida hasta que se funde, como esta es incolora, se le añaden diferentes tintes, eso dependerá del diseño que se quiera elaborar, ya fundida la parafina, se pasa a moldear, los moldes que utilizan son de hojalata y aluminio, depende el diseño que se producirá, y se espera al enfriado de la parafina líquida, al ya tener el producto final, un operario es encargado de pulir manualmente para que no tenga ninguna ralladura.

Como ya se mencionó, la demanda de velas aumenta en fechas festivas, y existen pequeñas microempresas que producen velas a la medida para ciertos acontecimientos importantes, tal es el caso de los microempresarios que se dedican a la fabricación de velas de cera artesanal para altares de algunos templos en semana santa en diversas ciudades del Perú que celebran esta actividad, tal es el caso de la ciudad de Ayacucho. El proceso de producción que tienen algunos productores de velas es rústico, uno de los procesos de elaboración de velas más comunes en esa área es la que comienza en un aro donde pueden entrar 110 velas en suspensión, esto con el fin de que la vela se alargue y se eliminen las imperfecciones, algunos solo cuentan con solo 1 aro, el cual es un problema en temporada alta, semana santa, el mercado requiere alrededor de 2 000 velas por esos días. Después de que las velas suspendidas se enfrían se envuelven en aluminio con el fin estético ya que para esa festividad se requiere de tal manera.

En el norte del país, se puede encontrar la empresa de velas que tiene como mercado diferentes ciudades de Perú, tales como, Piura, San Martín, Tarapoto, Yurimaguas, entre otras ciudades. La principal característica de su producción es que el operario tiene contacto directo con el producto en todos sus procesos, además, los operarios no cuentan con EPP exponiéndose a un gran peligro ya que se exponen a temperaturas elevadas y a un objeto punzocortante como lo es el cuchillo con el cual cortan los sobrantes de vela y la leña, que se utiliza en el proceso de horneado, el cual contiene sobresalientes que causan hinchones y provocan accidentes.

La línea de producción actual de la empresa presenta una baja productividad debido a diferentes causas, lo cual genera pérdidas económicas significantes en la empresa anualmente, por lo que se manifiesta la siguiente pregunta ¿Cómo la propuesta de

automatización en la línea de producción de velas en la empresa de velas lograra incrementar la productividad?

Con el fin de desarrollo de la pregunta de investigación, se plantea como objetivo principal incrementar la productividad de la empresa de velas mediante un sistema automatizado en la línea de producción de velas. Para el desarrollo de este objetivo, se diagnosticará la situación actual del proceso productivo en la empresa de velas se propondrá el diseño del sistema automatizado para el proceso productivo de la empresa de velas con el fin de aumentar la productividad a través de diferentes softwares de ingeniería y finalmente se realizará el análisis costo-beneficio del sistema automatizado propuesto.

El sistema automatizado presentado, tendrá la capacidad de cumplir con todas las tareas que se realizan en las diferentes etapas del proceso de producción, en un menor tiempo que el actual, se controlara el proceso mediante un PLC, para así lograr el aumento de la productividad, asimismo, se obtendrá un producto final con mejor calidad ya que no estará expuesto a los errores humanos, además, de la mejora de las condiciones de trabajo para los colaboradores, se reducirán desperdicios, se evitara reprocesos y se aumentara la rentabilidad de la empresa.

En el año 2019, la empresa de velas se ha propuesto mejorar su proceso productivo y ordenar sus datos cuantitativos, es por eso por lo que se plantea una propuesta que abarcara estos problemas mediante la automatización. Asimismo, la propuesta ayudara a incrementar la productividad de la empresa, mejorar los tiempos de producción, estandarizar su proceso productivo.

Los colaboradores también se verán beneficiados ya que al automatizar el proceso se evitarán muchos peligros que corren al estar muy cerca de un líquido con temperatura elevada y lesiones que producen las diversas actividades del proceso.

Muy aparte de los beneficios que tendrá la investigación a la empresa, también tendrá un aporte significativo para posteriores investigaciones en empresas que se dedican a elaborar velas o automatizar parte de su producción, así como también tendrá un aporte dentro de lo tecnológico ya que la investigación se centra en diferentes máquinas que permitirán automatizar la mayor parte del proceso.

## **II. MARCO TEORICO**

### **2.1 Antecedentes**

Perez [4], en la tesis doctoral “Cambio del modelo de negocio, implicaciones locales y regionales en el municipio de Entreríos: estudio de caso de la empresa Velas y Velones San Jorge.” Nos menciona que la empresa San Jorge, una de la más grandes en toda Colombia realizo diversas estrategias, que le permitieron crecer como empresa en lo largo de sus 33 años de existencia, las cuales analiza para así modificarlos y adaptarlos a un mercado maduro, como lo es, el de las velas. El objetivo de esta tesis es la diversificación del portafolio para lograr un crecimiento en ventas en mercados maduros y en declive. Para el desarrollo se recurrirán al análisis de las encuestas, entrevistas, datos estadísticos e históricos, cuadros FODA que la empresa realizo y que el investigador realizara. Se determinó que la empresa se mantendrá en el mercado si realiza un cambio en su modelo de negocio, así como también, aumentar más productos – nuevos tipos de velas – a su portafolio y la estandarización de estos.

Hay que tener en cuenta que Esteban [5], en el artículo científico “Los sistemas SCADA en la automatización industrial” Nos aclara la importancia del SCADA, que se trata de un sistema encargado de la supervisión del proceso, alarmas dentro de este, variables de control y base de datos del proceso. Como objetivo, se plantea Informar sobre la importancia de los sistemas SCADA, mediante una investigación descriptiva donde describe generalmente al sistema, sus características, las diferentes presentaciones, los requisitos que debe tener y por último nos menciona ejemplos de aplicación en algunas industrias. La conclusión de esta investigación es que el sistema tiene una gran funcionalidad, ofrece una perspectiva general de la planta permitiendo la interacción con los procesos mediante gráficos.

Pérez [6], en la investigación “Propuesta de automatización en bodega de producto terminado en industria manufacturera de productos de higiene personal en Costa Rica” se plantea automatizar una parte del proceso de producción por medio de la lectura del código de barras de sus productos y la distribución de estos en la planta ubicada en San Antonio de Belén de Heredia. La metodología en esta investigación empieza con un estudio de los procesos de la empresa, que duró 70 días, dando como resultado que la empresa necesitaba automatizar el área de embalaje, selección, inventariado y paletizado, y finaliza en el análisis costo-beneficio y la automatización

de estos procesos, donde se implementaron sensores, actuadores, software e instrumentación requerida para su correcto funcionamiento. El resultado de esta investigación es que la implementación de la automatización de un proceso no es una mala inversión, por lo contrario, es una inversión que se recupera, en este caso, en un tiempo mínimo, también se mejoró las condiciones de la misma empresa, creando un mejor ambiente laboral.

González y Rodríguez [7] en la investigación “Automatización de una planta industrial de alimentación mediante control distribuido” nos menciona que el proceso de producción de arroz con leche para postre es un proceso normalmente producido con manufacturación manual, salvo su proceso de envasado, y pues si el proceso se automatizara su eficiencia aumentaría ya que se reduciría el personal, tendría mayor producción y bajos costes de mantenimiento. Se trazó como objetivo la automatización integral de todo el proceso de fabricación en el área de llenado, cocción, vaciado y de retorno. La automatización la llevo a cabo por el protocolo Maestro-Esclavo, donde comenzara por las unidades esclavas (área de preparación de leche y arroz) y terminara con la unidad maestra (área de mezcla y envasado), mediante una comunicación Profibus y monitoreada por un panel del operario (donde controla el proceso) ya que aporta mejores características de velocidad y tiempo de respuesta que otros en el mercado. El resultado fue un diseño simple que constantemente actualiza de data al software con elevado rendimiento, bajo costo y posee facilidad de mantenimiento, además el panel del operario ayuda a supervisar y controlar a tiempo real el proceso de producción.

En [8] en la investigación “Prototipo automatizado para el llenado y tapado de botellas de plástico Industrial Data” menciona que la automatización incrementa su producción, este caso lo hizo en un 36%, además menciona que la automatización evita reprocesos ya que el llenado se hace mediante un controlador lógico programable (PLC) el cual restringe la salida de líquido cuando ya está al nivel correspondiente, además de permitir un producción continua, además que evita fatigas del colaborador ya que al ser manual este proceso puede causarle ciertos malestares a la persona. Así como también, menciona que la inversión de la automatización ese elevado, pero compensa el hecho que el costo por botella es menor.

## **2.2 Base teórica científica**

### **2.2.1 Sistema Productivo**

#### **Proceso de producción:**

Según Fernández, Avella y Fernández [9], es un conjunto de actividades (tareas, procesos, etc.) que a través de uno o diferentes factores productivos son transformados en productos con un cierto valor agregado.

#### **Capacidad:**

Es el potencial que posee un centro de trabajo, maquina, proceso, una organización para fabricar algún producto dentro de una unidad de tiempo.

#### **Factor Humano:**

Es considerado como un elemento de vital importancia en diversas actividades que realiza una empresa que produce un producto, ya que mediante este se controla la utilización de recursos, los tiempos de producción y las ventas del producto final.

#### **Ergonomía:**

Es el estudio del puesto de trabajo del colaborador o del equipo de trabajo para promover la eficiencia de este, así como también, mantener y mejorar el bienestar humano.

### **2.2.2 Herramienta de Análisis:**

Son diferentes tipos de métodos que ayudaran a analizar los puntos críticos que se toman en esta investigación.

#### **Ingeniería de métodos:**

Es definido como una técnica principal, la cual reduce los movimientos innecesarios, ya sea por parte del operario o del material empleado, así mismo, se observa métodos erróneos con el fin de sustituirlos por un método adecuado.

#### **Tiempos muertos:**

En [10], menciona que es denominado tiempo muerto cuando en una unidad de tiempo no se realiza alguna actividad útil, se puede encontrar diversos tipos de tiempos muertos:

- Tiempo improductivo: Tiempo que se utiliza a alguna actividad ajena a las especificadas.
- Tiempo inactivo: Tiempo donde el operario no realiza las actividades que se le asignaron, por alguna razón.

- Tiempo no ocupado: Tiempo donde la maquina realiza su trabajo y el operario solo espera a que este termine.

#### **Diagrama de recorrido:**

Diaz, Jarufe, Noriega [11], nos menciona que es una técnica de estudio que mediante gráficos nos muestra donde se realizan las actividades del proceso productivo dentro de la distribución de la planta.

#### **Método de Ziegler nichols**

Es el método manual clásico para elegir los parámetros de un controlador ya sea proporcional, integral o derivativo.

#### **Estudio de tiempos:**

Se define como la técnica de medición que registra tiempos y el ritmo de trabajo correspondiente a los elementos de una actividad específica.

**Peligro:** Se reconoce al peligro como una fuente, situación o acto con potencial de provocar daño a una persona, así como también deterioro de la salud.

**Riesgo:** El riesgo va ligado al peligro ya que es la probabilidad de ocurrencia por la severidad de la lesión o enfermedad.

### **2.2.3 Automatización**

#### **Automatización de los sistemas productivos:**

Según Fernández, Avella y Fernández [9], la automatización se realiza para alcanzar los objetivos de eficiencia y de flexibilidad aplicando las nuevas innovaciones en los procesos productivos.

#### **Maquinas:**

Es el lugar donde ocurren diversos procesos, se da la transformación de la materia prima para obtener un producto.

#### **Awg:**

American Wire Gauge (calibre de alambre estadounidense) se utiliza para designar el diámetro de sólidos no ferrosos redondos eléctricamente conductores, cuando el número de awg es elevado, el alambre es más delgado, cuando menos bajo es el awg es menos susceptible a interferencias, además de poseer menos resistencia interna y soportar mayor flujo de circulación de corriente a distancias largas.

### **Accionadores:**

En [12] , nos menciona que son aquellos dispositivos que se acoplan a las máquinas para que realicen ciertos movimientos. Se subdividen en 3 tipos, se pueden encontrar como accionadores eléctricos, donde la principal fuente de energía es la energía eléctrica y pueden tomar diversas formas, como la de una válvula eléctrica, motores de velocidad variable entre otras, el segundo tipo es el accionador neumático, donde la principal fuente de energía es el aire comprimido que se obtiene por un compresor, este aire se distribuye por las diversas maquinas que se conectan con este dispositivo, mayormente se utiliza para movimientos lineales cortos, como una operación de ensamblaje, como tercer tipo se tiene el accionador hidráulico, esto se utilizara cuando los esfuerzos son elevados o cuando las velocidades deben tener un control específico. Para el correcto funcionamiento de cualquier accionador es necesario un preaccionador, el cual se sirve para comandar y activar los accionadores, son dispositivos necesarios como los contactores o variadores de velocidad. Existen dos tipos:

- Preaccionadores eléctricos:  
Pueden ser contactores, arrancadores y variadores de velocidad.
- Preaccionadores neumáticos:

Los preaccionadores reciben un mando o señal neumática para su funcionamiento, están asociados a los cilindros neumáticos, para esta acción se requiere captadores las cuales captan la señal necesaria para conocer el estado del proceso y decidir futuras acciones, detectan la posición, presión, temperatura, caudal, velocidad y aceleración del objeto.

### **Entradas digitales:**

Estas entradas permiten conectar captadores de tipo 1/0. El cable de señal del captador se conecta a una vía de entrada del módulo que se está trabajando, este último se encarga de convertir la señal que entra en una señal que es cero o uno en un bit interno de los módulos dando el valor en los objetos del lenguaje conocido como entrada digital. Los módulos de entrada digital trabajan con señales de tensión, es decir que cuando llegan 24v se interpreta como 1 y si llega 0v se interpreta como 0.

### **Entradas analógicas:**

Estos módulos de entradas analógicas convierten una magnitud analógica en un numero el cual es depositado en una variable tipo palabra interna. Esta conversión se realiza con una precisión o resolución determinada y cada cierto intervalo de tiempo.

**Salidas digitales:**

Permite actuar sobre los preaccionadores y accionadores que admitan orden de 1/0. El valor binario de la salida digital se convierte en la apertura o cierre de un contacto relé interno en el caso de módulos de salidas a relé.

**Salidas Analógicas:**

Estos módulos permiten que el valor de una variable numérica interna se convierta en tensión o en intensidad para que sirva de referencia de mando para actuadores que admitan mando analógico.

**Variables:**

Una variable es representada a la magnitud que determine el estado de un bloque, componente o sistema, se pueden observar 3 tipos básicos, la primera es fuerza impulsadora, que es denominada fuerza generadora como un potencial electro, tensión, presión o la temperatura, el segundo tipo es el flujo corriente, que es la que da la idea de transporte de algún tipo de estado cuantificable, el tercer tipo es la carga o cantidad que es la representación de la acumulación durante un periodo de tiempo de la variable de tipo flujo.

**Parámetros:**

Es definido como una magnitud constante la cual ayudara a definir las características fundamentales de los componentes que son parte de un sistema.

**Capacidad:**

Se define como una característica que poseen algunos componentes que tienen la propiedad de almacenar una carga durante una unidad de tiempo definida.

**Ethernet Industrial:**

Según piedrafito, ethernet sugiere a una solución ya que actualmente su velocidad y prioridad en las empresas está en aumento. En la conexión de bus mediante cable por conexiones en T los nodos están conectados paralelamente sobre una única sección de cable coaxial. Las señales viajan en ambos sentidos desde el nodo de origen, es por eso, que si el cable se rompe en cualquier punto, el sistema conectado falla. Ya que no posee una terminación. [12]

**Controladores:**

Se le domina controlador a aquel dispositivo responsable de elaborar una señal correctora constante y enviarla al elemento final de control del proceso, con el fin de corregir, controlar o restablecer las condiciones deseadas. Tipos de controladores: [13]

- Proporcional

Es aquel controlador en el que el elemento final de control efectúa, en su posición inicial, un movimiento o carrera proporcional a la magnitud de la desviación.

- Integral

Es denominado también como “flotante de velocidad proporcional”. El controlador integral interviene en el movimiento proporcional, a su señal de error, del elemento final.

- Proporcional-Integral

Reúne las características de los modos ya mencionados, pero solo aprovechando sus ventajas, y sin convenientes de ningún de los modos

Si se tiene instalado en un proceso, la acción correctora que nos arroja la acción proporcional lo corrigiera de forma automática la acción integral.

- Proporcional-derivativo

Al modo proporcional se le añade un modo derivativo, para que así si hay un cambio en la desviación, el modo derivativo mostrara un comportamiento corrector frente a ello.

- Proporcional-integral-derivativo

Las 3 acciones se combinan en un solo modo en un mismo controlador, obteniendo todas las ventajas de cada una de ellas.

- Proporcional: Corrige una válvula en proporción a su desviación
- Integral: Mueve la válvula a una velocidad que es proporcional a la señal de desviación
- Derivativo: Es la que corrige la posición de la válvula en una cantidad proporcional a la velocidad del cambio de la desviación.

### **Sistema de control en lazo cerrado**

En este sistema se alimenta al controlador la señal de error de actuación- siendo esta la diferencia entra la señal de entrada y la señal de retroalimentación- con el fin de reducir el error y llevar la salida sistema a un valor establecido. [14]

### **Sensores:**

Desempeñan una función similar a la de los sentidos corporales, ya que transmite a la unidad de control lo que observa y está ocurriendo en el proceso. [15]

**Controladores lógicos programables:**

En [16], menciona que son los que permiten que las señales que reciben (entrada) se traduzcan en señales que producen (salida) que activan dispositivos asociados.

**2.2.4 Indicadores****Stocks:**

Parra [17] define stocks como un término que indica un depósito de mercancías, de materia prima. Es decir, las existencias que se tienen almacenadas en un espacio de la planta.

**Optimización de tiempos:**

Se entiende como optimización de tiempos a la organización de las diferentes actividades que posee un proceso productivo para así aminorar los tiempos donde el operario no realiza ninguna actividad y aprovechar el máximo el tiempo de trabajo.

**Rentabilidad:**

Es una medida de la productividad de los fondos de una empresa, es decir, los beneficios que dan ciertas operaciones y el esfuerzo, mano de obra, materia prima que se utilizó.

**Productos defectuosos:**

Es aquel producto que no ofrece la seguridad que toda persona tiene derecho, se da tomando algunas circunstancias, como lo son:

- La imagen o diseño del producto
- Su presentación en el mercado, apariencia, la publicidad y las instrucciones o advertencias de este
- La manera de uso
- Los materiales usados para su producción, contenido del mismo y la condición del producto final. [18]

**Cuello de botella:**

Es definido como aquellas actividades que reducen la velocidad de un proceso, es decir, la actividad más lenta dentro de un proceso. Se produce a través de falta

de materiales, mano de obra sin capacitación, y el desinterés que manifiesta la administración.

### **2.3 Definición de términos básicos**

#### **❖ Rentabilidad:**

Obtener ganancias a partir de una serie de actividades o recursos, generalmente se demuestra en términos porcentuales.

#### **❖ Producción:**

Es una serie de operaciones las cuales al ser realizadas obtenemos un producto el cual tiene un valor monetario por la materia prima, mano de obra utilizado

#### **❖ Ingeniería de métodos:**

Es una técnica la cual permite aumentar la productividad, del mismo modo, la rentabilidad de una empresa disminuyendo o eliminando desperdicios (de materiales, tiempo, etc.)

#### **❖ Automatización:**

Sistemas que permiten que diferentes maquinas funcionen por si solas y sean controladas/monitoreadas mediante un computador.

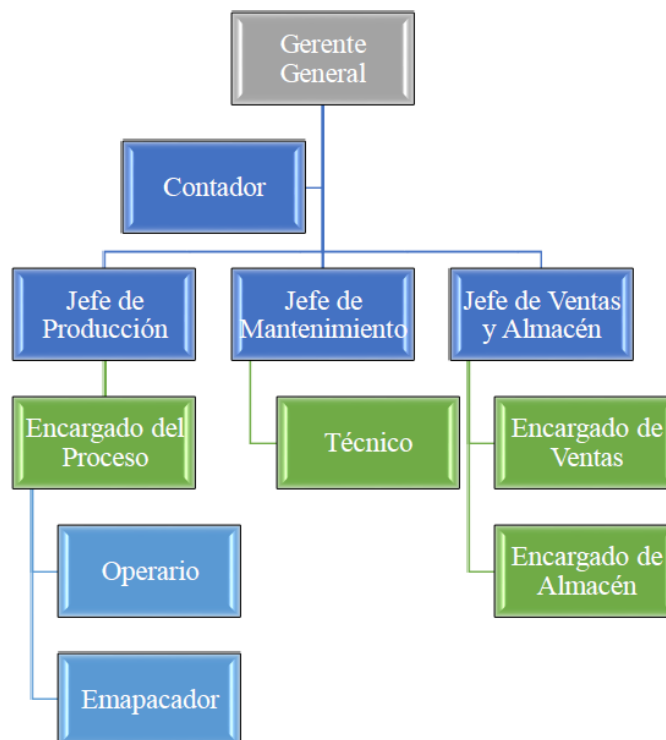
### III. RESULTADOS

#### 3.1 Diagnóstico de la situación actual de la empresa

##### 3.1.1 Descripción General de la empresa

La empresa de velas es una empresa industrial que se dedica a la producción de velas de cera a través de un método manual acompañado de las maquinas correspondientes para el enfriamiento de la parafina liquida con el fin de la formación de las velas.

- **Datos:**
  - **Tipo de Empresa:** Sociedad Anónima cerrada
  - **Actividad Comercial:** La empresa de velas es una entidad dedicada a la producción de velas en 4 presentaciones, diferenciados por algunas dimensiones, 4L mediana, 4F grande, 4F intermedio, 4F especial.
- **Principales Productos**
  - Velas 4F Grande
  - Velas 4F Especial
  - Velas 4F Luz del Mundo
  - Velas 4L Mediana
- **Organigrama de la empresa**



**Figura N° 1 Organigrama de la empresa de velas**

Fuente: Brindado por la empresa de velas

### 3.1.2 Descripción particular de las áreas de la empresa objeto de análisis

#### Área de producción:

La empresa actualmente cuenta con 20 operarios en todo el proceso de producción, los cuales se dividen en turnos, como lo muestra la tabla N<sup>a</sup> 01

Tabla N<sup>o</sup> 1 Turnos de trabajo en la empresa de velas

Turno	Numero de Operarios	Monto mensual (por cada operario)
Mañana	4 varones	S/ 960
Tarde	4 varones	S/ 960
Mañana y Tarde	12 mujeres	S/ 1 000

Fuente: Brindado por la empresa de velas

Los turnos de producción que tiene la empresa son los siguientes:

Tabla N<sup>o</sup> 2 Turnos de trabajo en la empresa de velas

Días \ Turnos	1 turno	2 turno	3 turno
Lunes a sábado	7 am a 1pm	2 pm a 6 pm	6 pm a 3-4 am

Fuente: Brindado por la empresa de velas

Los principales clientes de la empresa son de diferentes ciudades de Perú, dichas ciudades y la cantidad que demandan se explican en la tabla N<sup>o</sup>03

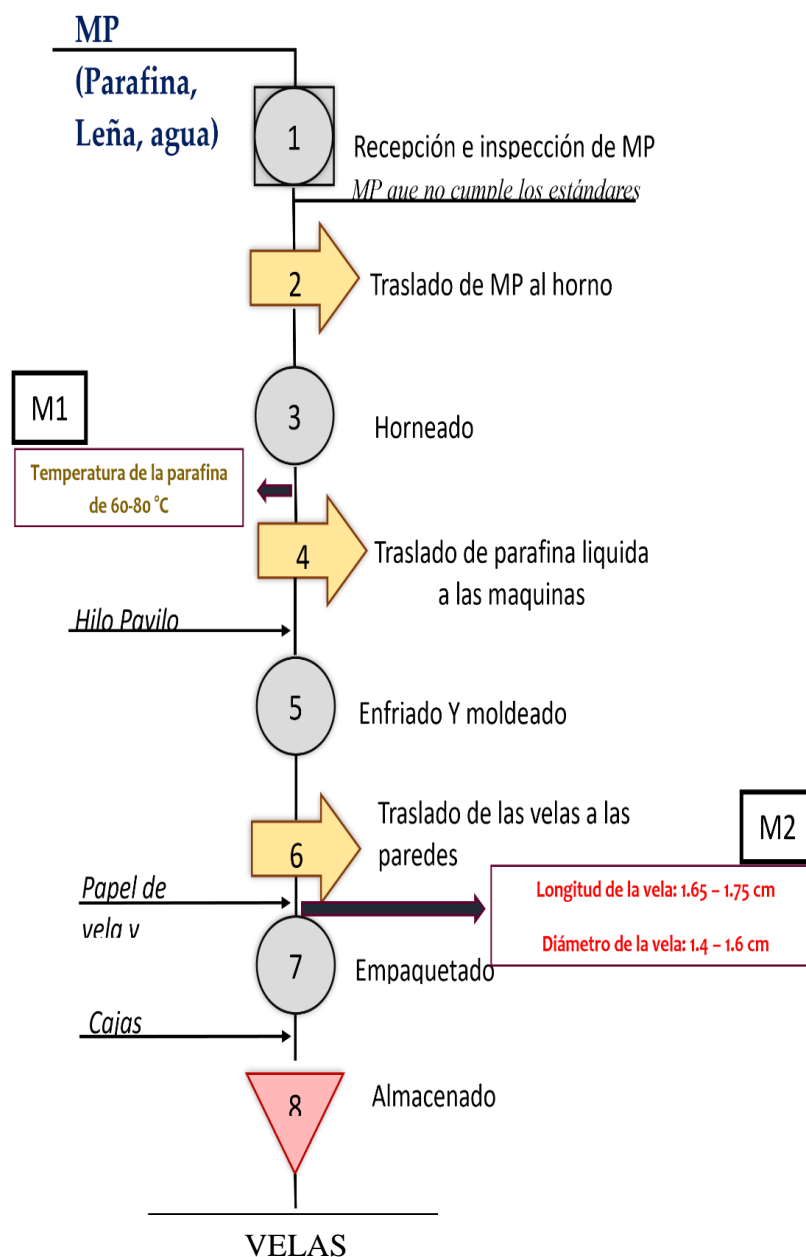
Tabla N<sup>o</sup> 3 Demanda en cajas según los clientes.

Resumen de demanda por cliente	
Piura	30 600
Bagua Grande	9 600
Tumbes	1 200
Bambamarca	2 400
Cajamarca	8 400
Rioja	6 000
Jaén	3 000
Celendín	1 300
Yurimaguas	6 900
San Martin	3 000
Loreto	12 000
Aguas Verdes	1 800
Moyobamba	3 600
Lima	2 000
Chepén	2 400
Chachapoyas	2 400
Nueva Cajamarca	2 400
Chiclayo	31 600

Fuente: Brindado por la empresa de velas

Siendo Chiclayo su principal mercado, con una demanda de 31 600 cajas y 4F grande el tipo de vela más vendido con 73 100 cajas.

El actual proceso productivo de la empresa de velas es general para todos sus productos, es decir, siguen el mismo procedimiento, pero no las cantidades exactas. También se pueden describen los distintos peligros y riesgos que corren los operarios en cada operación. La línea de producción que ellos controlan se ve resumida en el siguiente diagrama de operaciones.



**Figura N° 2 Diagrama de operaciones de procesos (DAP)**

Fuente: Brindado por la empresa de velas

- a) Recepción e inspección de la materia Prima: Se reciben las materias primas principales (parafina sólida, hilo pabilo, cola sintética, etiquetas, cajas) y son dejadas en el almacén.



**Figura N° 3: Leña receptionada**

Fuente: Brindado por la empresa de velas

Tabla N° 4 Peligro y Riesgos del área de recepción.

Peligro	Riesgo
Los palos de leña pueden tener astilla y el operario puede dañarse	Probabilidad de que a un operario se dañe cogiendo un palo de leña

Fuente: Brindado por la empresa de velas



**Figura N° 4 Parafina sólida en sus dos presentaciones (bolsa y caja)**

Fuente: Brindado por la empresa de velas

Tabla N° 5 Peligro y Riesgos del área de recepción.

Peligro	Riesgo
Las cajas y bolsas de parafina apiladas a gran altura se pueden caer	Probabilidad de que a un operario le caiga encima las cajas o las bolsas apiladas

Fuente: Brindado por la empresa de velas



**Figura N° 5 Cajas que se utiliza para empaquetar las velas.**

Fuente: Brindado por la empresa de velas

**Tabla N° 6 Peligro y Riesgos del área de recepción.**

Peligro	Riesgo
Las cajas apiladas a gran altura se pueden caer	Probabilidad de que a un operario le caiga encima las cajas apiladas

Fuente: Brindado por la empresa de velas

- b) Horneado: El horneado es uno de los procesos en los cuales el factor humano no interviene, solo en el caso de la preparación del área de trabajo, que es donde se recoge la parafina sólida, que se encuentra en bolsas o cajas de 4 barras que pesan 5kg cada una aproximadamente, para así proceder a disposición del horno durante 15-20 minutos aproximadamente, tiempo en el que el operario no realiza otra actividad, en algunos casos, arregla los moldes exteriores.



**Figura N° 6 Operarios abasteciendo el horno con parafina solida**

Fuente: Brindado por la empresa de velas

Tabla N° 7 Peligro y Riesgos del área de horneado.

Peligro	Riesgo
El operario al abastecer el horno con parafina solida puede quemarse ya que puede salpicar la parafina fundida ( $T^{\circ}=70^{\circ}\text{C}$ ) que se encuentra reposando en el horno	Probabilidad de que un operario tenga daños de quemaduras leves
Los operarios de toda la planta están expuestos al humo que produce la caldera ya que el sistema de calentamiento es a base de leña	La constante exposición de humo de leña aumenta la probabilidad de que los operarios tengan problemas respiratorios hasta un posible cáncer pulmonar.

Fuente: Brindado por la empresa de velas



**Figura N° 7 Operarios sacando uno de los recipientes del horno**

Fuente: Brindado por la empresa de velas

Tabla N° 8 Peligro y Riesgos del área de horneado.

Peligro	Riesgo
Los operarios, como se muestra en la figura N°06, están a una altura de 1.90m y encima de una caldera con parafina fundida a $T^{\circ}=70^{\circ}\text{C}$ exponiéndose a una posible caída dentro del horno o un mal paso de los operarios donde se podrían caer al suelo.	Probabilidad de que el operario que cambie el recipiente del horno pueda dañarse físicamente, ya sea por caída o por una quemadura.

Fuente: Brindado por la empresa de velas

- c) Enfriado y moldeado: En esta operación, el operario tiene un balde que le permite trasladar la parafina fundida a la máquina de velas para su posterior enfriado y moldeado, este proceso dura aproximadamente 15 minutos, tiempo en el cual el operario espera y no realiza actividad alguna, dicho tiempo puede ser aprovechado

para realizar alguna otra actividad, como lo es la limpieza de la zona de trabajo o empaquetado del producto terminado.



**Figura N° 8 Operario manipulando el caño del horno para obtener parafina líquida**

Fuente: Brindado por la empresa de velas

Tabla N° 9 Peligro y Riesgos del área de enfriado y moldeado.

Peligro	Riesgo
El caño de la caldera se puede dañar y generar una fuga de parafina líquida que provocaría quemaduras al operario	Probabilidad de que el operario sufra una quemadura.

Fuente: Brindado por la empresa de velas



**Figura N° 9 Abasteciendo la máquina de velas con parafina líquida a Temperatura de 70°C**

Fuente: Brindado por la empresa de velas

Tabla N° 10 Peligro y Riesgos del área de enfriado y moldeado.

Peligro	Riesgo
El operario al colocar la parafina líquida a la máquina con un balde se expone a una quemadura a través del balde de metal.	Probabilidad de que el operario sufra una quemadura.

Fuente: Brindado por la empresa de velas



**Figura N° 10 Cortando los sobrantes de la máquina de velas.**

Fuente: Brindado por la empresa de velas

Tabla N° 11 Peligro y Riesgos del área de enfriado y moldeado.

Peligro	Riesgo
El operario corta los sobrantes de parafina que se encuentra en la máquina con un objeto afilado, lo cual puede causar un corte en sus brazos.	Probabilidad de que el operario sufra un accidente de corte

Fuente: Brindado por la empresa de velas

- d) **Empaquetado:** Culminado la espera del enfriado, el operario a través de un molde exterior transporta las velas al área de empaquetado donde otro operario los empaca por caja, dichas cajas tienen 20 bolsas, dichas bolsas tienen 12 velas.



**Figura N° 11 Operario dejando las velas en el área de empaque**

Fuente: Brindado por la empresa de velas



**Figura N° 12 Operario dejando las velas en el área de empaque**

Fuente: Brindado por la empresa de velas



**Figura N° 13 Operarios empaquetando las velas**

Fuente: Brindado por la empresa de velas

Tabla N° 12 Peligro y Riesgos del área de empaquetado.

Peligro	Riesgo
Los operarios del área de empaque tienen una posición erguida al empezar su turno y durante el tiempo que están parados (8 horas) su posición se encorva pudiendo dañar la columna del operario	Probabilidad de que el operario sufra desviación de la columna
El operario que deja las velas en el área de empaquetado carga el molde (figura N°13) que tiene un peso aproximado de 4 kg cada 40 minutos que demora todo el proceso de fabricación de velas	Probabilidad de que el operario sufra una fractura en el hombro

Fuente: Brindado por la empresa de velas

- e) Almacenado: Lo que producen al día es almacenado en un área específico para su posterior venta.



**Figura N° 14 Velas almacenadas**

Fuente: Brindado por la empresa de velas

Tabla N° 13 Peligro y Riesgos del área de almacenamiento.

Peligro	Riesgo
Las cajas apiladas de velas producidas son relativamente altas (aproximadamente 2.5 metros) pueden caerse dañando a los operarios de empaque que se encuentran más cerca de estos	Probabilidad de que el operario sufra un accidente por la caída de las cajas encima de este.

Fuente: Brindado por la empresa de velas

La actividad más riesgosa durante el proceso productivo es cuando el operario tiene contacto con el líquido a una temperatura elevada, exponiéndose a una quemadura y a su vez a un pago de una multa elevada, según [19] la empresa de velas es una pequeña empresa que según la cantidad de operarios afectados tendrá que pagar ciertas cantidad de dinero a estos mismos.

Se presenta un cuadro resumen donde se aprecia la cantidad de dinero que se les pagara a los operarios por algún accidente leve, grave o muy grave.

Tabla N° 14 Cantidad de dinero a pagar por accidente

Pequeña Empresa	
Gravedad de la infracción	Número de trabajadores afectados
	<b>1 - 10</b>
Leves	0,20 x UIT del año
Grave	1 x UIT del año
Muy grave	1.70 x UIT del año
1UIT (2020) = 4 300 soles	

Fuente: Sunafil, 2016 [19]

Asimismo, se desarrolló un estudio de tiempos con el fin de analizar los tiempos en los cuales solo la maquina trabaja y el operario no realiza ninguna otra actividad. Para este estudio de tiempos, se desarrolló un diagrama hombre-máquina.

Tabla N° 15 Diagrama hombre-maquina

Diagrama hombre-maquina					
Operación	Fundido, enfriado y moldeado de las velas				
Maquina tipo	Máquina de velas y horno				
Área	de producción				
Operador		Horno/caldera		Máquina de velas	
Descripción	Escala de tiempo (min)	Descripción	Escala de tiempo (min)	Descripción	Escala de tiempo (min)
Carga y descarga	04:46				
Camino al horno	02:00				
		Fundir la parafina solida	15:00		
Carga y descarga	00:30				
Camino a la máquina de velas	00:40				
				Enfriado y moldeado de la parafina liquida	15:00
Corte de excesos	00:45				
Corte del hilo pabilo	00:45				
Colocar moldes exteriores para las velas	00:13				
Colocar las velas en el molde exterior	02:03				
Transporte del molde exterior al área de empaque	00:43				
TOTAL DE MINUTOS	12:25	TOTAL DE MINUTOS	15:00	TOTAL DE MINUTOS	15:00

Fuente: Brindado por la empresa de velas

## RESUMEN

### Tiempos establecidos en minutos

Tiempo de Ciclo (operador) = 42:25

Tiempo de ciclo (horno/caldera) = 42:25

Tiempo de ciclo (Maquina de velas) = 42:25

Tiempo de acción (operador) = 12:25

Tiempo de acción (horno/caldera) = 15:00

Tiempo de acción (Maquina de velas) = 15:00

Tiempo de ocio (operador) = 30:00

Tiempo de ocio (horno/caldera) = 27:25

Tiempo de ocio (Maquina de velas) = 27:25

Tiempo de utilización (operador) = 71.01%

Tiempo de utilización (horno/caldera) = 35.50%

Tiempo de utilización (Maquina de velas) = 35.50%

Dentro del proceso de producción de velas se puede observar que la mayor parte del tiempo de utilización lo poseen las maquinas (T=15 minutos), es decir, el operador tiene bastante tiempo de ocio, como se parecía en el resumen, de 30 minutos dentro del proceso, dicho tiempo puede emplearse para realizar otra actividad que genere valor a la empresa, ya sea limpieza o formar parte del área de empaquetado.

Asimismo, En la figura 15 se presenta el diagrama pictórico del proceso de producción de las velas y en la figura 16 el diagrama de flujo en bloques del proceso mencionado.

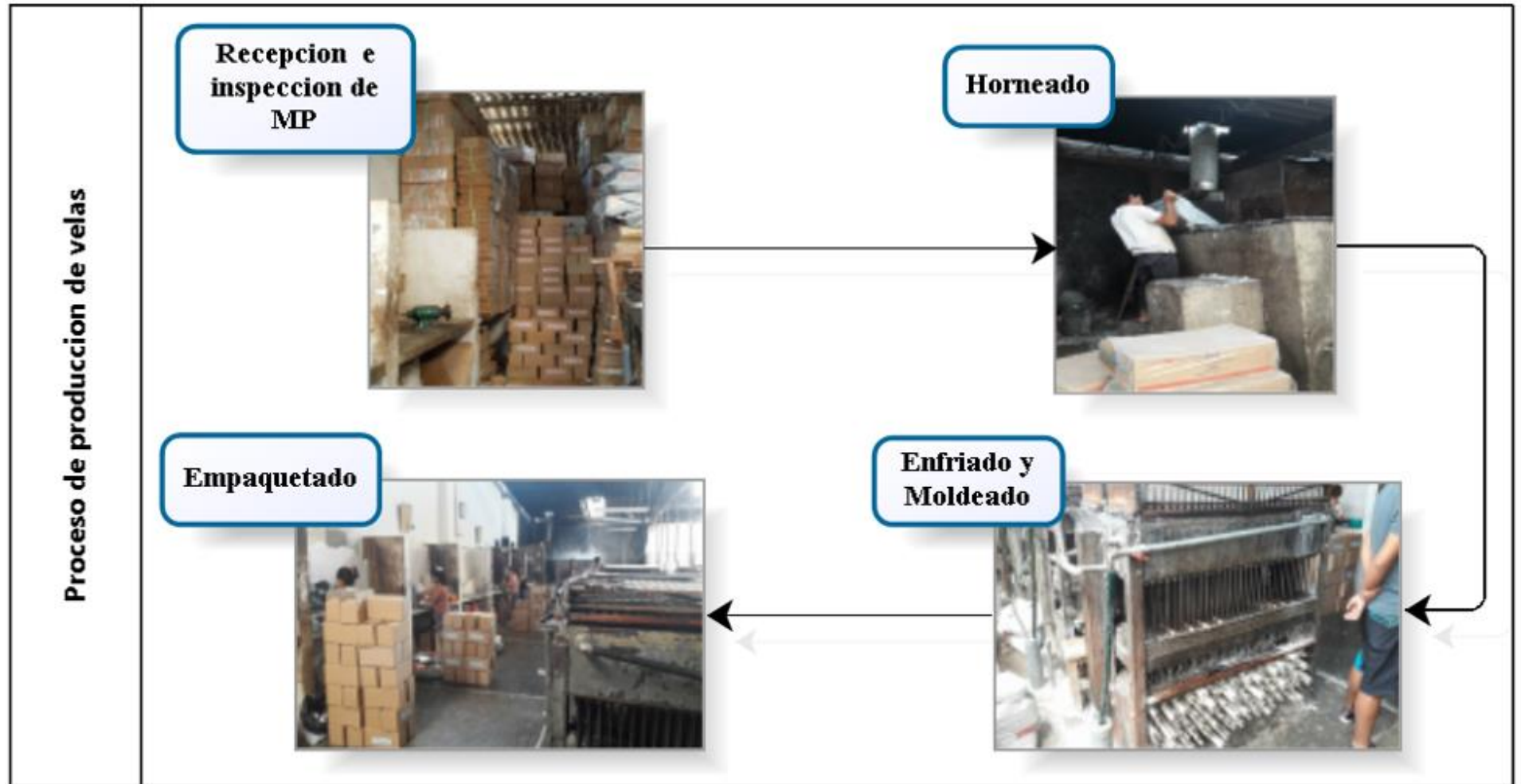
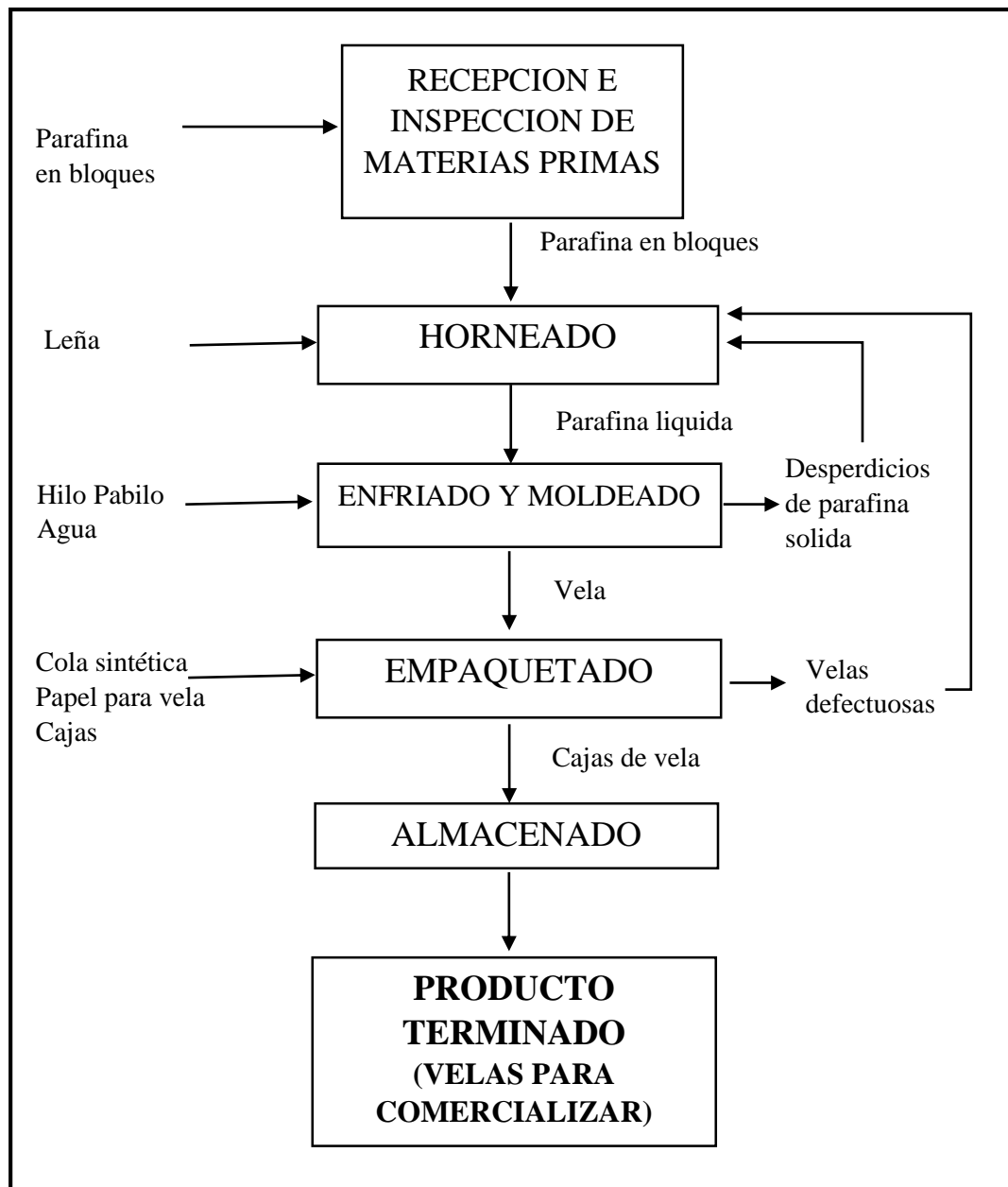


Figura N° 15 Diagrama pictórico del proceso de producción de velas.

Fuente: Brindado por la empresa de velas



**Figura N° 16 Diagrama de flujo en bloques del proceso de producción de velas.**

Fuente: Brindado por la empresa de velas

Los 4 tipos de velas se realizan con el mismo proceso pero en máquinas diferentes por lo que, cada vela tiene cierto número de máquinas destinadas a su producción, esta investigación se centrará en los dos procesos fundamentales, el primero es el horneado donde se requiere una estandarización en la llama que alimenta el horno para que esta lo mantenga a una temperatura estable y el segundo proceso es el de enfriado y moldeado, que de la misma manera requiere una estandarización con el agua para que el enfriado reduzca su tiempo de espera, también para se toma este

proceso para analizar la cantidad necesaria de parafina líquida que requiere la máquina de velas.

Cabe recalcar en la investigación que la parafina es considerado como un OPDH (otros productos derivados de los hidrocarburos) ya que en [20] menciona que son productos que son derivados de hidrocarburos pero no deben utilizarse para la generación de energía por medio de combustión, y que son comercializados.

### **3.1.3 Diagnósticos por causas**

El problema de la baja productividad de la empresa se da por los reprocesos por los errores humanos, que se generan en las diferentes etapas del proceso y por la falta de control dentro de sus procesos.

#### **A. Reprocesos**

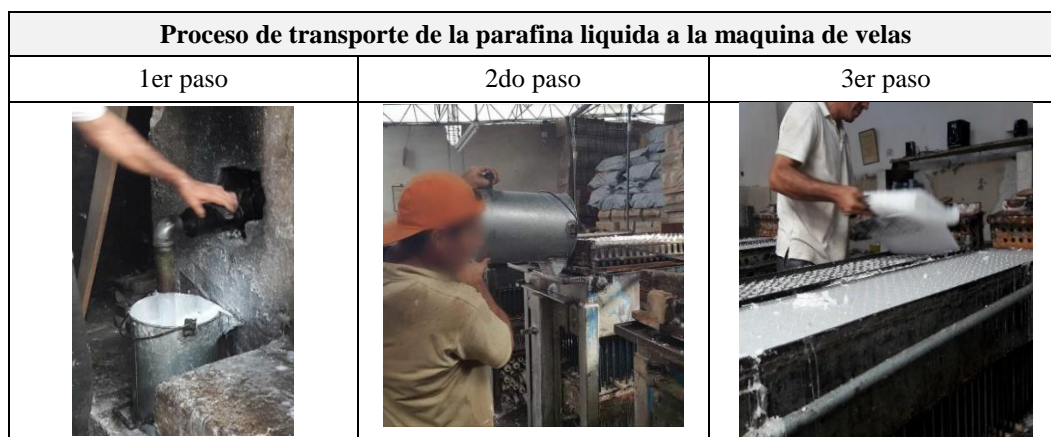
**Causa:** Errores del operario al manipular la máquina de velas

**Evidencias:**

El operario encargado de dos de los procesos más importantes, horneado y enfriado debe ser capacitado en el uso de la máquina de velas y tener experiencias en las mismas.

Los operarios cuando transportan la parafina líquida a la máquina de velas causan un exceso el cual se convierte en parafina reprocesada.

Esta operación de transporte inicia con el llenado de un balde de acero, como se aprecia en el primer paso en la figura N° 17, en donde es evidente la falta de estandarización ya que el operario, por experiencia, calculan la cantidad que la máquina de velas necesita pero nunca lo hacen debidamente y esto genera muchos residuos, como se muestra en el tercer paso en la figura N°17, tal que la cantidad excesiva de parafina que se le proporciona a la maquina es gran parte de la cantidad de parafina que es reprocesada.



**Figura N° 17 Pasos en el proceso de transporte de parafina liquida**

Fuente: Brindado por la empresa de velas

La falta de estandarización en la cantidad de parafina liquida que se necesita para alimentar la máquina de velas se denota en la cantidad de parafina liquida excesiva que se genera, como se muestra en la tabla N° 16.

**Tabla N° 16 Cantidad de parafina liquida excesiva**

Lote	Cantidad en litros con la que se alimenta la maquina	Cantidad en litros que requiere la maquina	Cantidad en litros de exceso de parafina liquida
1	4,2 L	3,8 L	0,4 L
2	4,3 L	3,8 L	0,5 L
3	4,1 L	3,8 L	0,3 L
4	4,2 L	3,8 L	0,4 L
5	4,1 L	3,8 L	0,3 L
6	4,2 L	3,8 L	0,4 L
7	4,3 L	3,8 L	0,5 L
8	4,4 L	3,8 L	0,6 L
9	4,2 L	3,8 L	0,4 L
10	4,3 L	3,8 L	0,5 L
11	4,3 L	3,8 L	0,5 L

Fuente: Brindado por la empresa de velas

Durante el primer turno se tomó una muestra de la cantidad (en litros) de parafina liquida con la que el operario alimenta a la máquina de velas, el operario por experiencia calcula la cantidad que la maquina necesita, y siempre hay sobrante, se necesita estandarizar esta cantidad.

Según el análisis que se realizó durante un turno se puede reprocesar hasta 4.8 L de parafina liquida el cual representa que con el sobrante se puede alimentar otra máquina y dejar un sobrante de 1 L.

La empresa ha tenido casos con personas que recién entran a laburar, en los primeros días no manipulan bien los hilos y los moldes exteriores, por ello la persona con más tiempo en el puesto es quien capacita a esta(s) persona(s).

Capacitar a las personas no significa que estas no comentan estos errores, ya que se siguen observando estas incidencias, que afecta al proceso productivo, se toma un tiempo dentro de este para ser acomodado/arreglado y continuar con normalidad.

Tabla N° 17 Tiempo de demora en arreglar los hilos en la máquina de velas

Causa	Tiempo (min)	Frecuencia
El hilo se termino	8	Semanal
Se soltó la atadura del hilo	5	Semanal
El hilo no entro al molde	5	Semanal

Fuente: Brindado por la empresa de velas

En la tabla N° 17 se muestra los problemas que afrontan los operarios por una mala manipulación de la máquina, el tiempo del primer problema se alarga a 8 minutos ya que los hilos pabilos para colocar en la maquina se encuentran en un cuarto que queda fuera del área de producción y este tiempo se puede disminuir con una mejor distribución de esta materia prima. Hay un antecedente en este cambio, el cual es que mientras la vela estaba enfriando, un molde no tenía hilo pabilo, se había acabado y esa vela fue reprocesada.

El segundo problema es un poco más complicado con respecto a las acciones que se debe realizar ya que el operario debe tener mucho cuidado con esto ya que si no está atento puede que varias velas salgan sin hilo, es recurrente que cuando el operario observa que un hilo está por terminarse y la maquina esta con velas enfriando, este saque el rollo de hilo que está por terminar y hace una pequeña atadura con el nuevo rollo para que la maquina siga funcionando con normalidad. Lo explicado es cuando el operario se da cuenta, pero cuando este no se da cuenta puede que uno de los moldes no cuente con hilo pabilo y siga así por numerosos lotes, así que produciría un producto defectuoso que será reprocesado.

También se encuentra otro problema que no depende de mayor parte del hilo pabilo, si no de la temperatura de la parafina liquida con la que se alimentó la máquina, ya que si la temperatura es la adecuada la cohesión del hilo y la parafina es mucho más fuerte que cuando la temperatura de la parafina está por debajo de lo adecuado (75°C - 80°C).

Dentro de los problemas que causan el reproceso se encuentra el mal manejo de los operarios en el momento de cortar los excesos de parafina, son diversos los casos que se dan cuando un operario corta un pedazo de vela y termina deformándola, siendo que esta sea contada como vela en mal estado y sea mandada a reproceso, también cuando una vela tiene el hilo mal colocado es reprocesada. Otro problema es cuándo se forman las paredes de velas (se les llama así a las velas apiladas en la pared) llevan tiempo y llegan a aplastar a algunas velas que se encuentran en la parte inferior. Para el análisis de los diversos defectos que llevan a la vela a un reproceso se realizara un diagrama de Pareto con el fin de observar cual es defecto más recurrente dentro de este proceso.

Para realizar el diagrama de Pareto se toma como muestra las velas procesadas durante un mes, se analizaron 440 velas reprocesadas de los cuales se tomaron defectos comunes, los cuales fueron:

Tabla N° 18 Defectos de velas reprocesadas

Tipo de defecto	Numero de velas
Rotura	187
Mal terminación	138
Aplastamiento	115
Otros defectos	0
	440

Fuente: Brindado por la empresa de velas

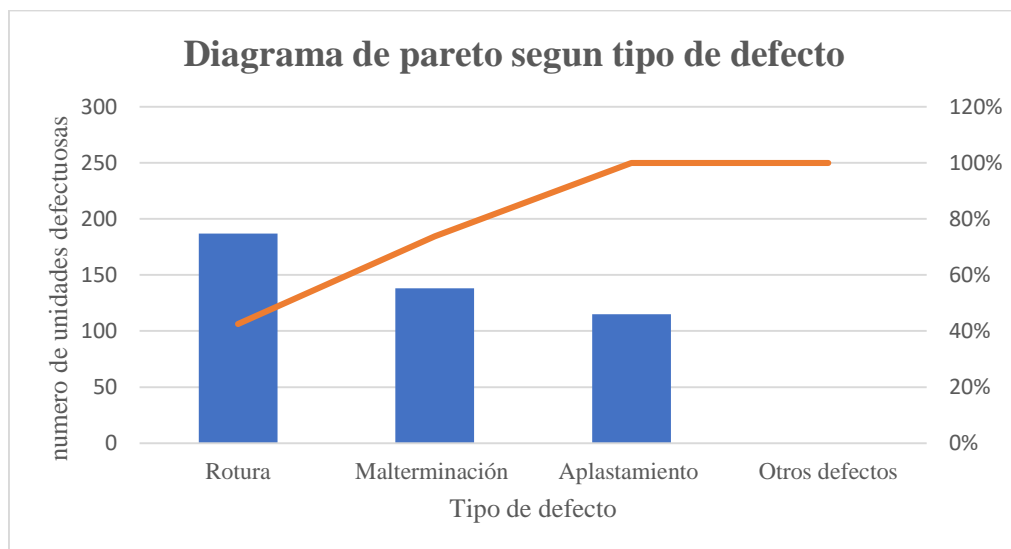


Figura N° 18 Diagrama de Pareto según el tipo de defecto de las velas.

Fuente: Brindado por la empresa de velas

Se llega a la conclusión, por el análisis realizado en la tabla N° 18 y figura N°18 de que el defecto más común dentro de las velas reprocesadas es la rotura de estas,

este problema de rotura se da por tres razones, la primera es por un corte realizado de una manera deficiente por parte del operario, la segunda es cuando el operario deja las velas en el área de empaquetado, como se muestra en la figura 18, aplica su fuerza para que las velas salgan del molde exterior y la vela se rompe porque de manera consecuyente caen diferentes velas encima de esta, la tercera razón es porque no se enfrió adecuadamente y la vela no tiene la consistencia adecuada es por lo que cuando el operario trata de empaquetarlo lo rompe con facilidad.



**Figura N° 19 Operario dejando las velas en el área de empaquetado**

Fuente: Brindado por la empresa de velas

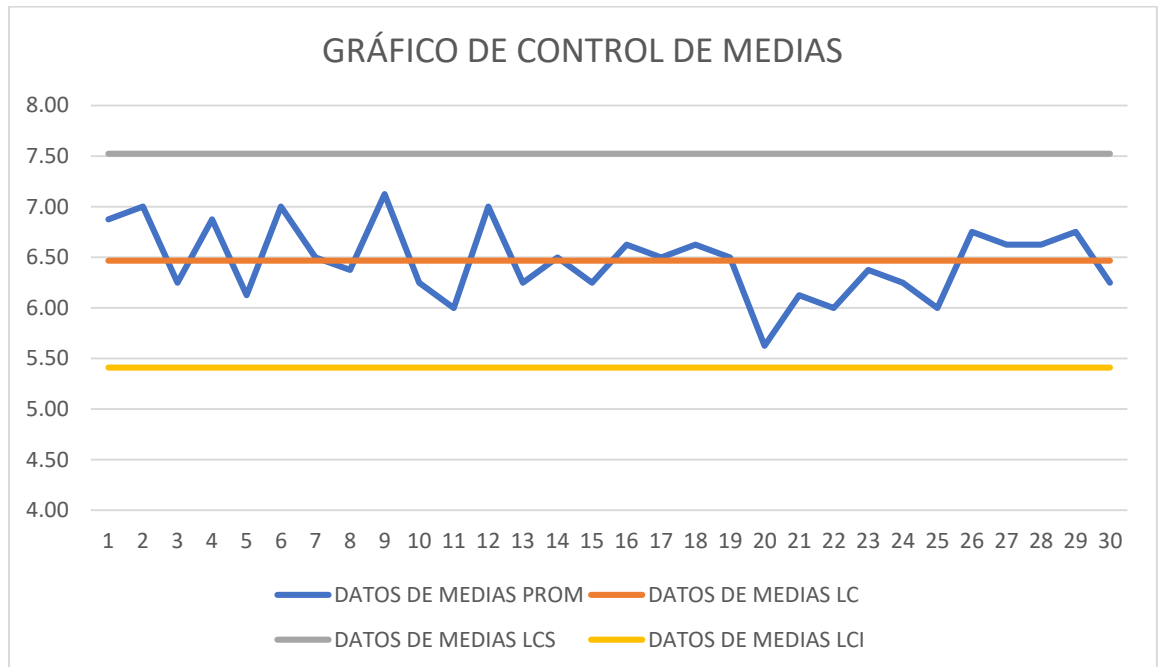
Para demostrar la cantidad de velas reprocesadas durante un mes se tomó muestras durante el primer turno, dentro de este turno se analizó las 8 primeras veces que produjeron velas, la toma de datos se presenta a continuación en la tabla N° 19

Tabla N° 19 Data de velas reprocesadas durante el mes de abril del 2018

Fecha	Maquina							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1-Abr	6	7	8	6	8	7	6	7
2-Abr	7	6	5	7	8	8	8	7
3-Abr	5	8	7	5	7	6	6	6
4-Abr	5	8	8	6	6	7	7	8
5-Abr	5	6	7	7	5	7	6	6
6-Abr	7	8	6	7	8	8	7	5
7-Abr	7	6	7	7	8	7	5	5
8-Abr	5	5	8	6	8	5	8	6
9-Abr	6	6	7	7	7	8	8	8
10-Abr	5	5	8	8	6	5	6	7
11-Abr	7	6	5	6	6	5	7	6
12-Abr	5	8	8	6	8	7	6	8
13-Abr	8	5	6	7	8	5	6	5
14-Abr	5	8	5	6	8	7	6	7
15-Abr	5	7	8	6	6	6	5	7
16-Abr	7	5	7	8	8	5	7	6
17-Abr	8	8	5	5	8	6	5	7
18-Abr	5	6	7	8	5	6	8	8
19-Abr	8	5	8	5	8	5	7	6
20-Abr	5	5	5	7	5	7	5	6
21-Abr	6	8	6	7	5	5	5	7
22-Abr	5	6	5	6	6	5	7	8
23-Abr	7	8	5	6	6	6	6	7
24-Abr	6	6	5	8	7	6	7	5
25-Abr	5	5	5	8	5	5	8	7
26-Abr	8	8	6	6	5	7	7	7
27-Abr	6	5	8	8	7	8	6	5
28-Abr	6	7	7	7	5	6	8	7
29-Abr	7	5	7	7	7	7	8	6
30-Abr	6	8	8	5	5	7	5	6

Fuente: Brindado por la empresa de velas

Con esta base de datos se realizó gráficos de control donde se puede analizar la situación actual de las velas reprocesadas, para empezar con el análisis, se encontraron 460 velas reprocesadas dentro de este mes, donde se analizará su variabilidad.



**Figura N° 20 Grafico de control de medias de velas reprocesadas**

Fuente: Brindado por la empresa de velas

El promedio de velas reprocesadas durante un lote es 6,47, como se muestra en la figura N°20, es decir de 256 velas, habrá 6 velas que serán reprocesadas. Entonces en un día, en una condición ideal, se realizan 132 veces la producción en las maquinas repartidos en dos turnos, se encontrarán 792 velas para reproceso. Si llevamos esto a una cantidad anual de velas reprocesadas, encontraremos que al año se reprocesan 228 096 velas como se muestra en la tabla N°20.

**Tabla N° 20 Velas reprocesadas en el transcurso del tiempo**

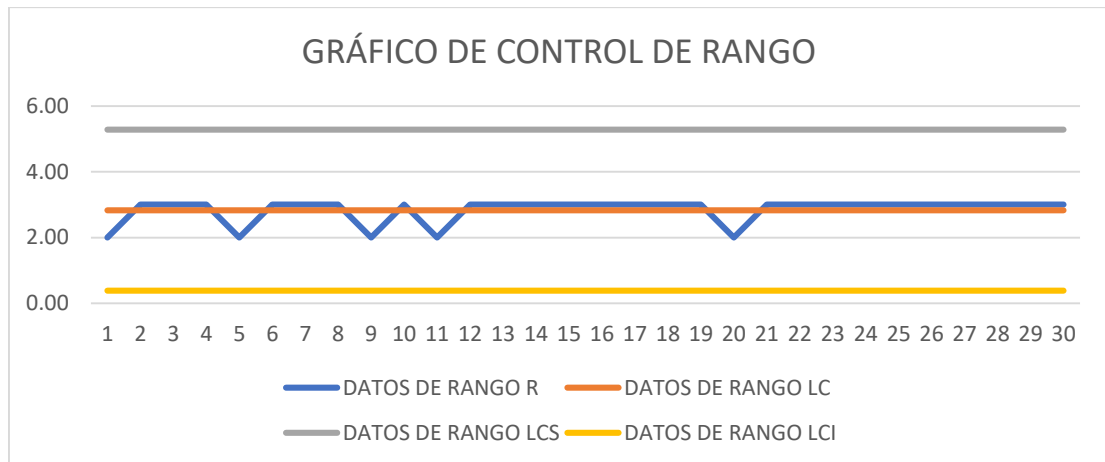
Tiempo	Velas Reprocesadas
Diario	792
Semanal	4 752
Mensual	19 008
Anual	228 096

Fuente: Brindado por la empresa de velas

Se aclara que, a la semana, la empresa trabaja de lunes a viernes de doble turno y el sábado solo un turno.

Lo analizado demuestra que el proceso actual que la empresa lleva a cabo es deficiente, ya que los diferentes errores humanos llevan a la empresa a un

reproceso de 228 096 velas anuales, lo cual se define en pérdida de tiempo, perdida de dinero, entre otras cosas.





**Figura N° 21 Grafico de control de rango de velas reprocesadas**



Fuente: Brindado por la empresa de velas

El grafico de control de rango, la figura N°21, nos permite observar la variación que tiene la media de velas reprocesadas, es decir las 6 velas que serán reprocesadas tiene un rango de  $2,83 \approx 3$ , podría en una maquina tener desde 3 velas reprocesadas a 9 velas reprocesadas.

En resumen, en las diferentes actividades que se realizan en todo el proceso encontramos puntos críticos donde el operario ya se por la no estandarización o por no tener capacitaciones realiza una mal maniobra y produce velas reprocesadas esas actividades que se mencionan están presentadas en la tabla N° 21.

**Tabla N° 21 Actividades generadoras de velas reprocesadas**

Proceso	Actividad	Razón	Imagen
Horneado	El traslado de la parafina liquida a las maquinas	Falta de estandarización, el operario traslada un excedente de parafina que luego regresa al horno.	
Enfriado y Moldeado	La incorrecta manipulación del molde exterior.	Falta de capacitación y maquinaria antigua, el operario al colocar el molde exterior, en algunos casos, lo coloca de una manera incorrecta	

		tal que cuando las velas salen de las maquinas se aplastan con el molde y se convierte en una vela para reproceso.	
	La incorrecta posición del hilo pabilo	El operario coloca manualmente el hilo pabilo, cuando es colocado de manera incorrecta, la vela es reprocesada y el hilo pabilo de esa vela es desechada.	
Empaquetado	Acomodar las velas en el empaque	El operario al organizar las velas para colocarlas en el empaque lo manipula de una manera incorrecta y este lo rompe/dobla y se crea una vela para reproceso	

Fuente: Brindado por la empresa de velas

### Indicador:

El indicador para esta causa es el FTT (First Time Through o piezas bien a la primera). Es un indicador que nos mostrara el porcentaje de piezas que fueron producidas bien a la primera, sin reproceso alguno.

El valor ideal en un proceso es el de 100% ya que significaría que ninguna vela fue reprocesada. Si el valor es menor al 100% significa que hay procesos que se entiende como perdida del factor dinero y tiempo, afectando directamente a la rentabilidad de la empresa.

Se calculará el FTT del proceso, para ello se tomarán las muestras de la maquina 5 obtenidas en el mes de abril como representación, en la tabla 22 se resume todas las velas producidas a la primera y las velas reprocesadas

Tabla N° 22 Unidades reprocesadas en el mes de abril.

Fecha	Unidades de velas a la primera	Unidades reprocesadas	Velas totales producidas	% de velas reprocesadas
1-Abr	248	8	256	3,1
2-Abr	248	8	256	3,1
3-Abr	249	7	256	2,7
4-Abr	250	6	256	2,3
5-Abr	251	5	256	2,0
6-Abr	248	8	256	3,1
7-Abr	248	8	256	3,1
8-Abr	248	8	256	3,1
9-Abr	249	7	256	2,7
10-Abr	250	6	256	2,3
11-Abr	250	6	256	2,3
12-Abr	248	8	256	3,1
13-Abr	248	8	256	3,1
14-Abr	248	8	256	3,1
15-Abr	250	6	256	2,3
16-Abr	248	8	256	3,1
17-Abr	248	8	256	3,1
18-Abr	251	5	256	2,0
19-Abr	248	8	256	3,1
20-Abr	251	5	256	2,0
21-Abr	251	5	256	2,0
22-Abr	250	6	256	2,3
23-Abr	250	6	256	2,3
24-Abr	249	7	256	2,7
25-Abr	251	5	256	2,0
26-Abr	251	5	256	2,0
27-Abr	249	7	256	2,7
28-Abr	251	5	256	2,0
29-Abr	249	7	256	2,7
30-Abr	251	5	256	2,0
	7220	199	7 680	2,6

Fuente: Brindado por la empresa de velas

Se presentan las unidades de velas hechas a la primera, las cuales serán empaquetadas y distribuidas para su posterior venta y las unidades que se excluyen del proceso para ser reprocesadas.

$$FTT = \frac{7\ 680 - 199}{7\ 680} = 97,41\%$$

El 97,41% de las velas producidas fueron hechas bien a la primera. La propuesta de automatización se da, como uno de los muchos motivos, para elevar este indicador al 100% ya que un proceso automatizado tendrá una precisión mucha mayor a la de un operario y de una manera estable.

El segundo indicador para esta causa es la saturación del operario, esto se menciona porque el operario durante todo el turno de trabajo debe realizar todo el trabajo, colocar la parafina a la caldera, recoger en un balde la parafina líquida para posteriormente llevarla a la máquina de velas donde la carga manualmente con el balde, posteriormente después del moldeado, usa una manija para elevar el molde de velas, posterior a eso lleva el molde hacia el área de empaque, el operario carga el molde en sus hombros. Mediante el diagrama hombre maquina (Tabla N° 15) podemos analizar la saturación del operario.

$$\text{Saturación del operario} = \frac{\text{Tiempo productivo del operario}}{\text{Tiempo de ciclo}} \times 100$$

$$\text{Saturación del operario} = \frac{12,25}{42,25} \times 100$$

$$\text{Saturación del operario} = 28,99\% \approx 29\%$$

Además, se puede calcular la productividad que se tiene actualmente, esta se verá afectada por el pasar del tiempo ya que la saturación del operario nos lo da a entender.

$$\text{Productividad Mano de Obra} = \frac{\text{Piezas fabricadas}}{\text{Tiempo}_{\text{fabricación}} \times \# \text{ de operarios}} \times 100$$

Tabla N° 23 Productividad mano de obra

Horario	Total de unidades promedio de velas	# Operarios	Productividad de mano de obra
07:00-08:00	251	1	251
08:00-09:00	249	1	249
09:00-10:00	249	1	249
10:00-11:00	249	1	249
11:00-12:00	251	1	251
12:00-13:00	248	1	248
13:00-14:00	250	1	250
14:00-15:00	251	1	251
15:00-16:00	250	1	250
16:00-17:00	249	1	249

17:00-18:00	247	1	247
18:00-19:00	250	1	250
19:00-20:00	248	1	248
20:00-21:00	249	1	249
21:00-22:00	250	1	250
22:00-23:00	249	1	249
23:00-24:00	248	1	248
24:00-01:00	249	1	249
01:00-02:00	250	1	250
02:00-03:00	250	1	250
03:00-04:00	248	1	248
Total	5235	1	2491

Fuente: Brindado por la empresa de velas



**Figura N° 22 Productividad de mano de obra**

Fuente: Elaboración propia

En días:

$$Productividad (MO) = \frac{5\ 235}{1\ dia * 1\ operario} = 5235 \frac{unidades}{dia\ hombre}$$

En horas:

$$Productividad (MO) = \frac{5\ 235}{5,63\ turno * 1\ operario} = 614,44 \frac{unidades}{turno\ hombre}$$

Si en 5.63 h el operario debe realizar 2048 velas, la productividad se refleja en 30%2

### Impacto Económico:

El reproceso de una vela no solo significa que vamos a hacer el producto de nuevo, si no que se refiere a consumir más tiempo para obtener esa vela y además es un costo para la empresa. Para el cálculo de este costo se utilizará 3 cosas: Los datos de la tabla N° 25, el tiempo estándar del proceso y el pago al operario.

El tiempo estándar del proceso actual de enfriado y moldeado se puede encontrar en el diagrama hombre maquina (Tabla N°15, página 28) es 15 minutos.

El pago del operario es 960 soles mensual, lo que equivale a 240 soles semanales, 34,28 soles diarios, que significa 0,00119027 soles por segundo.

El porcentaje de velas reprocesadas es de 2,6% (tabla N°22)

La relación de los datos para hallar el costo del reproceso seria:

$$\text{Costo por reproceso} = \text{Unidades reprocesadas} \times \text{Tiempo de ciclo} \times \text{Pago de operario por segundo}$$

Tabla N° 24 Costo por piezas reprocesadas.

Producción del 2018		Unidades reprocesadas promedio (Producción x 2,6%)	Tiempo (min)	Costo por reproceso
Enero	30 720	234	14 040	3 910,46545
Febrero	30 720	234	14 040	3 910,46545
Marzo	49 152	234	14 040	3 910,46545
Abril	49 152	338	20 280	8 158,87235
Mayo	49 152	260	15 600	4 827,73512
Junio	36 864	260	15 600	4 827,73512
Julio	36 864	260	15 600	4 827,73512
Agosto	36 864	312	18 720	6 951,93857
Setiembre	36 864	312	18 720	6 951,93857
Octubre	49 152	338	20 280	8 158,87235
Noviembre	49 152	260	15 600	4 827,73512
Diciembre	49 152	234	14 040	3 910,46545
Total	503 808	3 276	196 560	65 174,4241

Fuente: Brindado por la empresa de velas

En resumen, se reprocesaron un total de 3 276 velas, cuyo costo de reproceso fue de 65 174 soles en un año.

El costo de reproceso por mes es elevado, se podría realizar otras actividades con este dinero o la compra de unas máquinas mejores para el proceso, dicho problema de reproceso seria solucionado con un proceso automatizado el cual asegura calidad, precisión y la eliminación de productos para reprocesar.

## B. Falta de control

**Causa:** Métodos de trabajo sin estandarizar

**Evidencia:**

Dentro del proceso productivo para la producción de velas se encuentran dos actividades donde el operario no interviene y son el proceso de horneado y el proceso de enfriado y moldeado, dichas actividades son las que más valor le dan al producto final ya que es donde se funde la parafina y se vierte al molde para obtener la vela. En el diagrama hombre maquina (tabla 15, página 28) se observa que el proceso de horneado tiene un tiempo de 15 minutos y el proceso de enfriado y moldeado 15 minutos. El tiempo mencionado (30 minutos) es el tiempo ocioso que tiene el operario, y la empresa paga por ello. Estos tiempos elevados se dan por dos razones, las cuales son:

- La cantidad de llama que se le administra al horno
- El tiempo en el que la parafina líquida se enfría

Esto se da porque las operaciones no cuentan con un tiempo estandarizado, solo se realiza por la experiencia de los operarios.

En la cantidad de llama que se le administra al horno, influye mucho la fuente de calor, que en este caso es leña, ya que el operario no sabe la cantidad exacta de leña que se necesita para llegar a los 75° - 80°C, temperatura en la cual la parafina líquida tiene un comportamiento más adherente con el hilo pabilo y no se produzca un producto defectuoso. Con un sistema automatizado es necesario cambiar esta fuente de calor, ya que, produce un impacto negativo al ambiente y además no se puede controlar, cabe recalcar que la cantidad de leña usada diariamente es de 400 kg/día. Esto se representa de la siguiente manera:

Tabla N° 25 Cantidad de leña empleada para el proceso de elaboración de velas

Tiempo	Cantidad de vela (kg/día)
Diario	400
Semanal	2 400
Mensual	9 600
Anual	115 200

Fuente: Brindado por la empresa de velas

En un estudio de realizado por Smith, sobre la contaminación que produce la leña a las personas [21], menciona lo que produce la leña a comparación del GLP, la leña produce 19 gr/mol de monóxido de carbono, 17 g/mol de hidrocarburos, y 26

g/mol de partículas diversas, en cambio el GLP produce 1 g/mol de estas 3 emisiones contaminantes.

La nueva fuente de calor que se recomienda es a gas, para que mediante un computador se pueda aumentar la llama de tal manera que de forma constante brinde una temperatura de 75°C-80°C y disminuya el tiempo de espera.

De la misma manera con el tiempo en el que la parafina líquida se enfría, en el proceso actual se utiliza el agua a temperatura ambiente ( $T=24^{\circ}\text{C}$ ) que brinda el sistema potable de la empresa. Dicho proceso, como ya se mencionó, tiene una duración de 15 minutos, pero ese tiempo puede disminuir mediante la automatización de la máquina, se le proporcionara el agua a una temperatura mucho más baja para que este disminuya el tiempo de espera.

Además, el operario está en constante contacto con el horno y la máquina de velas el cual por una mala manipulación y la inexistencia de elementos de protección personal pueden causar un accidente, generando multas a la empresa las cuales pueden llegar a superar los S/4 000 (Tabla N°14, Página 27). Con la automatización del proceso de elaboración de velas, el operario solo estaría en contacto con el horno (lugar donde procede el más alto grado de temperatura) para colocar la parafina y ya eliminaría el transporte de la parafina hacia la máquina, el contacto que tendría con la máquina se reduciría a acomodar el hilo pabilo de la máquina para que este esté de forma correcta. Esto con el fin de evitar multas y posibles accidentes hacia el operario.

**Indicador:**

El indicador para esta causa es la eficiencia de la máquina, que se entiende como la división del tiempo que se le añade valor al producto entre el tiempo de ciclo total, este valor se representara de manera porcentual. Los datos que se usaran para el desarrollo de este indicador es en base al diagrama hombre maquina (Tabla 15, página 28).

$$\text{Eficiencia de la máquina} = \frac{\text{Tiempo que añade valor al producto}}{\text{Tiempo total de ciclo}} \times 100$$

En donde:

Tiempo que añade valor al producto, se refiere al tiempo que la máquina le añade valor al producto final, que en este caso son 15 minutos para la caldera y 15 minutos para la máquina de velas que realiza el enfriamiento, en este caso se toma

el tiempo de las maquinas con el fin de comparar más adelante este indicador con el sistema ya automatizado que abarcan las dos máquinas.

El tiempo total del ciclo, es el tiempo total de todas las operaciones, que en este caso es 40,65 minutos

$$\text{Eficiencia de la maquina (caldera)} = \frac{15}{40,65} \times 100 = 36,9\%$$

$$\text{ficiencia de la maquina (enfriamiento)} = \frac{15}{40,65} \times 100 = 36,9\%$$

El 36,9% se traduce en que no se está aprovechando la maquina eficientemente y provocando tiempos muertos en donde el operario no realiza ninguna otra actividad y la empresa le paga por ello.

En el sistema automatizado que se propone, se aumentaría la eficiencia de la máquina y se dispondrá del operario para otra actividad ya que los procesos de horneado y enfriado y moldeado serán controlados mediante una computadora, alejando así al operario de cualquier peligro y evitar el pago que se establece por accidentes (Tabla 14, página 27).

### **Productividad**

Recursos en un año

- Mano de Obra: S/ 236 160
- Insumos: S/1 976 237,57
  - Parafina: S/ 1 763 153,68
  - Cajas de papel: S/ 89 984,6
  - Leña: S/ 7 200
  - Pabilo: S/ 34 379,52
  - Cajas: S/ 56 280
  - Etiqueta: S/ 23 040
  - Goma: S/ 2 200,2
- Energía: S/2 832
- Agua: S/12 000

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Producción}}{\text{Recursos}}$$

$$\text{Productividad en un año} = \frac{57\,717 \text{ velas}}{2\,227\,229,57 \text{ soles}}$$

$$\text{Productividad en un año} = 0,025 \text{ velas/soles}$$

La productividad actual de la empresa es del 0,025, es decir por cada sol invertido realizan 0,025 velas.

### Impacto Económico:

Como ya se mencionó el pago del operario es 960 soles mensual, lo que equivale a 240 soles semanales, 34,28 soles diarios, que significa 4 285 soles por hora, y 0,0714 soles por minuto

Si durante el proceso productivo, el tiempo ocioso del operario son 30 minutos según el diagrama hombre maquina (tabla 15, página 28) se obtiene el dinero que la empresa gasta en el operario.

$$\text{Dinero que la empresa gasta} = \text{Tiempo ocioso}(\text{min}) * \text{Pago de operario} \left(\frac{\text{soles}}{\text{minuto}}\right)$$

$$\text{Dinero que la empresa gasta} = 30\text{min} * 0,0714 \frac{\text{soles}}{\text{min}}$$

$$\text{Dinero que la empresa gasta} = 2,142 \text{ soles}$$

La empresa gasta por lote 2,142 soles que al convertirse en gasto al año es

$$\text{Gasto al año por tiempo ocioso} = (\text{dinero por lote} * \text{lote al año})$$

*Gasto al año por tiempo ocioso*

$$= \left(2,142 \frac{\text{soles}}{\text{lote}} * 16 \frac{\text{lote}}{\text{dia}} * 5 \frac{\text{dia}}{\text{semana}} * 4 \frac{\text{semana}}{\text{mes}} * 12 \frac{\text{mes}}{\text{año}}\right) + \left(2,142 \frac{\text{soles}}{\text{lote}} * 8 \frac{\text{lote}}{\text{dia}} * 1 \frac{\text{dia}}{\text{semana}} * 4 \frac{\text{semana}}{\text{mes}} * 12 \frac{\text{mes}}{\text{año}}\right)$$

$$\text{Gasto al año por tiempo ocioso} = 9\ 047,8 \frac{\text{soles}}{\text{año}}$$

La empresa gasta 9 047,8 soles en pagarle al operario por no realizar ninguna actividad productiva, cuando puede pagarle solo a un supervisor de toda la planta para que vigile el sistema automatizado que se propone.

Finalmente, en la tabla N° 26, se resumirá las causas con sus indicadores respectivos para su posterior comparación con la implementación del sistema automatizado.

Tabla N° 26 Indicadores de las causas analizadas.

Causa	Indicadores
Errores del operario al manipular la máquina de velas	FTT = 94,01%
Métodos de trabajo sin estandarizar	Eficiencia de la maquina = 73,80%
Disminución de productividad por falta de control en la producción	Productividad= 0,025

Fuente: Brindado por la empresa de velas

### **3.2 Diseño del sistema automatizado para el proceso productivo de las velas en la empresa de velas**

Para el desarrollo de los diferentes problemas que se demostraron anteriormente, se presenta un diseño del sistema automatizado para el proceso productivo de las velas, en donde se analizara las alternativas más óptimas, es por eso por lo que se tratara de ser minucioso en la explicación, así como en la demostración del funcionamiento del sistema propuesto. Este sistema se propone con el fin del cumplimiento del objetivo del presente trabajo, aumentar la productividad de la producción de velas.

#### **3.2.1 Concepto general del diseño**

Para realizar el concepto general del diseño, se tiene en cuenta que el proceso es el horneado, aquí el operario deja caer la parafina a la bandeja que utilizan como horno y es alimentado por una llama que proviene de leña la cual prenden de manera indirecta con un palo. Aquí el operario tiene una participación notoria, pero muy peligrosa a la vez ya que cuando carga la leña puede que esta tenga pequeños pedazos que sobresalgan provocando una hincadura en el operario, provocando que el operario sangre, además está en contacto directo con fuego y es propenso a quemaduras, a la hora de prender la leña con el palo y arrojar los bloques de parafina las cuales pueden salpicar y quemar al operario.

Es evidente la desventaja que tiene este método, el cual expone a sus operarios accidentes y posibles gastos (Tabla 14, página 27) por accidentes dentro de la empresa y lo que se busca es eliminar esta posibilidad de accidentes, así mismo hacer más productiva a la empresa, ya que con estos accidentes se pararía la producción, porque el operario accidentado es el que alimenta a las máquinas con parafina, también que con un nuevo sistema automatizado la parafina tendrá una temperatura estable, la cual permitirá que sea más duro cuando este enfrié.

El sistema automatizado que se propone es alimentar a la máquina de tal manera que el operario no se vea afectado, se busca la mínima o nula participación del operario para evitar posibles accidentes de trabajo, el proceso comenzara cuando la parafina se introduce dentro de la máquina y continuara con un nuevo sistema de alimentación del elemento fuego, donde se apertura la perilla del gas para que este proporcione la cantidad necesaria de esta sustancia para la generación del fuego que tiene como finalidad mantener la temperatura estable ( $T=75^{\circ}\text{C}$ ). Además de al automatizar el proceso se aumentará la producción para cumplir con

los pedidos de los clientes, lo cual conlleva a obtener una mayor ganancia, como lo menciona Regis [22]

Con el fin de que se entienda mucho mejor el proceso de automatizado se presentara paso a paso las actividades que realizara el sistema.

1. Permitirá una temperatura estable a la parafina
2. Permitirá que se proporcione la cantidad necesaria para una máquina.

La temperatura estable es para que posteriormente las velas enfriadas no se doblen con facilidad, y la cantidad necesaria para una máquina, el horno tendrá una salida la cual permitirá que fluya la parafina liquida con la que se alimentara a las maquinas, pero esta solo permitirá que salga la cantidad necesaria para una máquina para evitar los reprocesos.

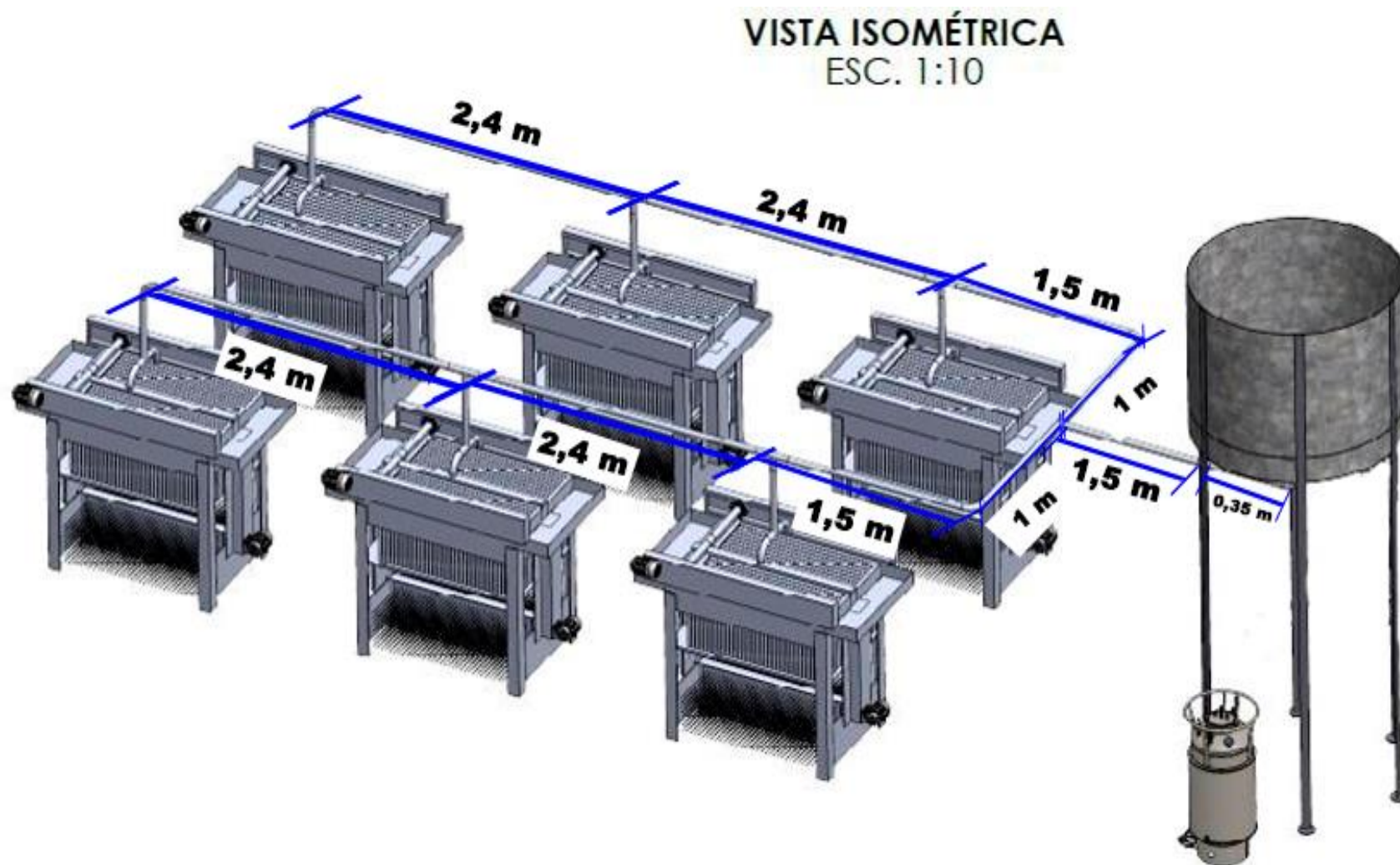
Los requerimientos con los que el sistema debe obedecer son los siguientes:

- El operario debe alimentarlo con parafina solida
- Debe ser alimentado con gas
- Diseño que permitirá su fácil mantenimiento
- Alta eficiencia
- Brindará seguridad
- Aumentará la productividad del proceso

Los requerimientos se toman en cuenta para presentar un concepto del sistema automatizado que es la solución, además se tiene en consideración los siguientes pasos, que serán de ayuda para la elección de los diferentes elementos que se usarán.

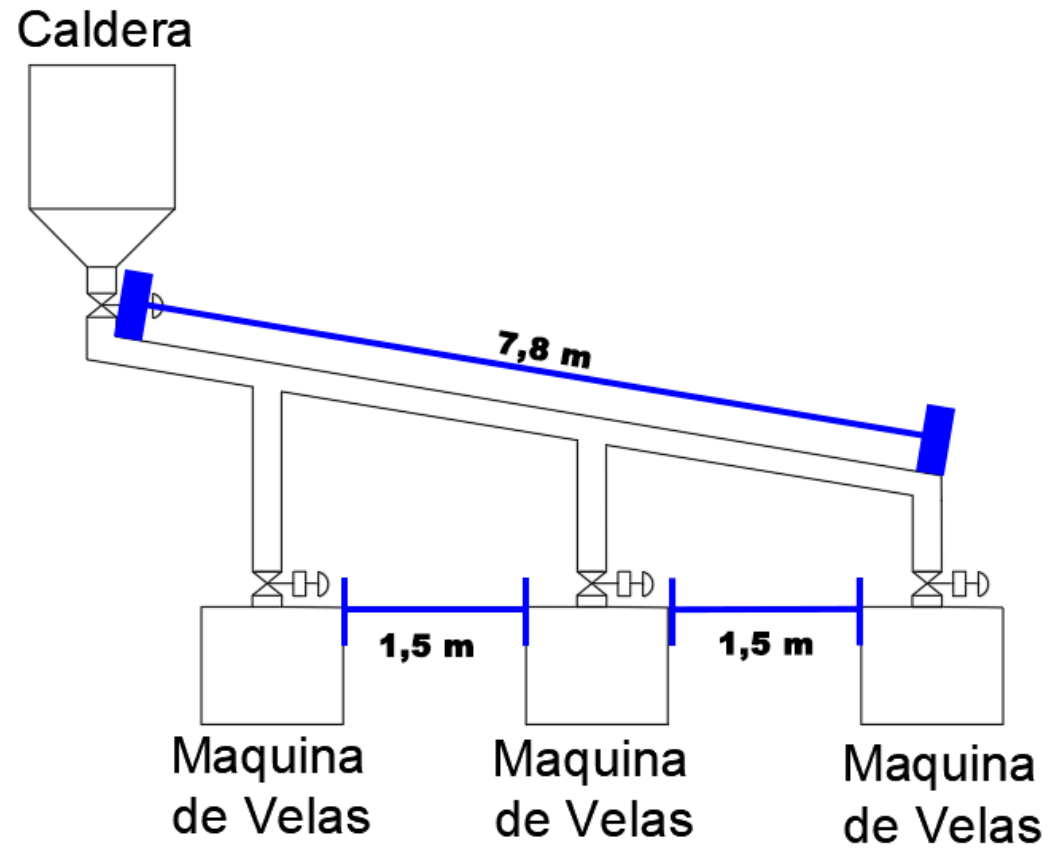
1. Determinar el sistema de control a utilizar para el control del proceso.
2. Determinar y programa el Controlador Lógico Programable – PLC
3. Determinar el sensor de temperatura.
4. Determinar la válvula de control para el ingreso de parafina caliente.
5. Realizar sistema de control por PLC para la sincronización de todos los elementos de control mediante pantalla HMI.

El sistema que se propone se plasma en la vista isométrica mostrada en la figura N° 23 y en la Figura N° 24 se muestra la vista frontal del mismo.



**Figura N° 23** Diseño de la propuesta  
Fuente: Elaboración propia en un software CAD

En un plano frontal, el diseño de la propuesta ser vería tal como se muestra en la figura N°xx



**Figura N° 24 Vista frontal del diseño de la propuesta elaborado en software CAD**

Fuente: Elaboración propia en un software CAD

### 3.2.1.1 Determinar el sistema de control a utilizar para el control del proceso

Según lo que establece [23], la guía general para seleccionar un sistema de control se divide en 6 lazos de control, dicha tabla servir para la determinar que lazo es el que será de mayor utilidad para este caso.

Tabla N° 27 Guía de selección de sistemas de control

Lazo de control	Capacitancia del proceso	Resistencia del proceso	Cambio de carga del proceso	Aplicaciones	Puntuación
<b>Todo – nada</b>	Grande (3)	Cualquiera (4)	Moderada (2)	Control de nivel y temperatura en procesos de gran capacidad	9
<b>Flotante</b>	Media (2)	Moderada (2)	Cualquiera (4)	Procesos con pequeños tiempos de retardo	8
<b>Proporcional</b>	Pequeña a media (2,5)	Pequeña (1)	Moderada (2)	Presión, temperatura y nivel donde el offset no es inconveniente	5,5
<b>Proporcional + Integral</b>	Cualquiera (4)	Pequeña (1)	Cualquiera (4)	La mayor parte de aplicaciones, incluyendo el caudal	9
<b>Proporcional + Derivado</b>	Media (2)	Pequeña (1)	Cualquiera (4)	Cuando es necesario una gran estabilidad con un offset mínimo y sin necesidad de acción integral	7
<b>Proporcional + Integral + Derivada</b>	Cualquiera (4)	Grande (3)	Rápido (3)	Procesos con cambio rápidos y retardos apreciables (control de temperaturas en intercambiador de calor)	10

Fuente: Creus, Antonio; 2010

Dónde: 1= pequeño; 2=Moderado; 3=Grande; 4=Cualquiera por flexibilidad

Para el presente proyecto según la valoración (10) dada de acuerdo a los criterios establecidos se utilizará un lazo de control proporcional-Integral-Derivada (PID), ya que temperatura es la variable a controlar y se necesita una respuesta rápida ante su variación y el control PID es un control que suma los 3 lazos (proporcional, integral y derivada) ofreciendo un control estricto de la variable.

Para ellos se realizará, mediante el software Matlab, el modelo matemático del proceso ya que permitirá conocer la función de transferencia.

Para poder controlar la temperatura se creyó conveniente el uso de un Controlador PID para lo cual se necesita determinar el valor de las constantes proporcional, integral y

derivativa por lo que se utilizó el programa MATLAB al cual se ingresan las temperaturas medidas en un periodo determinado.

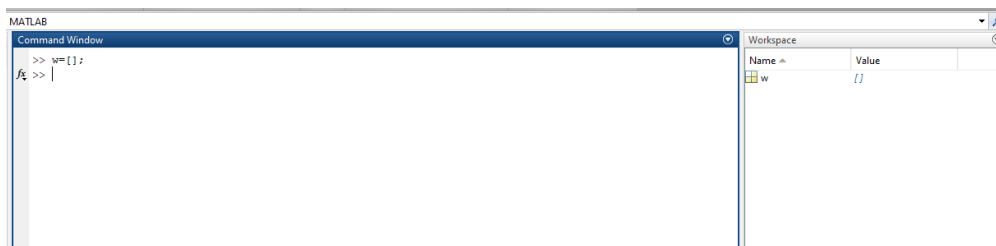
A continuación, se explicará lo que se realizó en el software, se usaran los datos obtenidos mediante la medición de la temperatura de la parafina los datos se encuentran en la tabla N°28

Tabla 28 Mediciones de temperatura en el horno

N° de Mediciones	C°
1	78
2	73
3	72
4	73
5	70
6	77
7	72
8	71
9	72
10	79
11	82
12	80
13	75
14	80
15	72
16	71
17	75
18	77
19	70
20	80
21	79
22	79
23	82
24	76
25	72

Fuente: Elaboración propia

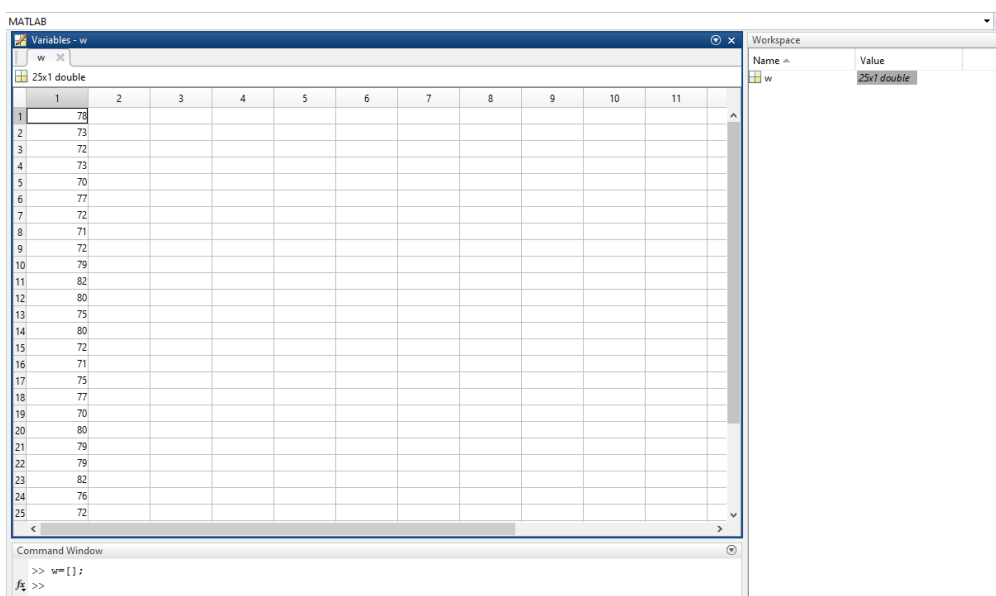
El primer paso que se realiza al estar en el software, es colocar un vector vacío para el ingreso de los datos obtenidos en la tabla N°28. Este vector vacío se denominará W, se digita en el software como se muestra en la figura N° 25.



**Figura N° 25 Vector de entrada (W) en programación en Matlab**

Fuente: Elaboración propia

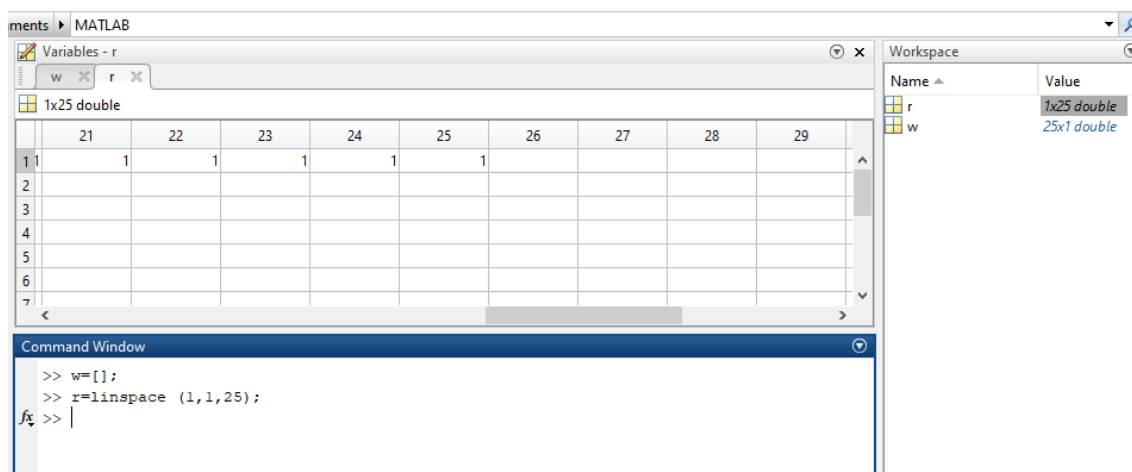
Al tener el vector vacío, colocamos en la lista vertical “A” las mediciones que se tomaron, se obtendrá lo que se observa en la figura N°26.



**Figura N° 26 Mediciones en el Workspace**

Fuente: Elaboración propia

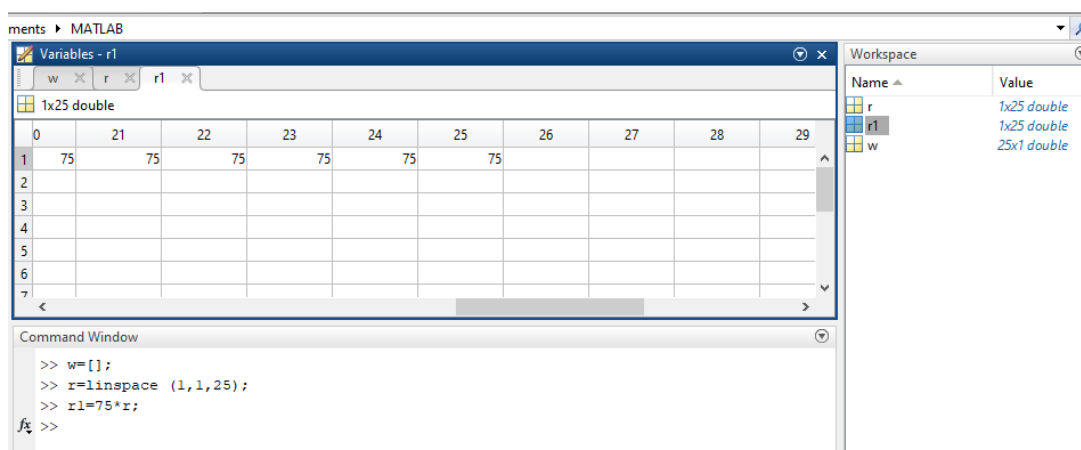
Ahora se colocará una variable de entrada, se denomina “r”, representa la referencia del sistema, y se utilizara el comando linspace, el cual crea un vector de 25 espacios, con el mismo valor, para el caso, el valor es 1, este se aprecia en la figura N° 27.



**Figura N° 27 Variable de entrada**

Fuente: Elaboración propia

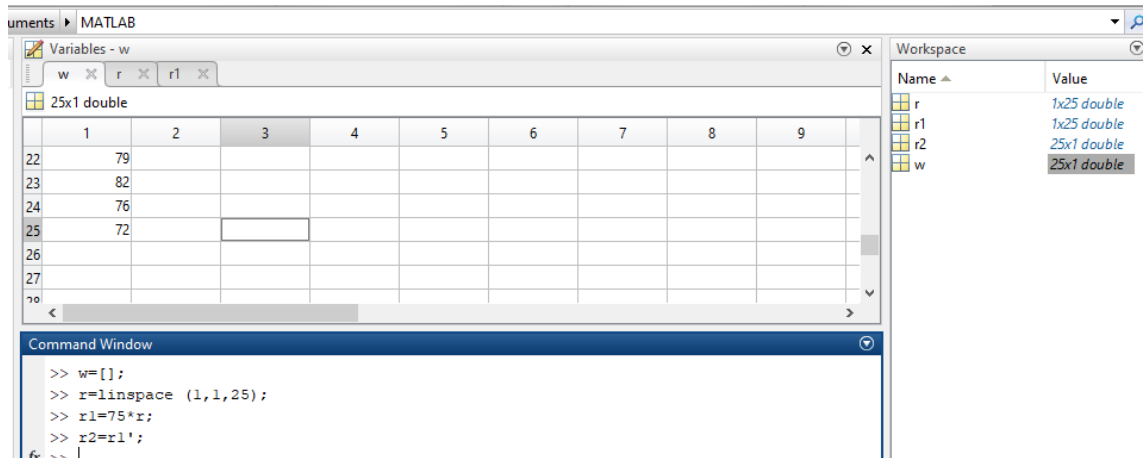
A continuación, se crea un vector “r1” que representara la referencia de la medición, para este caso es 75, este valor se multiplica con el vector r y se obtiene lo que se muestra en la figura N°28.



**Figura N° 28 Valor de referencia**

Fuente: Elaboración propia

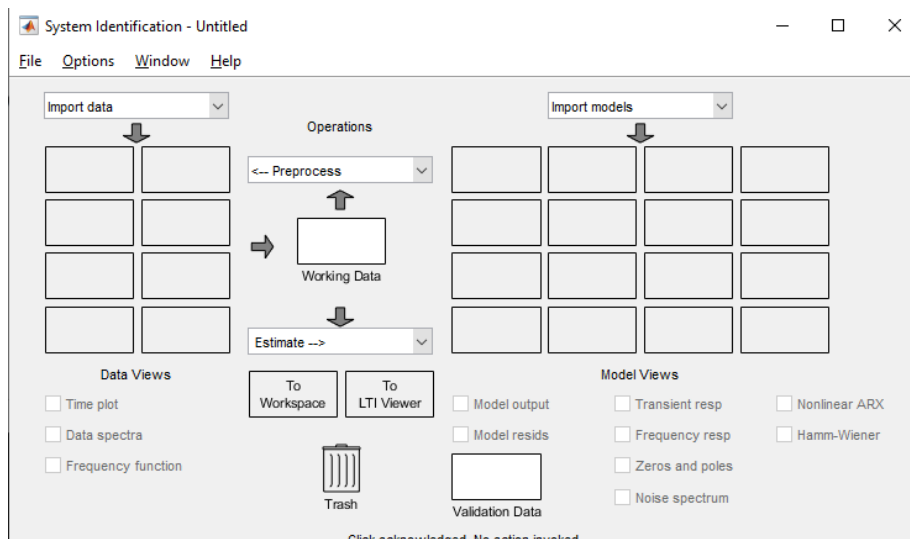
Lo siguiente que se realizara es igualar las entradas y salidas que se tienen, se demuestra en la figura N° 29.



**Figura N° 29 Igualdad entre entrada y salida**

Fuente: Elaboración propia

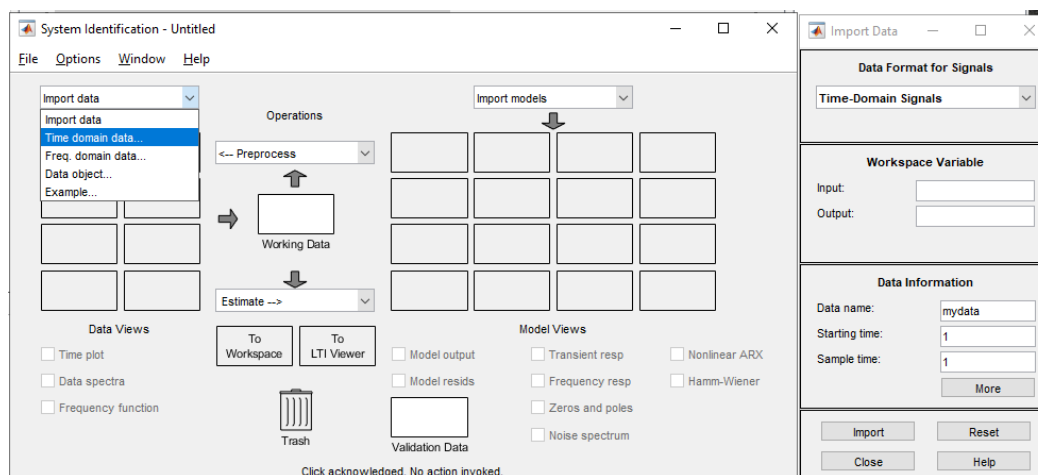
Posterior a esto, se utiliza el comando “ident” el cual nos ayudara a traducir los datos obtenidos en una gráfica, cabe recalcar que no arroja el grafico ni bien se digite el comando, se debe importar los datos del workspace, las figuras N° 30 al 34 lo grafican.



**Figura N° 30 Panel de comando ident**

Fuente: Elaboración propia

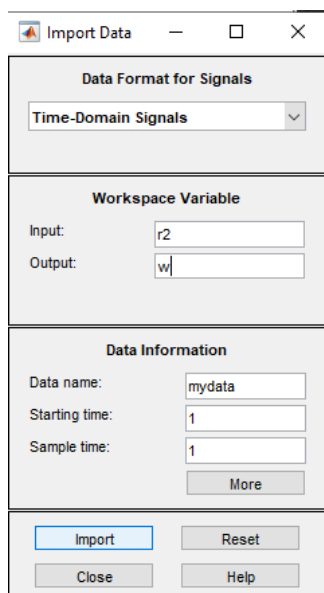
Al estar en el panel del comando, se seleccionará la opción marcada en la figura N°31, en donde nos permitirá importar desde workspace.



**Figura N° 31 Importar desde workspace**

Fuente: Elaboración propia

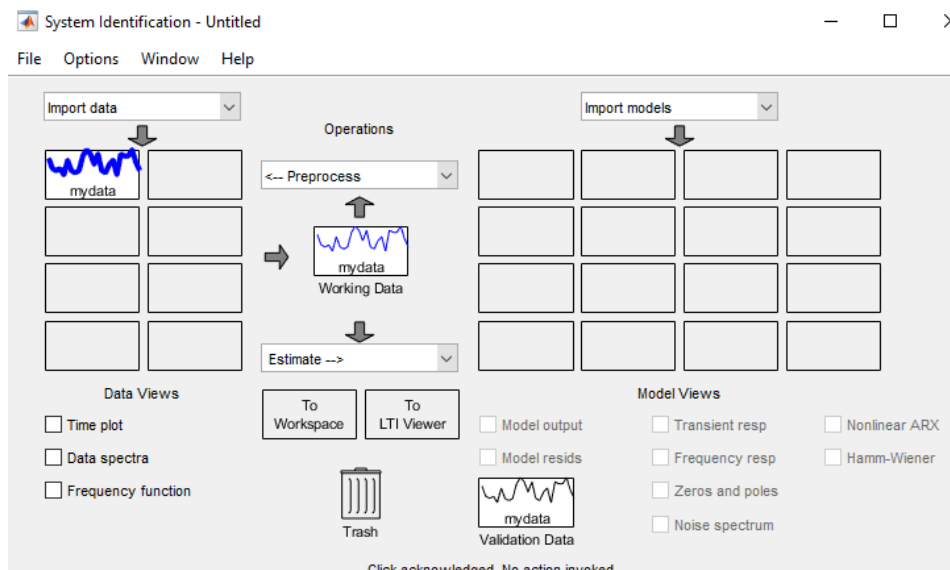
Dentro del panel de “time domain data” se colocará en la parte de variable de workspace la entrada “r2” y como salida “w”, tal y como se muestra en la figura N° 32, posterior a eso se presionará el botón de importar



**Figura N° 32 Importar desde workspace**

Fuente: Elaboración propia

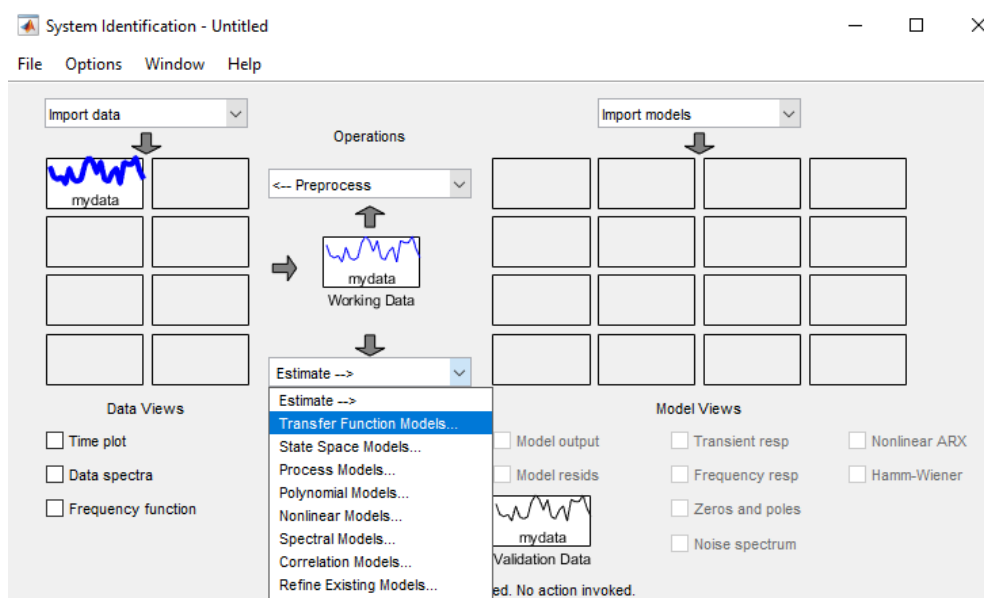
Al presionar el botón importar obtendremos los datos representados en una gráfica, tal y como se muestra en la figura N°33.



**Figura N° 33 Datos de medición representados en una grafica**

Fuente: Elaboración propia

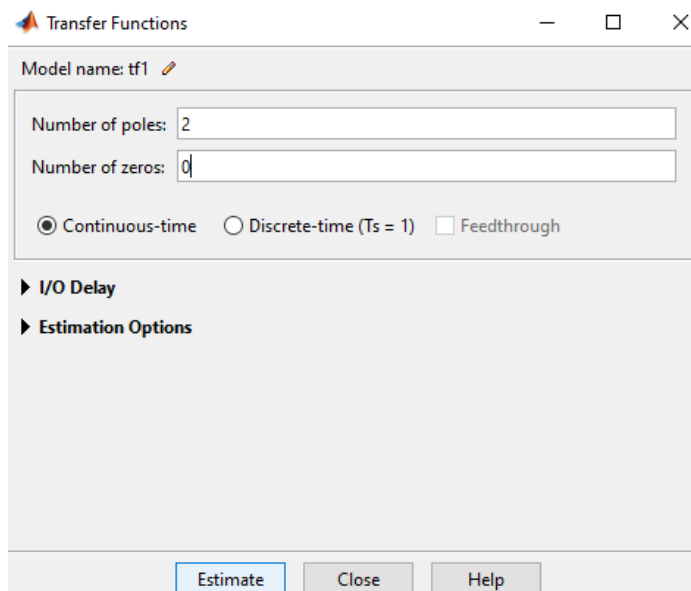
Al tener ya importados los datos, se estimará con la función de transferencia que tiene este comando, esta opción se muestra en la lista desplegable, tal y como se muestra en la figura N°34.



**Figura N° 34 Estimación de función de transferencia**

Fuente: Elaboración propia

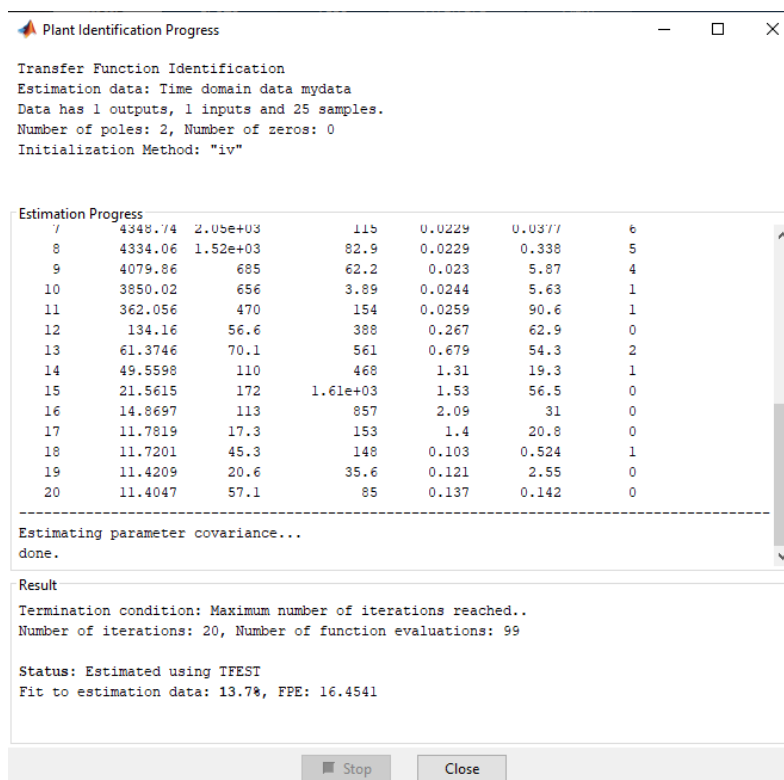
Por consiguiente, al elegir aparece una nueva ventana, donde tenemos que elegir el número de polos y el número de zeros, aquí se colocara 2 polos y 0 zeros, para tener un sistema estable, al ser colocado estos datos, se estimara, en la figura N° 35 se observa los datos colocados.



**Figura N° 35 Estimación de función de transferencia**

Fuente: Elaboración propia

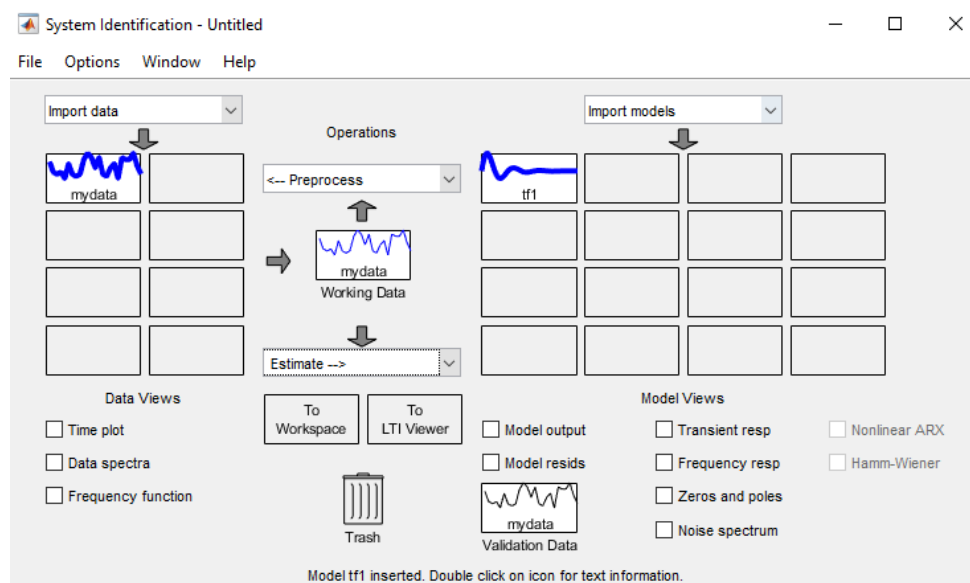
Consiguiente a esta estimación, obtendremos resultados, estos se observan en la figura N°36.



**Figura N° 36 Datos de la estimación de función de transferencia**

Fuente: Elaboración propia

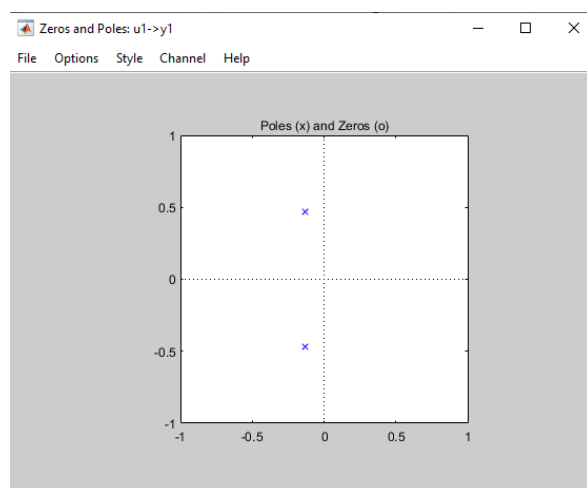
Estos datos nos darán como resultado la función de transferencia, este se visualiza en el panel del comando “ident”, como se observa en la figura N°37.



**Figura N° 37 Función de transferencia en el panel de Ident**

Fuente: Elaboración propia

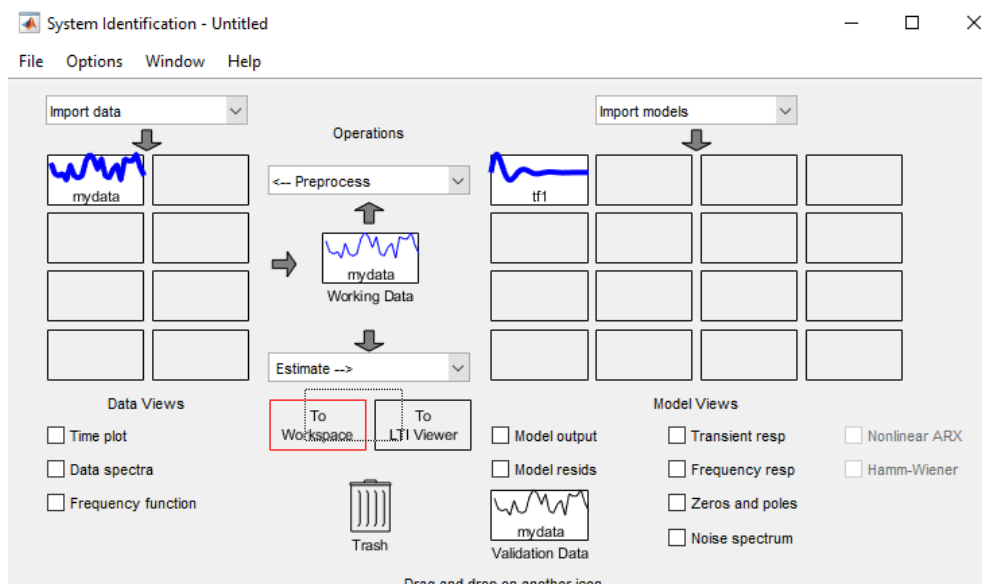
Para poder plasmarlo en Matlab, lo que se debe realizar es primero, para ver el comportamiento de los polos y zeros se debe clicar en la opción de visualización de modelos, al ser presionado nos presentara una gráfica de zeros y polos del sistema ubicados en un plano, como se muestra en la figura N°38.



**Figura N° 38 Grafica de zeros y polos del sistema**

Fuente: Elaboración propia

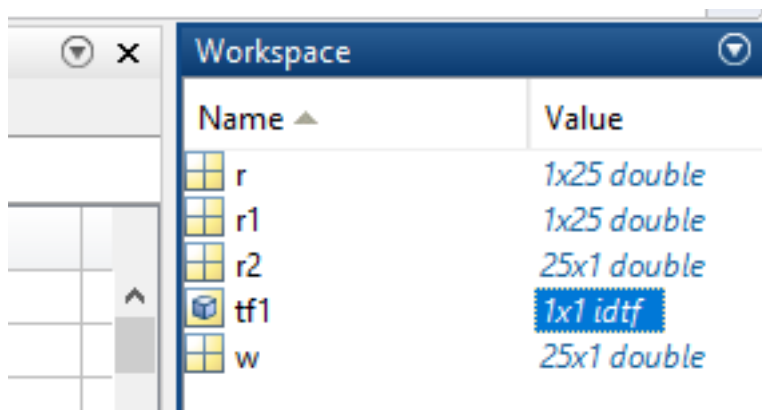
Luego de ello, se debe arrastrar la gráfica de la función de transferencia a la opción “to workspace” tal y como se muestra en la figura N° 39.



**Figura N° 39 Grafica de función de transferencia en matlab**

Fuente: Elaboración propia

Al ver realizado esta acción, la función de transferencia “tf1” se mostrará en el workspace de Matlab, esto se aprecia en la figura N°40.



**Figura N° 40 Función de transferencia en matlab**

Fuente: Elaboración propia

Ahora dentro de la ventana de comando se colocará “tf1” para observar las propiedades, las cuales se visualizan en la figura N°41.

```

>> tf1

tf1 =

    From input "u1" to output "y1":
           0.2435
    -----
    s^2 + 0.2623 s + 0.2404

Name: tf1
Continuous-time identified transfer function.

Parameterization:
    Number of poles: 2    Number of zeros: 0
    Number of free coefficients: 3
    Use "tfdata", "getpvec", "getcov" for parameters and their uncertainties.

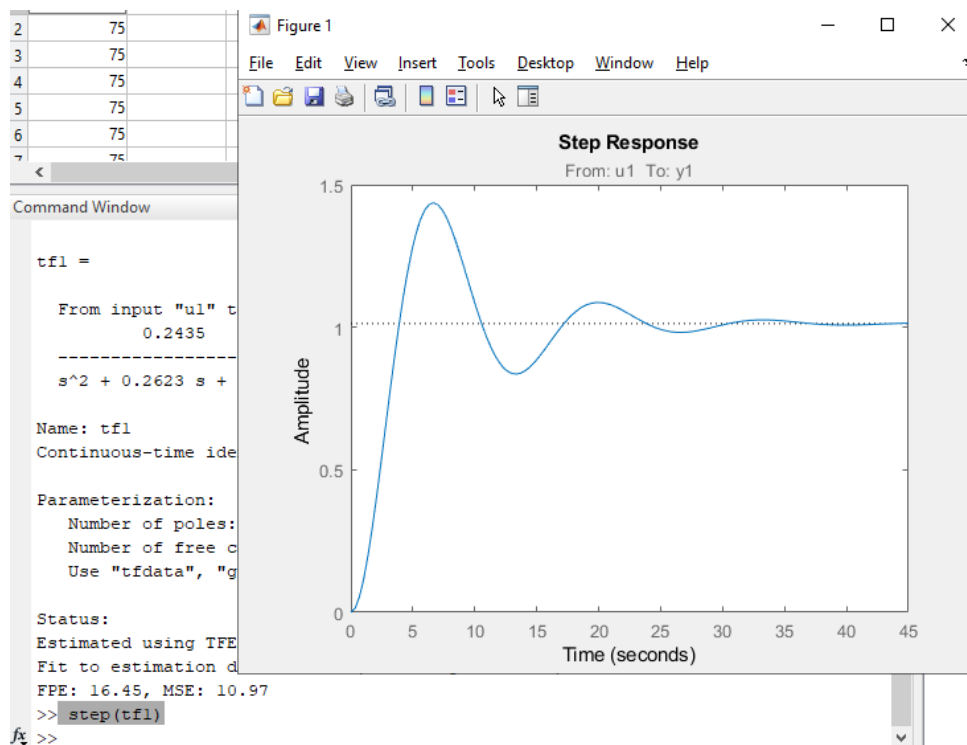
Status:
    Estimated using TFEST on time domain data "mydata".
    Fit to estimation data: 13.7% (stability enforced)
    FPE: 16.45, MSE: 10.97
>> |

```

### Figura N° 41 Propiedades de la función de transferencia en matlab

Fuente: Elaboración propia

En las propiedades que Matlab menciona, se encuentran los números de polos y zeros, además de la función de transferencia. Para representar el comportamiento del sistema mediante una gráfica, se utilizará el comando “step”, se colocará “step(tf1)” y por consiguiente matlab nos mostrará dicha gráfica. La grafica se muestra en la figura N°42



### Figura N° 42 Grafica de la función de transferencia en matlab

Fuente: Elaboración propia

Cabe recalcar que, la gráfica presentada en la figura N°42 es sin ninguna excitación, es decir, los datos que se proporcionaron no presentan variación alguna. Para proseguir y realizar el método de la curva de reacción de ziegler y Nichols [24], ya que este permite ajustar un regulador PID de forma empírica, sin necesidad de conocer las ecuaciones de la planta o del sistema controlado, caso que es beneficioso tanto para la presente investigación como para su estabilidad en los resultados, así mismo se determinó los valores de L (retardo) y t (constante de tiempo). Estos dos valores se obtienen a través del siguiente código:

- dt=0.05;
- t=0:dt:40;
- y=step(tf1,t);
- dy=diff(y)/dt;
- [m,p]=max(dy);
- yi=y(p);
- ti=t(p);
- l=ti-yi/m

Donde L (retardo) es 0.9166, este dato se obtuvo en Matlab, como se aprecia en la figura N° 43

```
>> dt=0.05;
>> t=0:dt:40;
>> y=step(tf1,t);
>> dy=diff(y)/dt;
>> [m,p]=max(dy);
>> yi=y(p);
>> ti=t(p);
>> l=ti-yi/m

l =

    0.9166
```

**Figura N° 43 Valor de retardo (L)**

Fuente: Elaboración propia

Y para la obtención de la constante de tiempo (t o tao), se obtiene a través del siguiente código: tao=(y(end)-yi)/m+ti-l, el valor de este es 2.9104, como es muestra en la figura N°44.

```

l =

    0.9166

>> tao=(y(end)-yi)/m+ti-1

tao =

    2.9104

```

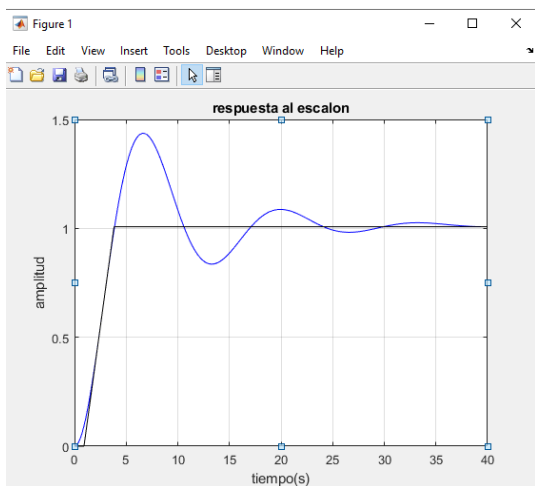
**Figura N° 44 Valor de constante de tiempo (t)**

Fuente: Elaboración propia

Para obtener la gráfica con estos dos valores, se debe digitar el siguiente código en matlab:

- `plot(t,y,'b',[0 l l+tao t(end)],[0 0 y(end) y(end)],'k');`
- `grid on;`
- `title('respuesta al escalon');`
- `xlabel('tiempo(s));`
- `ylabel('amplitud');`
- `legend('exacto','aproximación lineal');`

obteniendo la gráfica encontrada en la figura N°45



**Figura N° 45 Grafica del método de Ziegler nichols**

Fuente: Elaboración propia

Dicho método se realizó en el software Matlab con el fin de hallar los valores “l” y “t”, el método dice que para ajustar o sintonizar un PID sin necesidad de conocer las ecuaciones

de la planta o sistema controlado se deben reemplazar estos valores en las ecuaciones presentadas en la figura N°46, se utilizara las formulas del controlador PID para este caso.

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

**Figura N° 46 Modelo de Ziegler Nichols**

Fuente: Alfaro, Victor

- Para  $K_p$

$$K_p = 1,2 \frac{T}{L}$$

$$K_p = 1,2x \frac{2,9104}{0,9166}$$

$$K_p = 3,810255291$$

- Para  $T_i$

$$T_i = 2L$$

$$K_p = 2x0,9166$$

$$K_p = 1,8332$$

- Para  $T_d$

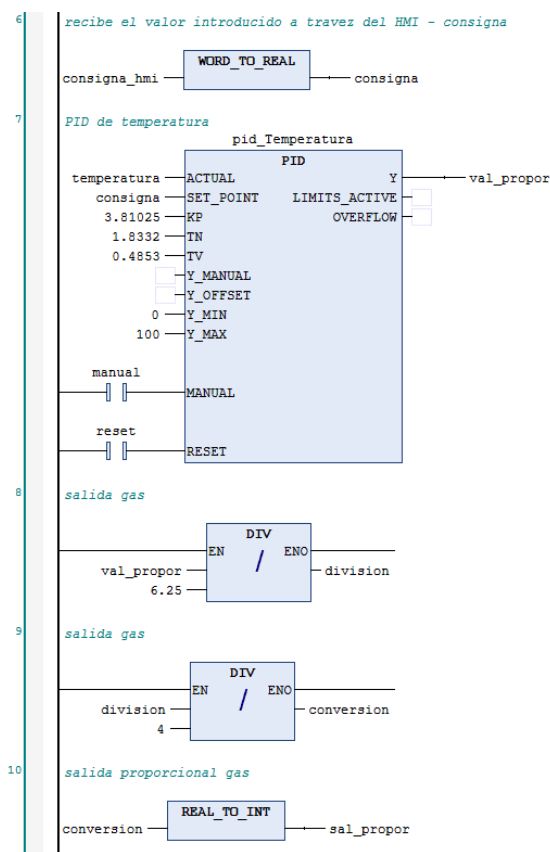
$$T_d = 0,5L$$

$$K_p = 0,5x0,9166$$

$$K_p = 0,4583$$

Estos datos obtenidos nos servirán para el uso del PID en el so machine, como se aprecia en la figura N°47. Al realizar la lógica en el programa “SoMachine” se trabaja con un Módulo de ampliación TM3TI4/G con el cual se podrá indicar que el sensor utilizado será una PT100. Del mismo modo, en el desarrollo de nuestra lógica el “setpoint” indicado fue de 75°C y en nuestro PID insertamos los valores de las constantes calculados anteriormente.

- %IW4 = PT100
- %QW2= VÁLVULA PROPORCIONAL



**Figura N° 47 Lógica con PID**

Fuente: Lógica realizada en el software Somachine

Para el desarrollo de la lógica de todo nuestro sistema, el cual contaba con 23 salidas digitales, fue necesario utilizar un módulo de ampliación “TM3DQ16R/G”, 24 bobinas auxiliares y 23 temporizadores, las características las encontramos en la tabla N° 29.

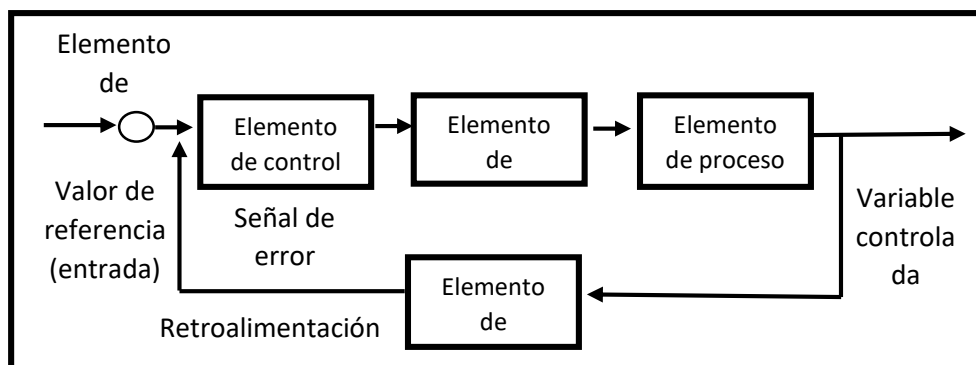
Tabla N° 29 Características del módulo de ampliación “TM3DQ16R/G”

Características	Valor
Número de canales de salida	8
Tensión de salida nominal	24 V CC, 240 V CA
Tensión máxima	30 V CC / 264 V CA
Vida útil mecánica	20 millones de operaciones
Durabilidad de conexiones y desconexiones del conector	Más de 100 veces

Fuente: Schneider Electric

Asimismo, se analizará el sistema de control, que en este caso es de lazo cerrado ya que existe una realimentación de los sensores, que se encuentran en el proceso, hacia el sistema de control, el cual permitirá que los sensores conozcan si las acciones que se dan a los actuadores se han realizado correctamente.

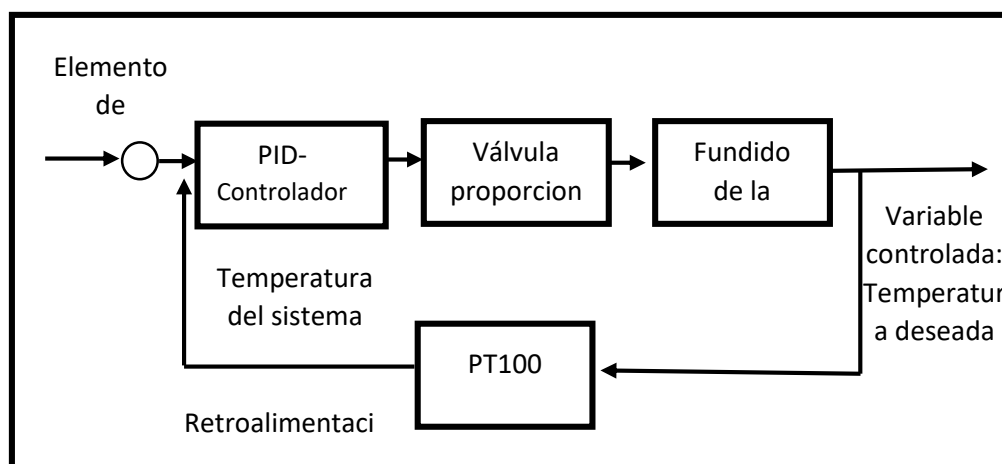
Un sistema control de lazo cerrado se presenta en la figura N°48:



**Figura N° 48 Diagrama de lazo cerrado**

Fuente: Elaboración propia

Ya que el proceso tiene cambios rápidos y retardos evidentes se ve la necesidad de la utilización de un control proporcional integral derivativa (PID). Se mencionó que se utiliza como combustible que emite calor, a la leña, la cual se cambiara por gas, ya que es un combustible que se puede controlar mediante las válvulas que tendrá las entradas de donde saldrá este combustible, se busca este control de combustible para que al momento del fundido se mantenga en una temperatura que es la ideal ( $T=75^{\circ}\text{C}$ ). En la figura N°49 se aprecia el diagrama de lazo cerrado para el sistema propuesto.



**Figura N° 49 Diagrama de lazo cerrado del sistema automatizado propuesto**

Fuente: Elaboración propia

El proceso de producción de velas es un proceso continuo o de flujo continuo, que es una forma de organizar el flujo de materiales, en donde se busca un flujo sin pausa, un flujo constante, sin la necesidad de producir alguna transición entre una operación y otra. Para

que el producto pase por varias actividades sin interrupción alguna. Para esto también se busca que las maquinas guarden una mínima distancia con tal de evitar demoras.

Se dará esta producción ya que la producción de la empresa es importante y tiene varios productos con el mismo proceso, lo que cambia son las dimensiones del molde.

Se analiza también las perturbaciones que se pueden tener dentro del proceso, afectando negativamente al proceso.

#### 1.2.2 Primera perturbación:

Se da en la etapa de llenado de los moldes, al momento en que el operario vierte la parafina líquida a  $75^{\circ}\text{C}$  aproximadamente, esta tiene contacto directo con el molde, influyendo la temperatura a la cual se encuentra esta máquina; para esto se propone un enchaquetado en los tubos que transportan el líquido a las máquinas que permita la circulación de la parafina sin que esta pierda su temperatura inicial, evitando o disminuyendo la transmisión de calor; cabe decir que según el instituto de ciencia Biomédicas [25], la temperatura de solidificación de la parafina es de  $46^{\circ}\text{C}$  a  $48^{\circ}\text{C}$ , es por lo cual según los cálculos realizados de pérdida de calor en la tuberías ( $74,448^{\circ}\text{C}$ ), la parafina se mantendrá en estado líquido durante todo el camino (desde la caldera hasta la última maquina), es decir que en el caso más óptimo, las tuberías no contarán con parafina solidificada en el camino.

#### 2.2.2 Segunda perturbación:

Se da en la etapa de horneado, la parafina es colocada en el horno y es fundida a una determinada temperatura por un determinado tiempo, esta tiene contacto directo con la temperatura del ambiente que interferirá con el calor del horno; para esto se propone el mantener la fundición de la parafina constante, al momento de transferir la parafina líquida al tanque está se encontrará en constante cocción a una menor temperatura, lo cual evitará o disminuirá la solidificación de la materia.

El diseño de la propuesta (Figura N°23, pág. 51) son 6 máquinas nuevas y una nueva caldera, las cuales cumplirán con toda la demanda que se tiene en la empresa.

### 3.2.2 Desarrollo y Cálculo de Equipos

#### ❖ Caldera

Para el cálculo del diámetro del tanque se analizará la cantidad de parafina utilizada en un día, el volumen de la misma, y la altura disponible.

- Cantidad de parafina utilizada en un día:

$$m = 216 \text{ Kg}$$

- Volumen de la parafina:

Según [26] la parafina líquida también es denominado como vaselina líquida y su densidad es de 0,8 g/ml es decir  $800 \text{ kg/m}^3$ .

Con los datos anteriores podemos obtener el volumen que la parafina ocupa.

$$V = \frac{m}{\rho}$$

$$V = \frac{216}{800}$$

$$V = 0,27 \text{ m}^3$$

Se determinó el volumen que la parafina ocupa, es decir la capacidad que posee el tanque.

- La altura disponible es de  $= 1,30 \text{ m}$

❖ Diámetro de la caldera

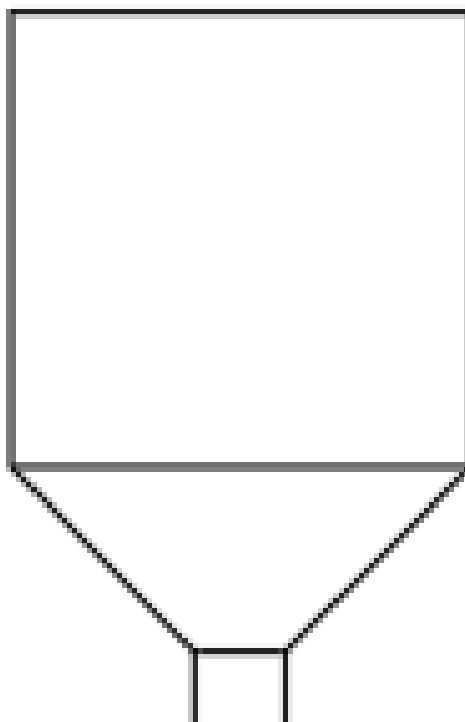
$$D = \sqrt{\frac{4 * V}{\pi * h}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 0,27}{\pi * 1,3}}$$

$$D = 0,51 \text{ m} \cong 0,5 \text{ m}$$

El diámetro del tanque será 0,5 m, el fondo del mismo tendrá una forma cónica, esto con el fin de facilitar la descarga de la parafina líquida, para el análisis del cono se realizará con los datos del diámetro del cilindro y el diámetro de la tubería que se utilizará, 4 pulgadas en este caso, el área inclinada del cono tendrá una inclinación de  $30^\circ$ , esto se da porque es un Angulo adecuado para la evacuación de líquidos.

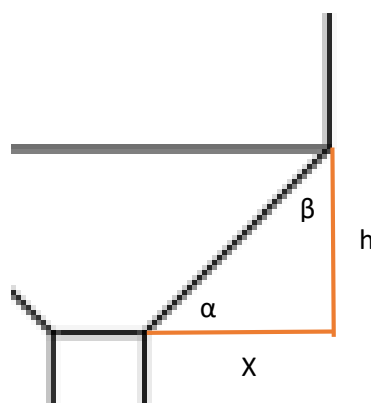
La forma cónica del tanque se representa tal que así:



**Figura N° 50 Forma Cónica de la caldera.**

Fuente: Elaboración propia en un software CAD

Para hallar la altura del cono se halló las variables que se encuentran en la figura N° 51.



**Figura N° 51 Forma Cónica de la caldera.**

Fuente: Elaboración propia en un software CAD

“2X” vendría ser la diferencia del diámetro mayor y el diámetro menor, entonces si el diámetro mayor es 0,5m y el diámetro menor son 4 pulgadas, es decir, 0,10 m. Entonces “2X” es 0,4, por lo tanto “X” es 0,2 y para hallar “h” se realiza mediante la ley de senos,  $H = \frac{x \cdot \text{sen} \alpha}{\text{Sen} \beta}$ . Como ya se mencionó  $\alpha = 30^\circ$  porque facilitara la salida

de la parafina líquida por el tubo, entonces,  $\beta = 60^\circ$ . Con los datos mencionados, se obtuvo  $H=0,1154$  m

Ya obtenido diámetro de la caldera, y la altura de la forma cónica que tendrá en la parte inferior, se procede a obtener el grosor del mismo.

Para realizar el análisis del grosor, se tomó en cuenta la norma API Standard 650 [27], que nos dice que para el grosor requerido no debe ser menor que los que se encuentran en la tabla N° 30:

Tabla N° 30 Características del grosor del tanque

Diámetro nominal del tanque	Espesor nominal de la placa
Menores a 15 m	5 mm
De 15 a 36 m	6 mm
De 36 a 60 m	8 mm
Mayores a 60 m	10 mm

Fuente: Api Standard 650

El diámetro hallado fue de 0,5 m, el cual se encuentra en el primer ítem de la tabla, los menores a 15m, entonces el espesor mínimo que debe tener la caldera es de 5mm que equivale a  $0,19'' \cong 3/16''$ .

#### ❖ Molde

Para el molde de las velas se usará de material acero inoxidable ya que el material se caracteriza por tener una baja adherencia a agentes externos, tiene una durabilidad larga, como también se requiere de un nivel mínimo de mantenimiento. El tipo de acero inoxidable que se aplicara para la realización de este molde se elegirá describiendo las aplicaciones que poseen estos y eligiendo el que mejor se adapte. Según Padilla [28] en su investigación “aplicaciones de los aceros inoxidables” menciona que el acero inoxidable se caracteriza principalmente por la resistencia que posee a la corrosión, además que el principal elemento que posee este material es el cromo, como mínimo debe contener un 11%. Se pueden clasificar en 4 grandes familias, los cuales se describirán en la tabla N°31, y es donde se elegirá el acero inoxidable que se usará.

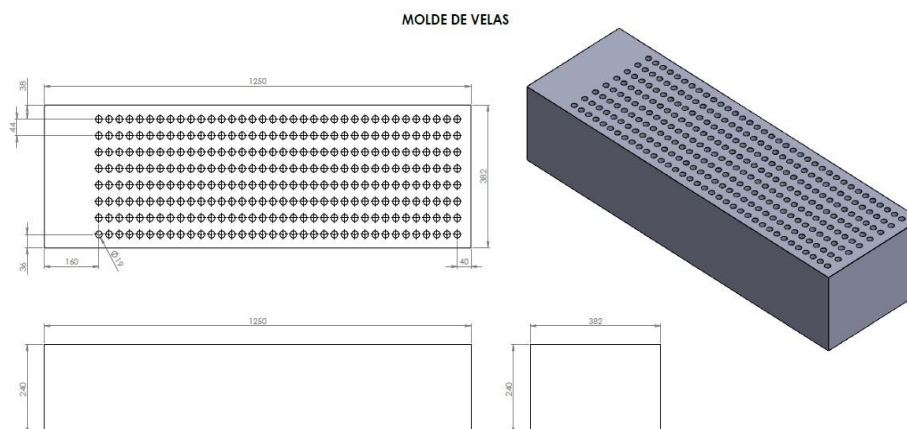
Tabla 31 Tipos de aceros inoxidables

Tipo de acero inoxidable	Descripción
Ferrítico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Son más económicos por el bajo contenido de Ni</li> <li>- Los aceros inoxidables ferríticos son magnéticos, tienen una buena ductilidad y son resistentes a la corrosión y oxidación a temperaturas elevadas.</li> <li>- Tipos:               <ul style="list-style-type: none"> <li>• AISI 430 17% Cr, considerado como una aleación multi propósito donde se exige resistencia a la corrosión.</li> <li>• AISI 444 (18% Cr 2% Mo), posee una mejor resistencia a la corrosión por picaduras y por resquicios.</li> </ul> </li> </ul>
Austenítico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los aceros inoxidables austeníticos tienen una excelente resistencia a la corrosión, muy buena conformabilidad y en términos generales son fácilmente soldables (mejor que los ferríticos), la dureza que poseen es alta, no son magnéticos.</li> <li>- Tipos:               <ul style="list-style-type: none"> <li>• AISI 304 (19% Cr – 10% Ni), posee resistencia a la corrosión atmosférica y se usa para la industria química, alimentaria y química.</li> <li>• AISI 316 (17% Cr – 12% Ni – 2% Mo), se usa cuando se exige una mayor resistencia a la corrosión por picaduras, se emplea para elaboración de papel e industria alimentaria, química, textil y farmacéutica.</li> </ul> </li> </ul>
Martensítico	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Son aleaciones que tienen una estructura austenítica a elevadas temperaturas y que puede ser transformada a martensita después de un tratamiento térmico de temple, elevando su dureza y resistencia al desgaste.</li> <li>- La resistencia a la corrosión que poseen son bajas, tiene una dureza alta además de ser magnéticos.</li> </ul>

Fuente: Padilla, 1999

Se eligió el tipo de acero inoxidable austenítico, por las características positivas, como lo es la excelente resistencia a la corrosión y la alta dureza que este material posee, dentro de esta familia de aceros inoxidables se elige el acero AISI 304, ya que tiene un buen desempeño a temperaturas elevadas, esto corresponde a temperaturas que sobrepasan los 100°C y el proceso está por debajo de este, además son recomendadas para proyectos que requieran una buena resistencia a la

corrosión. La función principal del molde es dar forma de nuestro producto, en este caso de vela, a la parafina líquida que se almacenará en la misma. Para el caso, en la figura N°52 se muestran las dimensiones que presentarán los moldes son las siguientes:



**Figura N° 52 Molde de velas**

Fuente: Elaboración propia en un software CAD

#### ❖ Motor

En el proyecto de la máquina de velas se tiene dos motores, el que ayudara a elevar el molde de velas será denominado “motor elevador” y el que ayudara a la cuchilla a cortar el hilo pabilo se denominara “motor cortador”.

Para elegir el motor ideal para el proyecto se toma en cuenta 2 parámetros, los cuales son: Parte eléctrica y Parte mecánica.

Dentro de la parte eléctrica se analizará la tensión de la red eléctrica, la frecuencia de la red eléctrica y del motor, el tipo de arranque del motor y el grado de protección del mismo.

Tabla N° 32 Requerimientos de la parte eléctrica del motor

CARACTERISTICA	UNIDAD
Tensión de alimentación	380 V Trifásico
Frecuencia	60 Hz
Tipo de arranque	Directo
Grado de Protección	IP55

Fuente: Brindado por la empresa de velas

Dentro de la parte mecánica, se analizan las características principales, como lo son la potencia, la velocidad, la eficiencia, entre otras características que son descritas en la tabla N°32.

Para la potencia del motor se realizará la fórmula de potencia:

$$P = \frac{mgd}{t}$$

P= Potencia

m=Masa

g= Gravedad

d= Distancia

$$P = \frac{(13kg) \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right) (1,0m)}{(10s)}$$

$$P = 12,753 W$$

La masa que alza el motor es 13 Kg que es la cantidad de parafina con la que se alimenta la máquina de velas para que este produzca todas las velas, la distancia que debe recorrer el motor es de aproximadamente 1 metro, los segundos con los que deberá ir el motor es de 10 segundos. Con los datos dados, la potencia del motor debe ser de 12,753 W, al ser una cantidad baja, se escogerá la potencia más cerca a esta que es de 1 HP

Tabla 33 Requerimientos de la parte Mecánica del motor.

CARACTERISTICA	UNIDAD
<b>Potencia</b>	1 HP
<b>Velocidad</b>	1705 RPM
<b>Eficiencia</b>	78%
<b>Factor de Potencia</b>	0,78
<b>Corriente Nominal</b>	1.86
<b>Torque Nominal</b>	4,2 Nm
<b>Peso</b>	15,5 Kg

Fuente: Brindado por la empresa de velas

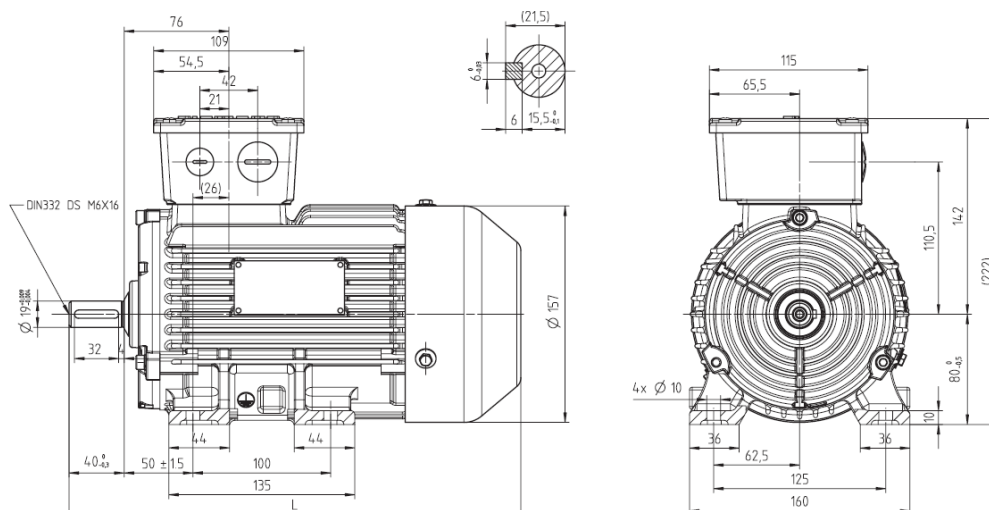
Con las características mencionadas se eligió dentro del portafolio de motores eléctricos de Siemens el ideal, el tipo de motor que se eligió pertenece a la serie 1L30141, en la tabla N°34 se encuentran las características.

Tabla 34 Características del motor.

<b>Referencia del motor</b>	1LE0141-0DB36-4AA4
<b>Tipo de motor</b>	Trifásico
<b>Potencia</b>	1 HP
<b>Rated Speed (rpm)</b>	1705
<b>Eficiencia 100%</b>	0,78 %
<b>Corriente Nominal</b>	1,86 A (380V)
<b>Torque Nominal</b>	4,2 Nm
<b>Peso</b>	15,5 Kg

Fuente: Siemens

El motor elegido cumple con los requerimientos establecidos en la tabla N°33, por lo cual fue elegido, además el motor trifásico de la serie 1LE0141 – IE2 tiene diversas características positivas, como lo es el bajo nivel de vibraciones, ya que este motor tiene un alto nivel de precisión en su proceso de manufactura, esto provoca que el motor tenga una mayor vida útil, además de tener el grado de protección IP55 que no precisa mantenimiento, y una característica muy útil de este tipo de motor es que están diseñados para operar con reserva térmica, es decir, soporta las pérdidas adicionales que puede producir el proceso. El plano dimensional del mismo se puede observar en la figura N° 53.



**Figura N° 53 Plano Dimensional del Motor**

Fuente: Siemens

Teniendo ya los motores ideales para el proceso, se realizará el cálculo de motores para obtener el cable (AWG), cabe recalcar que para el análisis de la tabla N° 35 la tensión se obtuvo de los recibos de luz de la empresa, datos que se observan en la figura N° 54.

DATOS DEL SUMINISTRO DE CONSUMO	
Tensión y SED	380/220 V - BT / D-200863
Sist. Eléctrico	S201 Chiclayo (ST2)
Tipo de Conexión	Trifásica-Aérea(C2.1)
Opción Tarifaria	BT5B - No Residencial
Medidor N°	000000007033832 - Electrón.
Hilos	4
Lectura Anterior	70,247.00 (25/07/2019)
Lectura Actual	70,864.00 (24/08/2019)
Diferencia de Lectura	617.00
Factor	1.0000
Consumo	617.00 kWh
Cons. Prom.(6)	584.67 kWh
Potencia Contratada	10.00 kW.
Inicio Contrato	23/06/2011
Término Contrato	22/06/2020
Fecha Emisión	26/08/2019

**Figura N° 54 Recibo de luz de la empresa de velas**

Fuente: Brindado por la empresa de velas

❖ **Bomba de enfriamiento**

La bomba de enfriamiento debe cumplir con similares requerimientos que el motor eléctrico, los requerimientos se ven reflejados en la tabla N°37. Además, debe cumplir con una cierta potencia de bomba, la cual debería ser:

$$P = P \cdot g \cdot Q \cdot h$$

$$P = 1\,000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 100 \frac{\text{l}}{\text{min}} * 1 \frac{\text{min}}{60\text{s}} * 0,001 \frac{\text{m}^3}{\text{l}} * 1,10$$

$$P = 12,753 \text{ W}$$

La bomba de enfriamiento requiere una potencia de motor de 12.75 w por lo que se busca un motor que sea aproxime a esta cantidad y se elige de 1HP

Tabla N° 35 Requerimientos para la bomba de enfriamiento

Característica	Descripción
Alimentación	Trifásica 380 V
Potencia	1 HP
Tipo	Centrifuga
Fluido	Agua
Aplicación	Enfriamiento
Caudal	100 L/min

Fuente: Elaboración propia

El motor con más similitud a las especificaciones requeridas es la bomba Pedrollo CP 620, el cual tiene la potencia que requiere, 1 HP, el inconveniente con esta bomba es que requiere colocarse a una altura de 21 metros para alcanzar el caudal deseado.

Tabla N° 36 Calculo de motores.

MOTOR	POTENCIA	TENSIÓN	COS	EFICIENCIA	DISTANCIA (cm)	CORRIENTE NOMINAL	CORRIENTE DE DISEÑO	CALCULO SECCION CONDUCTOR (1%CAIDA TENSION)	CAIDA DE TENSION	GUARDAMOTOR (2.5 - 4 A)	CONTACTOR (> 2.5 A)	CABLE (AWG)
MOTOR ELEVADOR MAQUINA 1	1	380	0,85	0,67	50	1,99	2,49	0,86	1	GV2ME08	LC1D09M7	14
MOTOR ELEVADOR MAQUINA 2	1	380	0,85	0,67	50	1,99	2,49	0,86	1	GV2ME08	LC1D09M8	14
MOTOR ELEVADOR MAQUINA 3	1	380	0,85	0,67	50	1,99	2,49	0,86	1	GV2ME08	LC1D09M9	14
MOTOR ELEVADOR MAQUINA 4	1	380	0,85	0,67	50	1,99	2,49	0,86	1	GV2ME08	LC1D09M10	14
MOTOR ELEVADOR MAQUINA 5	1	380	0,85	0,67	50	1,99	2,49	0,86	1	GV2ME08	LC1D09M11	14
MOTOR ELEVADOR MAQUINA 6	1	380	0,85	0,67	50	1,99	2,49	0,86	1	GV2ME08	LC1D09M12	14
MOTOR CORTADOR MAQUINA 1	1	380	0,85	0,67	50	1,99	2,49	0,86	1	GV2ME08	LC1D09M13	14
MOTOR CORTADOR MAQUINA 2	1	380	0,85	0,67	50	1,99	2,49	0,86	1	GV2ME08	LC1D09M14	14
MOTOR CORTADOR MAQUINA 3	1	380	0,85	0,67	50	1,99	2,49	0,86	1	GV2ME08	LC1D09M15	14
MOTOR CORTADOR MAQUINA 4	1	380	0,85	0,67	50	1,99	2,49	0,86	1	GV2ME08	LC1D09M16	14
MOTOR CORTADOR MAQUINA 5	1	380	0,85	0,67	50	1,99	2,49	0,86	1	GV2ME08	LC1D09M17	14
MOTOR CORTADOR MAQUINA 6	1	380	0,85	0,67	50	1,99	2,49	0,86	1	GV2ME08	LC1D09M18	14

Fuente: Brindado por la empresa de velas

En resumen, para el motor elevado y el elevador cortador se requiere de un motor 1LE0141-0DB36-4AA4, es un motor trifásico con potencia de 1HP, además para las conexiones del mismo se requiere un cable con calibre de 14 AWG, como se muestra en la tabla N° 36.

#### ❖ Tubos para enfriamiento

Para ayudar al enfriamiento de la parafina se acoplará tubos que transporten agua a temperatura ambiente a la máquina de velas, estos tubos deben ser para conducciones de fluidos a presión. Se tomarán de referencia los tubos que la empresa ya poseen, son tubos de 1 pulgada los cuales y tiene como presión máxima de trabajo 10 Bar. La ficha técnica del tubo se presenta en la tabla N°37

Tabla 37 Ficha técnica de los tubos para enfriamiento

Característica	Descripción
Material	PVC
Temperatura máxima de trabajo	45°C
Diámetro	1 pulgada
Norma	NTP 399.002

Fuente: Elaboración propia con datos de la empresa de velas.



**Figura N° 55 Tubo PVC**

Fuente: Casa del tubo

#### ❖ Tuberías

Como ya se mencionó anteriormente, la parafina es un OPDH (otros productos derivados de los hidrocarburos) por lo que los tubos que se requieren deben estar basados en las normas ASME B31.4. Las tuberías que requiere el proyecto son de acero inoxidable con recubrimiento térmico. Las características que se requieren



$$Q = \frac{\pi(T_1 - T_0)}{\left(\frac{2,3}{2k} \log\left(\frac{D_2}{D_1}\right) + \frac{1}{hD_2}\right)} \dots \dots \dots \text{Ecuacion III}$$

Ahora se reemplazará los datos que se tienen del tubo que se usará y la temperatura con la que la parafina se distribuirá.

$$D_{interior} = 100 \text{ mm} \cong 3,94 \text{ pulgadas}$$

$$D_{exterior} = 114,3 \text{ mm} \cong 4,5 \text{ pulgadas}$$

$$\text{Espesor} = 14,3 \text{ mm} \cong 0,56 \text{ pulgadas}$$

$$\pi = 3,1416$$

$$T_0 = 25^\circ\text{C} \cong 77^\circ\text{F} \text{ (temperatura ambiente)}$$

$$T_1 = 75^\circ\text{C} \cong 167^\circ\text{F}$$

$$T_2 = \text{Se hallara}$$

$$Q = \text{Se hallara}$$

$$K = 26 \frac{\text{BTU}}{\text{h pie } ^\circ\text{F}} \text{ para este caso se toma la conductividad del acero}$$

$$h = \text{Se hallara}$$

Entonces se supone que  $T_2$  es la diferencia de la temperatura de la parafina y la temperatura ambiente :

$$T_2 = 166^\circ\text{F} - 77^\circ\text{F} = 89^\circ\text{F} \cong 2,1 \frac{\text{BTU}}{\text{h pie } ^\circ\text{F}}$$

Posterior a esto, se reemplaza el  $T_2$  hallado en la ecuación III:

$$Q = \frac{3,1416(167^\circ\text{F} - 77^\circ\text{F})}{\left(\frac{2,3}{2(26)} \log\left(\frac{4,5}{3,94}\right) + \frac{1}{(2,1)\left(\frac{4,5}{12}\right)}\right)}$$

$$Q = 243,33 \frac{\text{Btu}}{(\text{h})(\text{pie})}$$

Al tener el valor de Q, se reemplazará en la ecuación I para así hallar el valor de la  $T_2$

$$243,33 = \frac{2(3,1416)(26)(167 - T_2)}{2,3 \log\left(\frac{4,5}{3,94}\right)}$$

$$T_2 = 166,402^\circ\text{F} \cong 166^\circ\text{F} \cong 74,448$$

Es decir, la parafina que a  $75^\circ\text{C}$  sale de la caldera, llega a la última maquina a  $74,448^\circ\text{C}$ , la pérdida de calor que se genera en esa distancia (9,1 metros) es de:

$$Q = 243,33 \frac{Btu}{(h)(pie)} * (9,1 \text{ metros } x 3,281)$$

$$Q = 7\,264,763 \frac{btu}{h}$$

#### ❖ Cantidad de Calor

$$Q = mC_p (\Delta T) \text{ Donde:}$$

La masa de la parafina a derretir es  $m = 216 \text{ kg}$  que equivale a  $m = 476,198 \text{ lb}$

El calor específico de la parafina es

$$C_p = 2,90 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \text{ que equivale a } C_p = 1,25 \text{ Btu/ lb}^\circ\text{F}$$

Para hallar la cantidad de calor que se necesita se halló la diferencia entre la temperatura final y la temperatura inicial, si la parafina en estado sólido tiene una temperatura de  $18^\circ\text{C}$ , esto a temperatura ambiente, y la temperatura final de la parafina es  $75^\circ\text{C}$ .

Para hallar la  $\Delta T$  se realiza la conversión a  $^\circ\text{F}$ . Para la temperatura inicial,  $25^\circ\text{C} \cong 77^\circ\text{F}$  y para la temperatura final,  $75^\circ\text{C} = 167^\circ\text{F}$

$$\Delta T = 167^\circ\text{F} - 77^\circ\text{F} = 90^\circ\text{F}$$

$$Q = 476,198\text{lb} * 1,25\text{Btu/ lb}^\circ\text{F} * 90^\circ\text{F}$$

$$Q = 53\,572,275 \text{ Btu}$$

Entonces, la cantidad de calor que se empleara para derretir los  $216 \text{ Kg}$  es de  $53\,572,275 \text{ Btu/dia}$

#### ❖ Sistema de calentamiento

Para lograr proporcionar el gas a la caldera se usará tuberías de cobre, Fuentes y Celis [31] recalcan que estas son invulnerable a la eventual agresión que presenta el gas producto de su conformación química, además que una tubería de cobre presenta un elevado punto de fusión,  $1\,083^\circ\text{C}$ , además de ser maleable por lo que resulta fácil cerrar la conducción del gas. Se utilizará tubería de cobre tipo L, ya que es la más usada para conducción de este gas, se utilizará tubería con 1 pulgada (25

mm) de diámetro nominal y 1 1/8 mm (28.575 mm) de diámetro exterior. Para hallar la longitud de la misma usaremos la siguiente formula:

$$L = \frac{A}{2\pi r_2}$$

A= Área de transferencia de calor

$\pi = 3,1416$

$r_2 =$  Radio nominal de la tubería

- Para hallar el área de transferencia de calor (A) se realiza:

$$A = \frac{Q}{U_t \Delta T}$$

$Q =$  Cantidad de calor

$U_t =$  Coeficiente de transferencia

$\Delta T =$  Variación de temperatura

- Para hallar el coeficiente de transferencia total se realiza:

$$U_t = \frac{1}{\frac{r_2}{r_1 * h_1} + \left( \frac{\frac{r_2}{2} \ln \frac{r_2}{r_1}}{k_1} \right) + \left( \frac{1}{h_2} \right)}$$

$r_1 =$  Radio externo de las tuberías

$r_2 =$  Radio externo de la tuberías (de la caldera)

$K_1 =$  Conductividad termica del cobre

$h_1 =$  Coeficiente de transferencia interior

$h_2 =$  Coeficiente de transferencia exterior

$$U_t = \frac{1}{\frac{0,984252 \text{ ft}}{0,492126 \text{ ft} * 1667 \frac{\text{btu}}{\text{hft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}} + \left( \frac{\frac{0,984252 \text{ ft}}{2} \ln_{r_{0,492126 \text{ ft}}}^{0,984252 \text{ ft}}}{218 \frac{\text{btu}}{\text{hft} \text{ } ^\circ\text{F}}} \right) + \left( \frac{1}{55,85 \frac{\text{btu}}{\text{hft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}} \right)}$$

$$U_t = 48.38 \frac{\text{btu}}{\text{hft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}$$

- Para hallar la variación de temperatura de la parafina:

$$\Delta T = T_{\text{final}} - T_{\text{inicial}} = 167^\circ\text{F} - 77^\circ\text{F} = 90^\circ\text{F}$$

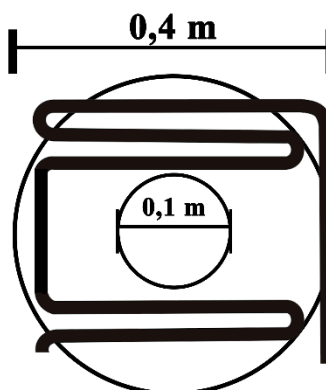
Entonces para hallar el área de transferencia de calor se reemplazaría los datos hallados y obtendríamos:

$$A = \frac{53\,572,275 \text{ Btu}}{48.38 \frac{\text{btu}}{\text{hft}^2\text{°F}} * 90\text{°F}} = 12.30 \text{ft}^2$$

Obtenida el área de transferencia se determinará la longitud que tendrá el serpentín.

$$L = \frac{A}{2\pi r_{\text{nominal}}} = \frac{12.30 \text{ft}^2}{2 * \pi * 0.0833} = 23.50 \text{ft}$$

La longitud que requiere el serpentín para derretir la parafina a 75°C es de 23.50 ft, por las magnitudes del tanque se debe colocar esta tubería en forma de serpentín, tal y como se aprecia en la figura N° 56.



**Figura N° 56 Serpentín de calentamiento**

Fuente: realizado en software CAD

#### ❖ Balón de gas

Por el elevado consumo de gas, se tendrá que optar por un balón de gas industrial que deba ser duradero y ser seguro al usarlo, es por eso que se opta un balón de gas de 45 kg. La cantidad de  $\frac{m^3}{h}$  que este balón de gas consume se analizará a través de la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{P}{P_c}$$

$Q = \text{Caudal}$

$P = \text{Potencia}$

$P_c = \text{Poder calorífico del gas natural}$

Para el caso se asumirá que la eficiencia de este es del 100%.

$$Q = \frac{10 \text{ kW}}{11,24 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}}$$

$$Q = 0,89 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Entonces si es que un balón de gas de 45kg tiene 59,25 metros cúbicos, rendiría 66.57 horas, es decir 2.77 días, al mes usarían 9.74 balones de gas. El balón de gas a usar es el que se presenta en la figura N°57.



**Figura N° 57 Balón de gas de 45 Kg**

Fuente: Sol gas

### 3.2.3 Dispositivos a utilizar

Tabla N° 39 Dispositivos de la propuesta a usar

Ítem	Cantidad	Dispositivo	Modulo
1	1	LLAVE TERMOMAGNETICA GENERAL	A9F74350
2	12	GUARDAMOTOR	GV2ME08
3	24	CONCTOR	LC1D09M7
4	1	LLAVE TERMOMAGNETICA	A9F74220
5	1	LLAVE DIFERENCIAL	A9R50225
9	1	FUENTE ALIMENTACION	ABL7RM24025
10	1	TABLERO MURAL	NSYCRN75250
10	1	Riel DIN	NSYSR200B D
11	50	Bomeras	NSYTRV22
12	1	PULSADOR VERDE	XB4BA31

13	1	PULSADOR ROJO	XB4BA42
14	1	PULSADOR EMERGENCIA	XB4BT842
15	1	PILOTO VERDE	XB4BVM3
16	1	PILOTO ROJO	XB4BVM4
17	1	SENSOR PT100	
18	11	ELECTROVALVULAS	EV210B
19	1	VALVULA PROPORCIONAL	PDB71
20	1	HMI	HMIDT351
21	1	PLC	TM241CE40R
22	1	MODULO EXPANSION TM3	TM3TI4
23	2	MODULO EXPANSION TM3	TM3DQ16R
24	1	CARTUCHO	TMC4AQ2

Fuente: Propia

#### ❖ **PLC TM241EC40R**

PLC o Controlador Lógico Programable es el dispositivo más importante dentro de todo el proceso de automatización ya que este controla la lógica de funcionamiento de todos los dispositivos que estarán conectados a él, además en él se diseñará la programación que seguirá el proceso. Para el proyecto se necesita un PLC con las características que se reflejan en la tabla N° 40.

Tabla N° 40 Características que necesita el PLC

Características		Descripción
Entradas	Analógicas	3
	Digitales	1
Salidas	Analógicas	1
	Digitales	28
Tensión nominal		240
Modulo expansión		Si
Capacidad de memoria		> 64 MB RAM > 8 MB Programa
Duración de batería		> 2 año(s)
Puerto de comunicación		Ethernet

Fuente: Elaboración Propia

Con las características requeridas se tomó la decisión de elegir el PLC TM241E40R ya que reúne todas las condiciones, además, se aumentará dos módulos de entradas analógicas (TM3TI4 y TM3DQ16R) y un cartucho TMC4AQ2. El programador lógico que se eligió tiene una tensión de alimentación de 240 V, dicha tensión encaja en la recibida por la empresa.

Tabla N° 41 Datos del PLC TM241E40R

Características		Descripción
Entradas	Analógicas	0
	Digitales	24
Salidas	Analógicas	0
	Digitales	16
Tensión nominal		240
Modulo expansión		Si, hasta 7
Capacidad de memoria		64 MB RAM 8 MB Programa
Duración de batería		4 años
Altura		90 mm
Profundidad		95 mm
Anchura		190 mm
Resistencia a descargas		4Kv en contacto
Puerto de comunicación		1 Puerto ethernet 1 Puerto de programación USB mini-B

Fuente: Scheneider Electric [32] y [33]

Como se mencionó anteriormente, se aumentan dos módulos de expansión y un cartucho, esto se añade porque los PLC naturalmente no tienen entradas y salidas digitales como se observa en la tabla N° 41, se explica brevemente en la tabla N° 42 la utilidad de cada dispositivo que se aumentara al PLC.

Tabla 42 Dispositivos añadidos al PLC

Dispositivo		Descripción
Módulos de expansión	TM3TI4	Módulo de Entradas Analógicas
	TM3DQ16R	Modulo para salidas digitales
Cartucho	TMC4AQ2	Modulo para salidas analógicas

Fuente: Elaboración propia.

Estos dispositivos son elegidos por sus características, las cuales son mencionadas en las siguientes tablas:

Los módulos de expansión son TM3TI4 y TM3DQ16R, el cual es utilizado para las entradas analógicas y temperatura y para las salidas digitales a relé respectivamente, cabe recalcar que se eligió el TM3TI4 para el PT100 porque es un módulo de expansión exclusivo para la temperatura que se conecta directamente con el dispositivo. La tabla N° 43 y la figura N° 58 y 59 representan las características de los módulos de expansión que se utilizaran.

Tabla 43 Características de los módulos de expansión

Dispositivo	Resolución	Canales	Tipo de canal	Tensión Corriente	Modalidad	Tipo de componente	Tipo de terminal
TM3TI4	16 bits	4	Entradas	-	PT 100	Modulo entrada analógica.	Bloque de terminales de tornillo extraíble / 3,81 mm
TM3DQ16R	-	16	Salidas de Relé	24 V / 240 V	-	Módulo de salida discreta.	Bloque de terminales de tornillo extraíble / 3,81 mm

Fuente: Schneider Electric [33]

**Figura N° 58 Modulo de expansión TM3TI4 (PT100)**

Fuente: Schneider Electric

**Figura N° 59 Modulo de expansión TM3DQ16R**

Fuente: Schneider Electric

El cartucho TMC4AQ2 se utilizará para todas las salidas analógicas que posee el proceso. En la tabla N° 44 y la figura N° 60 se encuentran las características del mismo.

Tabla 44 Características del cartucho TMC4AQ2

Dispositivo	Canales	Tipo de canal	Tensión Corriente	Tipo de terminal	Resolución analógica	Tipo de componente
TMC4AQ2	2	Salida Analógica	0 a 10 V	Bloque de terminales de resorte extraíble 3,81 mm	16 bits	Cartucho de salida analógica.

Fuente: Schneider Electric [33]



**Figura N° 60 Cartucho TMC4AQ2**

Fuente: Schneider Electric

#### ❖ PULSADOR VERDE

Para el inicio del proceso de producción se requiere un PLC y un pulsador que dé la orden de inicio del mismo, se eligió un pulsador que tenga una ruptura lenta con el fin de que el punto de inicio y la desactivación sean iguales, es decir, presionando el pulsador este cumpla su función, también que su durabilidad sea extensa, se eligió el pulsador verde XB4BA31, se representa en la figura N° 61, el cual es un pulsador de metal cromado plateado con diámetro de montaje de 22mm que tiene como tipo de operador el retorno de muelle, como también el funcionamiento del contacto es de ruptura lenta.



**Figura N° 61 Pulsador Verde XB4BA31**

Fuente: Schneider Electric

❖ **PULSADOR ROJO**

El pulsador eléctrico rojo, posee un contacto cerrado que dentro del proceso servirá como botón para detener el proceso. El que se requiere será un pulsador con cabeza estándar, que tenga un funcionamiento de ruptura lenta con el fin de evitar posibles activaciones erróneas, además de que tenga una larga durabilidad mecánica. Se eligió el botón rojo XB4BA42, se representa en la figura N° 62, el cual es de metal cromado plateado, el diámetro es de 22mm, la forma de la cabeza es circular, tal y como se requiere, también el retorno por muelle y su funcionamiento de ruptura lenta hace que este botón no se active de forma casual. Además, que la temperatura ambiente de almacenamiento es de -40 a 70°C, esto es positivo ya que estará cerca de calor, pero no de una manera directa.



**Figura N° 62 Pulsador Rojo XB4BA42**

Fuente: Schneider Electric

### ❖ **PULSADOR DE PARADA DE EMERGENCIA**

El pulsador de parada de emergencia es añadido por la importancia que tiene ya que por algún error que se cometa dentro del proceso de automatización este parara completamente el proceso para proceder a ajustar el error. Se requiere un pulsador de emergencia que tenga accionador de disparo y un enganche mecánico y una durabilidad extensa. Con los requerimientos se eligió el pulsador de parada de emergencia XB4BT842, se representa en la figura N° 63, el material del mismo es de metal cromado, el diámetro es de 22 mm, el cabezal es redondo, posee el tipo de operador requerido que es la acción de disparo y enganche mecánico, el método de reinicio que tiene este botón es el de “empujar/tirar” y la durabilidad eléctrica que posee mayor a 1000000 ciclos, y la temperatura ambiental para almacenamiento y el funcionamiento está en el rango de 40 – 70 °C, característica ideal para el proyecto.



**Figura N° 63 Pulsador Rojo XB4BA42**

Fuente: Schneider Electric

### ❖ **PILOTO VERDE**

Para la señalización y que sea más sencillo el dialogo hombre-máquina se propuso utilizar un piloto verde para que este funcione cuando el proceso está activo, se eligió el piloto verde XB4BVM3, se representa en la figura N° 64, es de un material cromado, el color de lente es verde, lo cual se busca, la luz que proporciona es LED, la tensión de alimentación es de 240 V, además que la vida de servicio es de 100 000 ha tensión nominal.



**Figura N° 64 Pulsador Verde XB4BVM3**

Fuente: Schneider Electric

#### ❖ **GUARDAMOTOR**

Este dispositivo tiene como función proteger a las personas de cualquier descarga eléctrica, además protege a las instalaciones de derivaciones a tierra. También estos dispositivos protegen los motores y las electrobombas, para elegir el guarda motor debemos tener en cuenta la corriente nominal, además de que debe ser trifásico, ya que el motor que utilizaremos lo es, así mismo, debe cumplir con el voltaje de alimentación de los motores que es de 380 V.

De los diversos guardas motores, se elige el guarda motor GV2ME-07 ya que el motor es de 1 HP y tiene una corriente nominal con rango de 1.6 – 2.5 amperios y la corriente nominal es de 1,8 y cumple con el voltaje del motor. De manera gráfica se puede observar en la figura N°65.



**Figura N° 65 Guarda motor GV2ME-08**

Fuente: Schneider Electric

#### ❖ SENSOR DE TEMPERATURA

Para la medición del criterio de selección de la temperatura se utilizará termo resistencia, y para realizar la elección del sensor de temperatura para el proyecto, en primera instancia se debe usar un sensor de platino, ya que tiene características que lo hacen adecuado para realizar las mediciones de temperatura:

- Alta resistividad ( $59 \Omega / \text{cmf}$  en comparación con  $36 \Omega / \text{cmf}$  para níquel)
- Resistencia eléctrica no degradable en el tiempo
- Relación temperatura y resistencia casi lineal
- Estabilidad excelente
- Pasividad química buena
- Alta resistencia a la contaminación

Sabiendo que se desea un sensor de platino, se debe elegir entre las tres categorías de sensores que se tienen: existen termopares, termistores y RTD (Resistance Temperature Detector), dentro de ellos se elige un sensor RTD, ya que los sensores termopares son para temperaturas extremas, más de  $100^{\circ}\text{C}$  y bajas temperaturas, así como el termistor, a comparación con un sensor RTD que tiene también una amplia sensibilidad a la temperatura, su uso es más común y para proyectos con una temperatura no tan elevados es el más indicado.

Elegido el sensor de temperatura RTD se busca sensores de temperatura de platino, donde encontramos los más comunes, la Pt100 y la Pt1000, los cuales

tienen características similares, se diferencian en la resistencia nominal, dicha característica será fundamental para la elección de sensor, las características de estos se verán reflejados en la tabla N° 45.

Tabla 45 Diferencias entre PT100 y PT1000

Descripción	PT100	PT1000
Resistencia Nominal (0°C)	100Ω	1.000Ω
Error de medición	+ 1.0 ° C	+ 0.1 ° C.

Fuente: Delancey

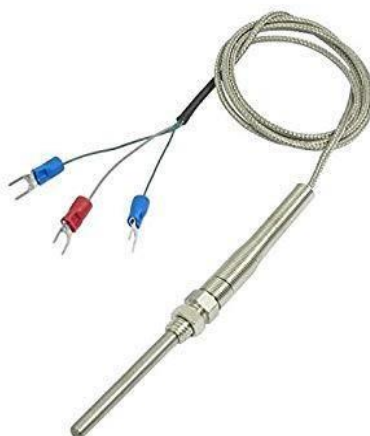
Con esos datos, sterling sensors [34] realizo una diferencia entre estos dos con respecto a sus resistencia nominal, donde la Pt100 a 1°C es igual a 0.39 Ω y la Pt 1000 a esta misma temperatura es igual a 3.9 Ω, pues entonces a 0°C la resistencia Pt1000 mide 1000 Ω como se menciona en la tabla N°47, además se le añadirá 3.9 Ω por cada 1° C. Es decir, en una temperatura de 600° C la Pt 100 da una salida de 313.59 Ω y la Pt 1000 da una salida de 3135.9 Ω, lo cual nos muestra que la Pt100 es la mejor opción para realizar una lectura precisa, ya que este dará una lectura más precisa y sensible.

Un Pt100 es un sensor de temperatura. Consiste en un alambre de platino que a 0 °C tiene 100 ohms, como ya se mencionó, y que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia eléctrica. El incremento de la resistencia no es lineal, pero si creciente y característico del platino de tal forma que mediante tablas es posible encontrar la temperatura exacta a la que corresponde. Normalmente las Pt100 industriales se consiguen encapsuladas en la misma forma que las termocuplas, es decir dentro de un tubo de acero inoxidable u otro material (vainas), en un extremo está el elemento sensible (alambre de platino) y en el otro está el terminal eléctrico de los cables protegido dentro de una caja redonda de aluminio (cabezal). Las características y la gráfica del mismo se pueden encontrar en la tabla N° 46 y la figura N° 66 respectivamente.

Tabla 46 Características de AGPtek PT100

Característica	Descripción
Rango de temperatura	20 – 420°C
Material	Acero inoxidable 304
Protección de tubo	50 mm
Longitud de cable	2 m
Numero de hilos	3

Fuente: Amazon [35]



**Figura N° 66 PT100**

Fuente: Amazon

### ❖ **TABLERO**

El tablero es el lugar donde se encuentran todos los dispositivos que iniciara el proceso, el tablero más ideal para el proyecto es el tablero mural Spacial Crn NSYCRN75250, están diseñadas para proyectos de automatización industrial, las características más relevantes de esta es que es duradero, ya que su robustez es certificada por la norma IEC 62208, además de que el canal delantero del tablero tiene un doblés de 45°C que evita riesgo de corte. Las medidas del tablero son, altura: 700 mm; anchura: 500 m; profundidad: 250 mm, como se presenta en la figura N° 67.



**Figura N° 67 Tablero mural spacial crn**

Fuente: FCM Solutions

## ❖ HMI

El Interfaz Hombre-Máquina (HMI) es el interfaz entre el proceso y los operarios; se trata básicamente de un panel de instrumentos del operario. El HMI traduce variables de procesos complejos en información útil y procesable. La pantalla HMI ideal debe tener protocolo de comunicación Ethernet, Entrada Táctil, una resolución mínima de 800\*480 pixels ya que para la estructura que se tiene en viejo es la idea.

Tabla N° 47 Características del HMI

Característica	Descripción
Tipo de pantalla	Panel de pantalla táctil avanzado
Resolución de la pantalla	800 x 480 pixels WVGA
Tamaño de pantalla	7 Pulg
Consumo de energía	6.5 W
Tension de alimentation	24V CC

Fuente: Elaboracion propia

El dispositivo HMI que más se adapta a las características que se necesita es el tipo Harmony GTU “HMIDT351” y se muestra en la figura N°68.



**Figura N° 68 HMI Harmony GTU HMIDT351**

Fuente: Schneider Electric

## ❖ ELECTROVÁLVULA

Para el funcionamiento de la lógica se necesita una válvula solenoide, normalmente cerrada, que el consumo de energía no sea elevado, el número de vías que debe tener es de 2/2 con accionamiento directo, con estas características se encontró una electroválvula ideal, la cual es la Válvula solenoide, EV210B que cumple con los números de vías, con el accionamiento el consumo de energía es de 11 W, la presión máxima de trabajo es de 145 psi, el rango de

temperatura media es de 100°C, además que es reparable, en el mercado hay repuestos de válvulas del mismo tipo. Este tipo de válvula es ideal para agua, aceite, aire comprimido. El rango de caudal que tiene es  $8 \frac{m^3}{h}$ . La electroválvula se presenta en la figura N°69.



**Figura N° 69 Válvula solenoide, EV210B**

Fuente: Danfoss

#### ❖ VÁLVULA PROPORCIONAL

La relación que tiene la caldera con el gas se ve reflejado por una válvula proporcional, la cual debe permitir controlar la apertura y la salida del gas para que este proporcione la cantidad de gas necesario para que la parafina llegue a la temperatura ideal. Se empleará Válvula proporcional de 2/2 vías servo pilotada para flujos elevados ya que se utiliza como actuador y regula grandes cantidades de líquido, además dentro de las características más relevantes esta que tiene alta reproducibilidad y una gran sensibilidad de reacción, esto garantiza que la válvula reaccionara de una manera rápida. Las características y la gráfica de esta válvula proporcional se ven reflejados en la tabla N° 48 y figura N° 70 respectivamente.

Tabla N° 48 Características de la válvula proporcional.

Característica	Descripción
Orificio	1 pulgada
Material del cuerpo	Latón, acero inoxidable bajo pedido
Media de temperatura	-10 a 90°C
Temperatura ambiente	+55°C
Viscosidad	Maximo $21 \frac{mm^2}{s}$
Voltaje	24 V DC
Sensibilidad	<1% FS
Histéresis	<5%

Fuente: Burkert



**Figura N° 70 Válvula proporcional**

Fuente: Burkert

❖ **LLAVE TERMOMAGNETICA GENERAL:**

Con el fin de proteger los dispositivos que emplearemos contra sobrecargas y cortocircuitos se aumentó una llave termo magnética del tipo A9F74350 el cual posee 3 números de polos que son protegidos, la corriente nominal del mismo es de 50<sup>a</sup>, el tipo de red que tiene la llave es de DC y CA, así que se adaptará, la tecnología de unidad de disparo que este es térmico magnético, además lo más importante del dispositivo es el poder de corte que tiene, el cual es de 20 kA ya que la corriente está a 220 – 240 V, este poder de corte está certificado por EN/IEC 60947-2, norma de conexión y mandos de baja tensión. Las medidas del mismo son: altura 85 mm, anchura 54 mm, profundidad 78.5 mm. Cabe recalcar que la llave termo magnética general al ser utilizado, apagará todo el proyecto, la figura N°71 demuestra en manera gráfica la llave.



**Figura N° 71 Llave termo magnética A9F74350**

Fuente: Schneider electric

#### ❖ LLAVE TERMOMAGNETICA:

Esta llave termo magnética se utilizará para proteger el PLC de cualquier corto circuito o una mala manipulación, la llave que se eligió es de A9F74220, posee 2 polos, como se muestra en la figura N° 72, es un interruptor automático, la corriente nominal es de 20 A, el tipo de red se adapta al proyecto, la tecnología de disparo es térmico-magnético, el poder de corte que este tiene es de 20 kA, las dimensiones de este son: altura 85 mm, anchura 36 mm, profundidad 78.5 mm.



**Figura N° 72 Llave termo magnética A9F74220**

Fuente: Schneider electric

#### ❖ LLAVE DIFERENCIAL:

Para protección de una fuga de corriente en la empresa, se requiere de una llave diferencial, funciona de tal manera que esta llave analiza la diferencia de la corriente de entrada y la corriente de salida y al sobrepasar la sensibilidad con la que se calibrara apertura su electroimán que apertura los contactos del interruptor para que esta evite el paso de corriente. Esta llave generalmente se propuso con el fin de protección del colaborador que manipulara la producción. Se utilizó la llave diferencial A9R50225, posee 2 polos como se observa en la parte inferior de la figura N° 73, una corriente nominal de 25 A, la sensibilidad que tiene es de 30 mA, el retardo para la protección contra fugas a tierra es

inmediato, la clase de protección que aplica es de tipo AC, la tensión que tendrá es de 220 – 240 V.



**Figura N° 73 Llave termo magnética A9R50225**

Fuente: Schneider electric

#### ❖ CONTACTOR:

Los contactores son necesarios para el paro de motores y arranque de los mismos, además que la aplicación del mismo es beneficioso ya que el operario ya no manipula de manera directa el motor. Para la elección del contactor adecuado para el proyecto, se analizaran las diferentes categorías que existen, para esto se siguió las categorías que Rodríguez J, Cerda L y Sanchez Roberto [36] establecen mediante los criterios de Schneider Electric, cabe recalcar que los dispositivos que se utilizaran son controlados mediante corriente alterna, es por eso que solo se analizó esta categoría.

Tabla N° 49 Categorías de contactores en corriente alterna.

Categoría	Descripción
AC-1	Se usa para los aparatos de uso de corriente alterna, cuyo factor de potencia es al menos igual a 0,95. Ejemplos de utilización: Calefacción, bloques resistivos y distribución.
AC-2	Esta categoría se basa en el arranque, el frenado a contracorriente y la marcha de los motores de anillos.
AC-3	Para motores de jaula en los que el corte se realiza con el motor lanzado. El corte resulta sencillo Ejemplos: ascensores, escaleras mecánicas, cintas transportadoras, elevadores de cangilones, compresores, bombas, trituradoras, climatizadores, etc.

AC-4	Para aplicaciones con frenado a contracorriente y marcha a sacudidas con motores de jaula o de anillos, el corte resulta brusco. Ejemplos: máquinas de impresión, máquinas de trefilar, elevadores, equipos de la industria metalúrgica.
AC-14	Para control de cargas electromagnéticas en las que la potencia absorbida es inferior a 72 Va. Ejemplo de utilización: control de bobina de contactores y relés.
AC-15	Para control de cargas electromagnéticas en las que la potencia absorbida es inferior a 72 Va Ejemplos: Control de bobina de contactores.

Fuente: Rodriguez J, Cerda L y Sanchez Roberto

Se eligió el contactor LC1D09M7 que pertenece a la categoría AC-3 porque el corte que este realiza es el más sencillo que el AC-4 que es su semejante (se usan para elevadores), además que el motor que se utilizara son de poca potencia, 1 Hp como ya se mencionó y esa categoría ac3 es ideal para este tipo de motores y tipo de arranque (directo) donde el pico de arranque llega hasta 7 veces su corriente nominal. El contactor que se eligió posee una duración de la maniobra que este posee es de 12-22 ms para el cierre y para la apertura es de 4-19 ms, el nivel de fiabilidad de seguridad es de más de 1000000 ciclos, las dimensiones son: altura 77mm, la anchura es de 45 mm, la profundidad es de 86 mm, se muestra gráficamente en la figura N° 69.



**Figura N° 74 Contactor LC1D09M7**

Fuente: Schneider electric

#### ❖ **BORNERAS:**

Para que se realice las conexiones entre los diversos componentes se requiere de una tira de borneras que permitan la distribución de electricidad a estos.

Además, se elige las borneras encima de los conectores porque al utilizarlos no surgen los problemas con la compatibilidad que provocan la unión de cables de diferentes formas. Cabe recalcar que estas borneras estarán a plena vista dentro del tablero con el fin del mantenimiento respectivo, se representan en la figura N° 75. Se es necesario bornera que tenga 2 entradas y el tipo de montaje simple, como lo es ajustable con un clip, se es conveniente utilizar el bloque de terminal NSYTRV22, que posee 2 entrada, el tipo de montaje es ajustable con un clip, la anchura de este es de 5,2 mm y la altura de 47,5 mm, el terminal es de tornillo, la longitud del cable para conectar es de 9 mm, la tensión nominal de empleo es de 1000 V y la corriente nominal de 24 A.

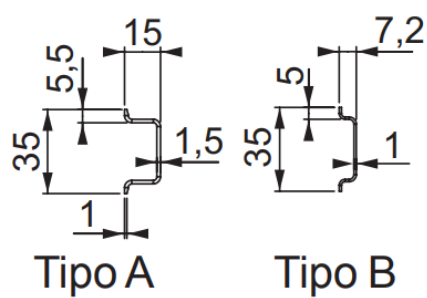


**Figura N° 75 Bloque de terminal NSYTRV22**

Fuente: Schneider electric

❖ **RIEL DIN:**

El riel din es la barra de metal que se utilizara para colocar los diversos elementos eléctricos y de mando del proceso, las características que se necesita tienen en cuenta los diversos dispositivos con anterioridad, por eso se requiere el riel perforado, de acero galvanizado esto para evitar la oxidación del mismo, dentro del catálogo de los dispositivos de Schneider electric, se tienen dos tipos de carriles perforados y con acero galvanizado, el A y el B, lo que le diferencian es que el primero tiene un grosor de 15 mm y el el segundo de 7,2 (la diferencia se observa en la figura N° 76), se elige el segundo ya que el grosor es menor y esto permitirá que los dispositivos no ocupen mucho espacio dentro del tablero, de manera gráfica se encuentra en la figura N° 77.



**Figura N° 76 Diferencia tipo A y tipo B**

Fuente: Schneider electric



**Figura N° 77 Riel Din NSYSDR200BD**

Fuente: Schneider electric

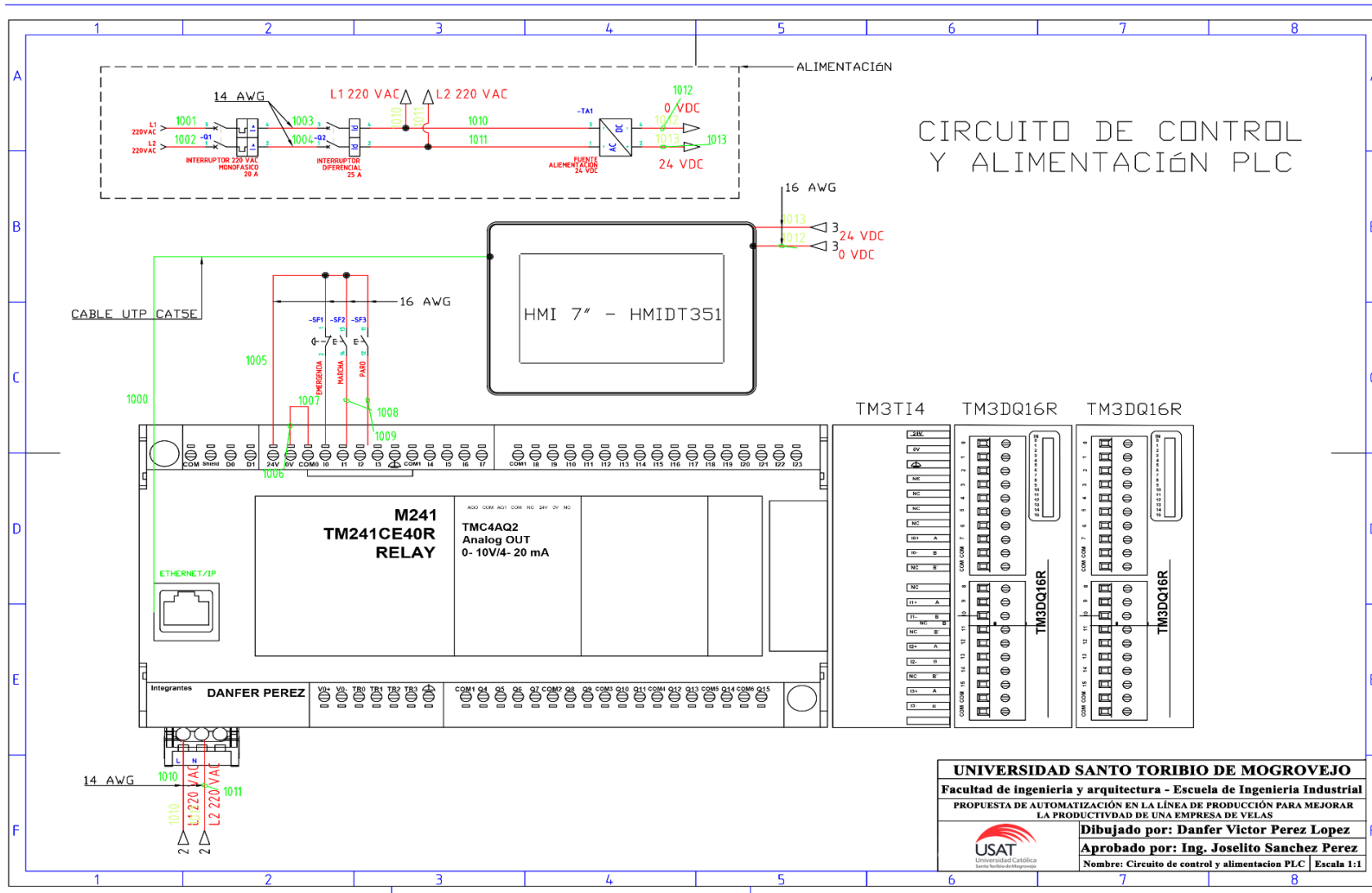
### 3.2.3 DIAGRAMA DE MOVIMIENTOS DEL PROCESO PRODUCTIVO DE VELAS EN LA EMPRESA DE VELAS

Tabla N° 50 Diagrama de movimientos

Dirección en Somachine	Descripción	60s	10s	10s	3s	10s	3s	10s	3s	10s	3s	10s	3s	10s
QXO.4	ELECTROVALVULA TANQUE													
QXO.5	ELECTROVALVULA MAQUINA 1													
QXO.6	ELECTROVALVULA DE PASO 1													
QXO.7	ELECTROVALVULA MAQUINA 2													
QX1.0	ELECTROVALVULA DE PASO 2													
QX1.1	ELECTROVALVULA MAQUINA 3													
QX1.2	ELECTROVALVULA DE PASO 3													
QX1.3	ELECTROVALVULA MAQUINA 4													
QX1.4	ELECTROVALVULA DE PASO 4													
QX1.5	ELECTROVALVULA MAQUINA 5													
QX1.6	ELECTROVALVULA MAQUINA 6													
QX1.7	MOTOR ELEVADOR MAQUINA 1													
QX8.0	MOTOR ELEVADOR MAQUINA 2													
QX8.1	MOTOR ELEVADOR MAQUINA 3													
QX8.2	MOTOR ELEVADOR MAQUINA 4													
QX8.3	MOTOR ELEVADOR MAQUINA 5													
QX8.4	MOTOR ELEVADOR MAQUINA 6													
QX8.5	MOTOR CORTADOR MAQUINA 1													
QX8.6	MOTOR CORTADOR MAQUINA 2													
QX8.7	MOTOR CORTADOR MAQUINA 3													
QX9.0	MOTOR CORTADOR MAQUINA 4													
QX9.1	MOTOR CORTADOR MAQUINA 5													
QX9.2	MOTOR CORTADOR MAQUINA 6													

Fuente: Elaboración propia

Se presenta el plano esquemático en la figura N° 78, en el anexo 40 se encuentra la leyenda del mismo.



**Figura N° 78 Plano esquemático**  
 Fuente: Elaboración propia en software CAD

### 3.2.4 REALIZACIÓN DE LÓGICA CONTROL PLC

Se explica la lógica dentro del software so machine junto a la ejecución del proyecto en formato vijeo, donde se visualiza los dispositivos que se utilizan en el proyecto, antes de la explicación cabe recalcar que el controlador programable utilizado es el TM241CE40R, tiene dos módulo de salidas digitales TM3DQ16R, un Módulo de entradas analógicas TM3MT4 y un cartucho TMC4AQ2, el cual se utiliza para salida de control 4-20 Ma, en el Plc se utiliza 3 de las entradas digitales para los dispositivos de mando físicos, los que son para marcha, paro y el botón de emergencia. Las salidas digitales por relé son en total 40, dentro de las cuales se encuentran las electroválvulas, motores, pilotos de señalización y las bombas. Para las salidas y entradas analógicas se ocuparon por las válvulas proporcionales y la termo resistencia PT100 respectivamente. El elemento de supervisión HMI empleado es el HMIDT351, aquí se demostrará lo realizado en el vijeo, es el facilitador para la visualización del estado de las electroválvulas y motores que están en funcionamiento, así como también para establecer el valor de la consigna de la temperatura ideal del proceso. A continuación, se presentarán las entradas y salidas que presenta el proyecto.

Tabla N° 51 Entradas digitales

<b>Entradas digitales</b>		
Canal	Tipo	Descripción
IO	BOOL	Entrada del botón de emergencia
I1	BOOL	Entrada del botón de marcha
I2	BOOL	Entrada del botón de paro

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 52 Entradas analógicas de TM3TI4/G

<b>Entradas analógicas de TM3TI4/G</b>		
Canal	Tipo	Descripción
IW1	INT	PT100

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 53 Salidas digitales

<b>Salidas digitales</b>		
Canal	Tipo	Descripción
Q4	BOOL	Electroválvula del tanque
Q5	BOOL	Electroválvula de la maquina 1
Q6	BOOL	Electroválvula de paso 1
Q7	BOOL	Electroválvula de maquina 2
Q8	BOOL	Electroválvula de paso 2

Q9	BOOL	Electroválvula de maquina 3
Q10	BOOL	Electroválvula de paso 3
Q11	BOOL	Electroválvula de maquina 4
Q12	BOOL	Electroválvula de paso 4
Q13	BOOL	Electroválvula de maquina 5
Q14	BOOL	Electroválvula de maquina 5
Q15	BOOL	Motor de enfriamiento

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 54 Salidas analógicas de TM3DQ16R/G

<b>Salidas analógicas de TM3DQ16R/G</b>		
Canal	Tipo	Descripción
Q0	BOOL	Motor de la maquina 2
Q1	BOOL	Motor de la maquina 3
Q2	BOOL	Motor de la maquina 4
Q3	BOOL	Motor de la maquina 5
Q4	BOOL	Motor de la maquina 6
Q5	BOOL	Motor de la maquina 1
Q6	BOOL	Motor de la maquina 2
Q7	BOOL	Motor de la maquina 3
Q8	BOOL	Motor de la maquina 4
Q9	BOOL	Motor de la maquina 5
Q10	BOOL	Motor de la maquina 6
Q11	BOOL	Luz de emergencia
Q12	BOOL	Luz de marcha
Q13	BOOL	Electrobomba de la caldera
Q14	BOOL	Electroválvula del motor de enfriamiento
Q15	BOOL	Electrobomba del motor de enfriamiento

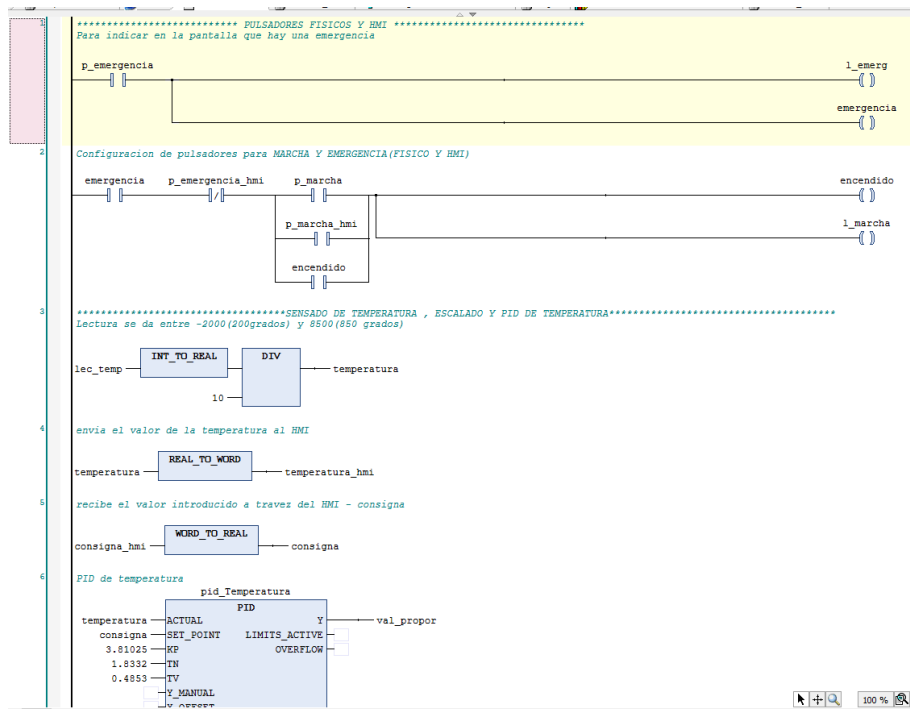
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 55 Salidas analógicas del segundo TM3DQ16R/G

<b>Salidas analógicas de TM3DQ16R/G</b>		
Canal	Tipo	Descripción
Q0	BOOL	Inversor de giro del motor elevador 1
Q1	BOOL	Inversor de giro del motor elevador 2
Q2	BOOL	Inversor de giro del motor elevador 3
Q3	BOOL	Inversor de giro del motor elevador 4
Q4	BOOL	Inversor de giro del motor elevador 5
Q5	BOOL	Inversor de giro del motor elevador 6
Q6	BOOL	inversor de giro del motor de corte 1
Q7	BOOL	inversor de giro del motor de corte 2
Q8	BOOL	inversor de giro del motor de corte 3
Q9	BOOL	inversor de giro del motor de corte 4
Q10	BOOL	inversor de giro del motor de corte 5
Q11	BOOL	inversor de giro del motor de corte 6

Fuente: Elaboración propia

Para el inicio del proceso de automatización se debe configurar la temperatura de consigna, el cual es 75°C, esto se dará a través del elemento de supervisión (HMI), que al presionar en temperatura se apertura un teclado el cual permite colocar la temperatura, como se reflejado en la figura N°80. Este proceso se ve reflejado en la línea 3 y 4 de la figura N° 79, donde la lectura solo se da entre -2000 que representa 200 grados y 8500 que representa 850 grados, al colocar los 75°C el programa realizara una lectura de la temperatura, pero aun no realizara ninguna acción hasta que se lo indique, para esto hay dos opciones, iniciando mediante el panel HMI o presionando físicamente el pulsador de marcha. Ya iniciado el proceso, se trata de alcanzar y mantener la temperatura consigna que es 75°C.

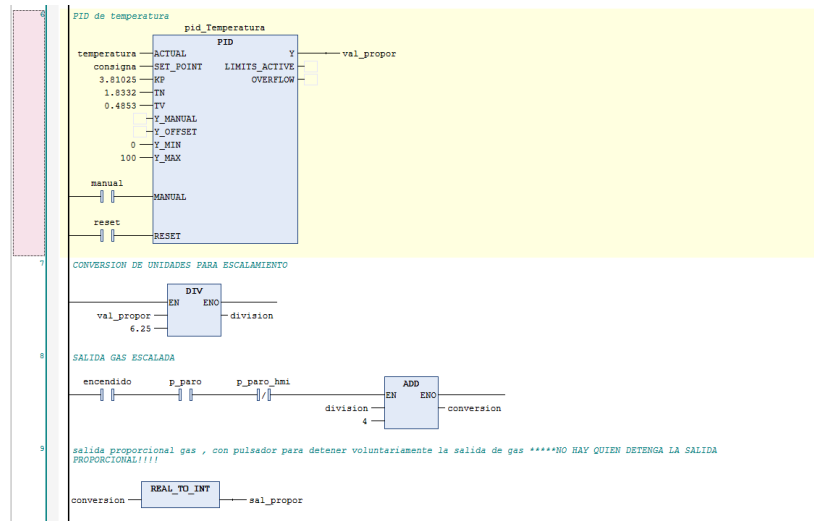


**Figura N° 79 Lógica realizada en Somachine**  
Fuente: Elaboración propia en Somachine



**Figura N° 80 Proyecto plasmado en Vijeo**  
Fuente: Elaboración propia en Somachine

Para que se alcance y mantenga la temperatura consigna se debe controlar la apertura de la válvula proporcional, el cual permite regular automáticamente la cantidad de gas que se debe suministrar al horno, siendo “100%” la apertura total de la válvula proporcional y “0%” significaría el cierre total de la válvula, cabe recalcar si es necesario aumentar o disminuir la cantidad de fuego que se administre la válvula proporcional puede tomar cualquier valor entre 0-100%, este valor se ve reflejado en la figura N° 82. La válvula proporcional, como se explicó con anterioridad realiza esta actividad mediante el controlador PID, el cual mediante la temperatura consigna (set point), figura N° 81, halla la proporción que debe tener la salida de gas. Cabe recalcar que si la temperatura se encuentra entre 75-80°C la electrobomba estará lista para ser accionada. Es por eso que cuando la parafina haya alcanzado su temperatura ideal, se presiona “encender” en la columna de bombeo de parafina que se aprecia en la figura N° 82.



**Figura N° 81** Lógica realizada en So machine

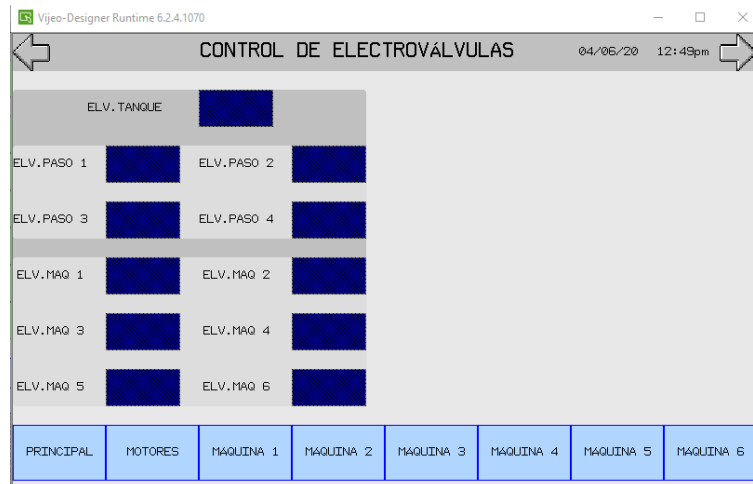
Fuente: Elaboración propia en So machine



**Figura N° 82** Proyecto plasmado en Vijeo

Fuente: Elaboración propia en So machine

Entonces, el operario alimenta la caldera con parafina sólida, introduce la temperatura consigna y enciende la máquina para que la válvula proporcional realice su trabajo, la parafina solida se funde y se encuentra en parafina liquida lista para circular por los tubos para alimentar a las máquinas de velas, este proceso se realiza mediante una secuencia coordinada de tiempo el cual incluye la apertura de válvulas y motores en funcionamiento como se visualiza en la figura N° 83. El recorrido tiene inicio con la apertura de la electroválvula del tanque, esto se realiza durante 10 segundos, esta electroválvula permite el paso de la parafina hacia las máquinas de vela, como se aprecia en la figura N° 83 (electroválvula 1), y así de manera ordenada se apertura las electroválvulas de paso, comenzando por las electroválvulas de paso número 1 y 2, en la figura N° 84 se observa en la lógica realizada en el so machine las electroválvulas de paso.

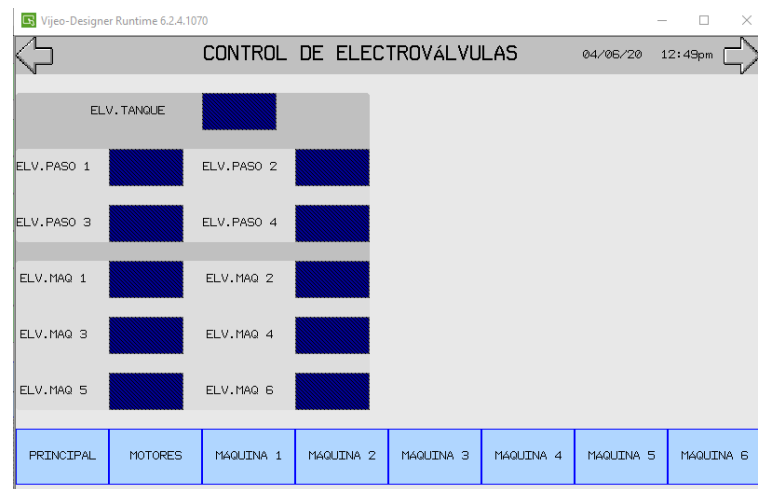


**Figura N° 83 Proyecto plasmado en Vijeo**  
Fuente: Elaboración propia en So machine

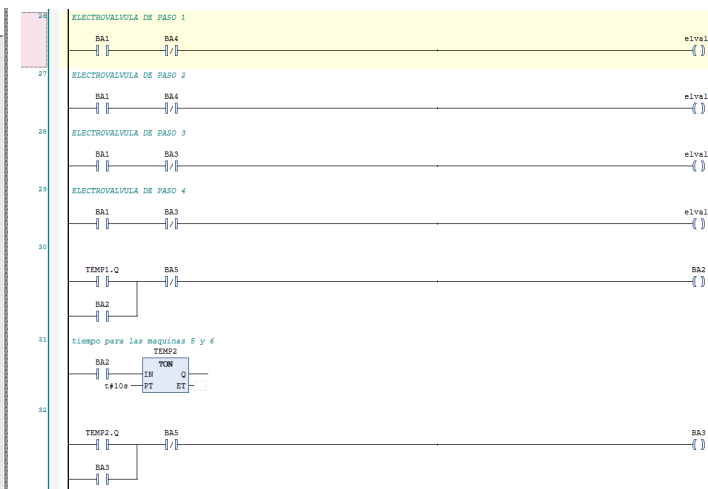


**Figura N° 84 Proyecto plasmado en Vijeo**  
Fuente: Elaboración propia en So machine

Para el llenado de las maquinas se inicia con las ultimas máquinas (5 y 6), ya que se apertura todas las electroválvulas de paso para que la parafina liquida se deslice hasta el final, seguido se apertura las válvulas de estas máquinas para así poder llenar de manera ordenada las maquinas, al culminar los 10 segundos, que es el tiempo en que las maquinas son alimentadas se aprecia en la figura N° 86 en la línea 31 de la lógica, este tiempo se adecuo del proceso de elaboración actual de la empresa, se cierran las electroválvulas de paso 3 y 4, y las electroválvulas de las maquinas 5 y 6; se prosigue a aperturar las electroválvulas de las maquinas 3 y 4 para el proceso de llenado, también en el tiempo de 10 segundos, pasado este tiempo se cierran las electroválvulas de las maquinas 3 y 4 y las electroválvulas de paso 1 y 2; para finalizar el proceso de llenado, se apertura las electroválvulas de las maquinas 1 y 2 para el llenado de estas máquinas. Este proceso es automático, pero si es que sucede algún problema se puede detener mediante el botón de emergencia. Los botones que representan los cuadros azules en la figura N° 85 son referencia a su funcionamiento, cuando estos están en acción tendrán un color más encendido.

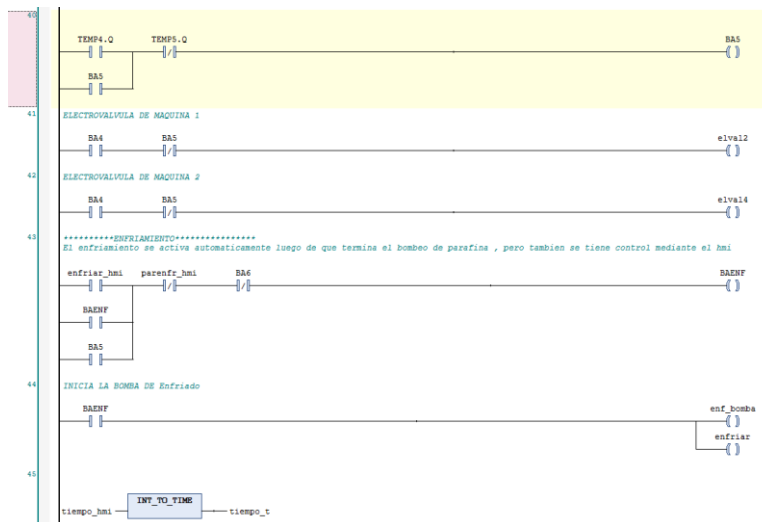


**Figura N° 85 Proyecto plasmado en Vijeo**  
Fuente: Elaboración propia en So machine



**Figura N° 86 Proyecto plasmado en Vijeo**  
Fuente: Elaboración propia en So machine

Inmediatamente terminando el bombeo de parafina a las máquinas, se inicia automáticamente el enfriamiento, como se aprecia en la figura N° 87 línea número 43 de la lógica, cabe recalcar que a pesar de ser automático se vio pertinente colocar un botón de apagado y encendido en el HMI, esto con el fin de prevenir algún accidente, dentro de la columna bombeo de agua, se aprecia en la figura N° 88, también se observan dos indicadores azules los cuales indicarían el funcionamiento de la electrobomba y la electroválvula.

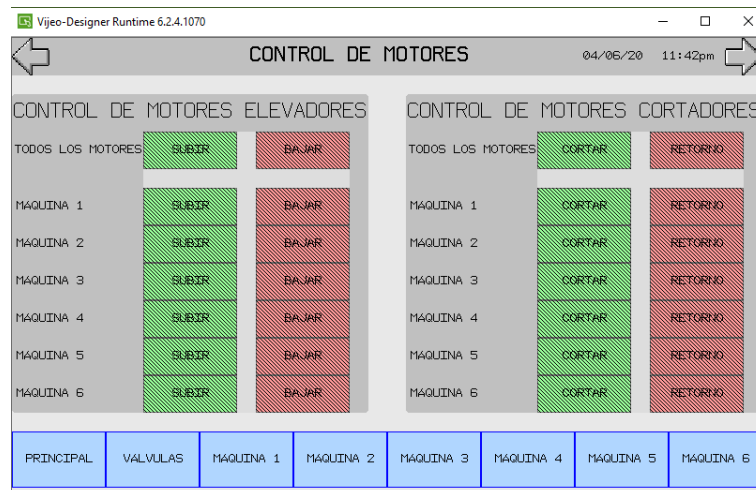


**Figura N° 87 Proyecto plasmado en So Machine**  
Fuente: Elaboración propia en So machine

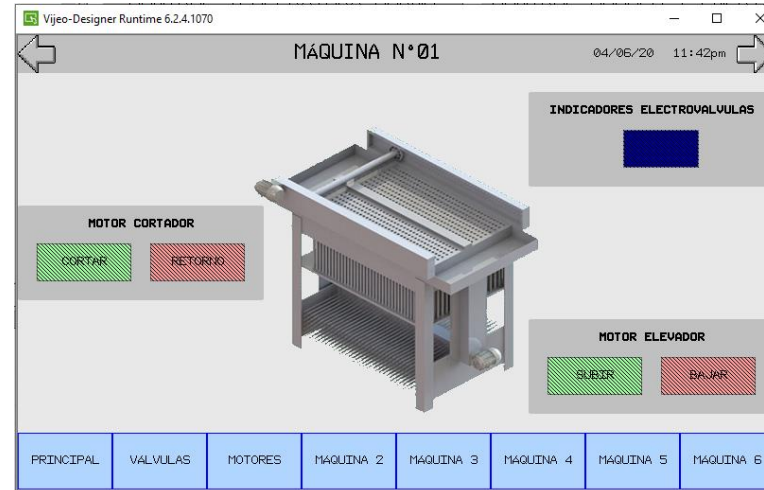


**Figura N° 88 Lógica realizada en Vijeo**  
Fuente: Elaboración propia en So machine

Terminado el proceso de llenado y enfriamiento se prosigue al proceso de elevación de los moldes, esto se realiza de una manera automática, en el HMI se mostrará tal cual se aprecia en la figura N°83, donde se optó a que fuese controlada por el operario y no de manera automática, para que este realice una verificación visual a la máquina de velas antes de realizar este proceso, entonces cuando termine esta verificación y este conforme con ningún defecto en el proceso, este presionara el botón “subir” en la fila de todos los motores en la parte de “control de motores elevadores” como se muestra en la figura N°89, esto apertura el funcionamiento de todos los motores elevadores. También se puede realizar el accionamiento de los motores en el panel individual de las maquinas, esto se visualiza en la figura N° 90 donde se aprecian 3 cosas importantes, el indicador de electroválvula, indica que la maquina está siendo alimentada, el motor cortador permite que el motor de esta máquina se active o se apague, corresponderá al botón que se presiona, y lo mismo con el motor elevado. Luego de realizar este proceso, el operario deberá inspeccionar que los motores elevadores hayan realizado correctamente su tarea y por consiguiente accionar el botón “cortar” de la fila de todos los motores que corresponde a la columna control de motores cortadores de la figura N°89.



**Figura N° 89 Proyecto plasmado en Vijeo**  
Fuente: Elaboración propia en So machine



**Figura N° 90 Lógica realizada en So machine**  
Fuente: Elaboración propia en So machine

### 3.2.5 Nuevos indicadores de productividad

Se realiza la evaluación de mejora según la identificación de los problemas en el sistema de producción de velas que se ya se realizó (Pag. 32), los cuales generaban baja productividad en la empresa de velas.

#### A) Reprocesos

Causa: Errores del operario al manipular la máquina de velas

Se propone:

- Sistema de control para el proceso de velas mediante PLC, mediante esta mejora los operarios solo manipularán el interfaz hombre máquina (HMI) a través de este realizarán el proceso y la manipulación de las velas cuando termine el proceso. Evitando que el operario esté cerca de las máquinas con el fin de evitar accidentes laborales, ya que en el proceso convencional el operario estaba en contacto permanente con un líquido a temperatura elevada, si se provocaba un accidente por este líquido se establecía como una lesión “muy grave” por causar una quemadura de segundo grado y si es una cantidad considerable podría pasar a una quemadura de tercer grado pagando una multa de **S/ 7 310 soles**, y con el sistema implementado la empresa evitaría pagar esta cantidad. Además este nuevo sistema de control evita la mala manipulación de la máquina que causaba reprocesos.

Con el fin de observar las variaciones que han ocurrido en el tiempo del proceso se realiza el diagrama hombre máquina actual. En base al diagrama hombre máquina (Tabla N°15) y las nuevas actividades que realiza el sistema automatizado se presenta el siguiente diagrama hombre máquina con los tiempos mejorados.

Tabla N° 56 Diagrama hombre máquina del proceso de velas después de la propuesta.

Diagrama hombre-maquina					
Operación	Fundido, enfriado y moldeado de las velas				
Maquina tipo	Máquina de velas y horno				
Área	de producción				
Operador		Horno/caldera		Máquina de velas	
Descripción	Escala de tiempo (min)	Descripción	Escala de tiempo (min)	Descripción	Escala de tiempo (min)
Carga y descarga	04:46				
Camino al horno	02:00				
		Fundir la parafina solida	10:00		
				Enfriado y moldeado de la parafina liquida	15:00
				Elevación de las velas	00:15
				Corte del hilo pabilo	00:15
Colocar las velas en recipiente para el transporte	1:30				
Transporte del molde exterior al área de empaque	00:43				
TOTAL DE MINUTOS	8:59	TOTAL DE MINUTOS	10:00	TOTAL DE MINUTOS	15:30

Fuente: Elaboración propia

Entonces el nuevo indicador para este diagrama hombre maquina es:

$$\text{Saturacion del operario} = \frac{\text{Tiempo productivo del operario}}{\text{Tiempo de ciclo}} \times 100$$

$$\text{Saturacion del operario} = \frac{8,59}{34,29} \times 100$$

$$\text{Saturacion del operario} = 25,05\%$$

El operario con el nuevo sistema automatizado esta saturado en un **25%**, a pesar de que se ha reducido un 4%, ahora el operario ya no tiene contacto con la parafina liquida que

esta a una temperatura elevada, ni mucho menos carga la parafina liquida de la caldera a la maquina de velas, esta accion puede causar un daño leve al operario, que a pesar ser daños reversibles, se tiene que pagar una multa por daño leve que es la cantidad de **S/. 860**, con el nuevo sistema automatizado se evita esta multa.

$$Productividad(MO) = \frac{Piezas\ fabricadas}{Tiempo\ de\ fabricacion\ x\ \#operarios}$$

$$Productividad\ (MO) = \frac{256\ velas}{34,29\ minuto\ * 1\ operario} = 7,47 \frac{velas}{minuto\ operario}$$

En un turno de 6 horas

$$Productividad(MO) = 7,47 \frac{velas}{minutos\ operario} * 60 \frac{min}{h} * 6 \frac{h}{dia}$$

$$Productividad\ (MO) = 2\ 689,2 \frac{velas}{turno}$$

Si el proceso actual co la mejora requiere de 34,29 minutos para la realizacio de una maquina en un turno de 6 horas (360 minutos) se deben realizar 10 veces el proceso, es decir 2 560 velas por turno, es decir la productividad de la automatizacion es de 0.95% En una produccion de 2 689,2 velas por turno, El consumo de energia en funcion a los motores de 3 HP seria:

$$3\ Hp = 2\ 237,1\ W\ x\ 6\ horas = 13,4\ kWh$$

$$Consumo\ de\ energia = \frac{Produccion\ de\ 1\ maquina\ por\ turno}{kWh\ consumidos\ en\ la\ maquina}$$

$$Consumo\ de\ energia = \frac{256\ unidades}{13,4\ kWh} = 19,10 \frac{Unidades}{kWh}$$

Por cada kWh consumido por la maquina de velas se elaboran 19.10 unidades de velas.

#### B) Falta de control

Causa: Metodos de trabajo sin estandarizar

Se propone:

- Sistema de control para el llenado de las maquinas de velas mediante PLC, este nuevo sistema permitira que el operario no realice el trabajo solo con antecedente de su experiencia, mas bien que mediante la automatizacion se estandarice el tiempo de llenado y el corte del hilo pabilo sea preciso y evitar pasar el cortado dos veces, accion que causaba cortes en la parte inferior de la vela y por ende se colocaban como velas defectuosas para reproceso

$$\text{Eficiencia de la maquina} = \frac{\text{Tiempo que añade valor al producto}}{\text{Tiempo total de ciclo}} \times 100$$

$$\text{Eficiencia de la maquina (caldera)} = \frac{10 \text{ minutos}}{34,29 \text{ minutos}} \times 100 = 29,41\%$$

$$\text{Eficiencia de la maquina (enfriamiento)} = \frac{15,30 \text{ min}}{34,29 \text{ min}} \times 100 = 44,12\%$$

El indicador eficiencia de la maquina se tomo por separado porque el proceso actual asi lo esta, aunque gracias a la automatizacion estas dos maquinas se complementan y forman una sola, de igual forma se analiza la eficiencia de la caldera y enfriamiento por separado, por analisis de estas, la eficiencia de la caldera ha disminuido en **7.49%** pero esto no significa que la maquina ha sido afectada negativamente, mas bien, ha disminuido porque el tiempo de fundido de la vela ahora es mas rapido por ende toma menos tiempo. Para la maquina de velas el enfriamiento tiene un aumento de **7.22%** ya que es donde mas tiempo pasa el producto. Para el caso de la automatizacion se observa que las dos maquinas, tanto caldera como la maquina de velas que realiza el enfriamiento son 1 misma maquina por eso se tomara como tal, entonces la eficiencia de la maquina seria:

$$\text{Eficiencia de la maquina (caldera)} = \frac{25,30 \text{ minutos}}{34,29 \text{ minutos}} \times 100 = 73,53\%$$

Para la productividad actual que tiene la empresa 0.025 cajas por cada sol invertido, pues con la automatizacion se ve elevado en poco porcentaje pero significativo en un volumen grande.

### **Productividad**

Recursos en un año

- Mano de Obra: S/ 36 000 (2 operarios altamente capacitados con el HMI de la automatización, se le pagaría 1500 por mes)
- Insumos: S/1 967 587.56
  - Parafina: S/ 1 763 153,68
  - Cajas de papel: S/ 89 984,16
  - Balón de gas: S/ 1 550
  - Pabilo: S/ 34 379,52
  - Cajas: S/ 56 280
  - Etiqueta: S/ 23 040

Goma: S/ 2 200,2

- Energía: S/2 829

Tabla N° 57 Energía consumida por la empresa

DISPOSITIVO	Corriente nominal (kw)	Costo por kw/h	Subtotal
LLAVE TERMOMAGNETICA GENERAL	12	0,5851	7,0212
GUARDAMOTOR	0,6	0,5851	0,35106
CONCTACTOR	2,2	0,5851	1,28722
LLAVE TERMOMAGNETICA	12	0,5851	7,0212
LLAVE DIFERENCIAL	6	0,5851	3,5106
FUENTE ALIMENTACION	0.06	0,5851	0,035106
SENSOR PT100	1,6	0,5851	0,93616
ELECTROVALVULAS	0,011	0,5851	0,0064361
VALVULA PROPORCIONAL	0,00047	0,5851	0,000274997
HMI	0,0065	0,5851	0,00380315
PLC	0,048	0,5851	0,0280848
MODULO EXPANSION TM3	0,2	0,5851	0,11702
MODULO EXPANSION TM3	0,2	0,5851	0,11702
CARTUCHO	0,0002	0,5851	0,00011702
Oficina y otros	368	0,5851	215,3168
<b>Total</b>	34,92617		235,7521021

Fuente: Elaboración propia

- Agua: S/12 000

$$Productividad = \frac{Producción}{Recursos}$$

$$Productividad \text{ en un año} = \frac{57\ 717 \text{ velas}}{2\ 018\ 487,56 \text{ soles}}$$

$$Productividad \text{ en un año} = 0,029 \text{ velas/soles}$$

Por cada sol invertido realizaran 0,029 velas, a pesar de que el aumento de la productividad analizado por los recursos implementados es bajo, se propone la utilización de otra materia prima, como la capacitación de los colaboradores que empacan para la mejor utilización de goma y obtener una disminución en soles de esta.

### 3.2.6 Cuadro comparativo de Indicadores

En la tabla 58 se muestran los nuevos indicadores después de la mejora, con lo cual se permite demostrar que la automatización trae mejoras a la productividad de un proceso, excluyendo parcialmente el factor humano que interviene en él y a su vez disminuyendo el factor riesgo gracias a esa ausencia [37], es por esta razón que mediante la automatización del proceso se logró un incremento en la productividad de mano de obra hasta un 95,19%, así mismo se permitió disminuir la probabilidad de que ocurran accidentes a los trabajadores ya que no intervendrá en su mayoría el factor humano, favoreciendo a la empresa en el ahorro de multas posibles de hasta S/ 8 170,00.

Tabla N° 58 Comparación de indicadores

Causa	Indicador Actual	Indicador con mejora
Errores del operario al manipular la máquina de velas	FFT = 97,41% Tiempo ciclo = 42,25 minutos Saturación del operario = 29% Productividad Mano de obra - Día= $5\,235 \frac{\text{velas}}{\text{día hombre}}$ - Hora= $614,44 \frac{\text{velas}}{\text{hora hombre}}$ - Productividad = 30%	FFT = 100% Tiempo ciclo = 34,29 minutos Saturación del operario = 25.05% Productividad Mano de obra= - Día = $60\,560,784 \frac{\text{velas}}{\text{día hombre}}$ - Hora = $2\,523,36 \frac{\text{velas}}{\text{h hombre}}$ - Productividad = 95,19%
Metodos de trabajo sin estandarizar	Eficiencia de la maquina = - Caldera = 36,9% - Enfriamiento = 36,9% Productividad Recursos = 0,025 velas/soles	Eficiencia de la maquina = 73,53% Productividad Recursos = 0,029 velas/soles

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.7 Análisis costo beneficio

El proyecto a realizar tendrá sustento para realizarse por los indicadores y por el análisis costo beneficio que este tenga, para ello se indagará los precios de los componentes a utilizar y así obtener el Van y el Tir que nos permitirán conocer el tiempo de recuperación de la inversión. Para los materiales que se utilizarán serán cotizados por distribuidoras como Schneider electric, promart entre otras compañías que proveen estos productos.

Tabla N° 59 Coste del sistema propuesto (Bienes tangibles)

<b>DISPOSITIVO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO</b>	<b>PRECIO TOTAL</b>
LLAVE TERMOMAGNETICA GENERAL	1	218,78	218,78
GUARDAMOTOR	12	312,77	3753,24
CONCTOR	24	131,12	3146,88
LLAVE TERMOMAGNETICA	1	98,18	98,18
LLAVE DIFERENCIAL	1	182,31	182,31
CABLE 16 AWG		150	150
CABLE 14 AWG (GALVANIZADO)	1	418	418
CABLE 6 AWG		100	100
FUENTE ALIMENTACION	1	1700	1700
TABLERO MURAL	1	597,02	597,02
Riel DIN	1	30,42	30,42
Borneras	50	3,18	159
PULSADOR VERDE	1	51,79	51,79
PULSADOR ROJO	1	51,79	51,79
PULSADOR EMERGENCIA	1	101,31	101,31
PILOTO VERDE	1	91,95	91,95
PILOTO ROJO	1	91,95	91,95
SENSOR PT100	1	1 500	1 500
ELECTROVALVULAS	11	1 000	11 000
VALVULA PROPORCIONAL	1	1 000	1000
HMI	1	2 026,16	2 026,16
PLC	1	2 226,25	2 226,25
MODULO EXPANSION TM3	1	905,68	905,68
MODULO EXPANSION TM3	2	709,93	1 419,86
CARTUCHO	1	779,6	779,6
HERRAMIENTAS PARA MANTENIMIENTO	1	1 200	1 200
MANTENIMIENTO PREVENTIVO	1	1 000	1 000
<b>Total</b>			34 000,17

Fuente: Elaboración propia

Para el análisis del costo beneficio se ve necesario analizar la depreciación de la inversión fija, se utilizará una depreciación de 18%. Teniendo en cuenta que el valor de depreciación se mantiene durante los años.

Tabla N° 60 Depreciación de inversión fija

<b>DISPOSITIVO</b>	<b>PRECIO TOTAL</b>	<b>Depreciación anual (18%)</b>
LLAVE TERMOMAGNETICA GENERAL	218,78	39,3804
GUARDAMOTOR	3753,24	675,5832
CONTACTOR	3146,88	566,4384
LLAVE TERMOMAGNETICA	98,18	17,6724
LLAVE DIFERENCIAL	182,31	32,8158
CABLE 16 AWG	150	27
CABLE 14 AWG (GALVANIZADO)	418	75,24
CABLE 6 AWG	100	18
FUENTE ALIMENTACION	1 700	306
TABLERO MURAL	597,02	107,4636
Riel DIN	30,42	5,4756
Borneras	159	28,62
PULSADOR VERDE	51,79	9,3222
PULSADOR ROJO	51,79	9,3222
PULSADOR EMERGENCIA	101,31	18,2358
PILOTO VERDE	91,95	16,551
PILOTO ROJO	91,95	16,551
SENSOR PT100	1 500	270
ELECTROVALVULAS	11 000	1 980
VALVULA PROPORCIONAL	1 000	180
HMI	2 026,16	364,7088
PLC	2 226,25	400,725
MODULO EXPANSION TM3	905,68	163,0224
MODULO EXPANSION TM3	1 419,86	255,5748
CARTUCHO	779,6	140,328
Herramientas para mantenimiento	1 200	216
Mantenimiento preventivo	1 000	180
<b>Total</b>	<b>34000,17</b>	<b>6120,0306</b>

Fuente: Elaboración propia

Para la inversión intangible se analizará los gastos que se realizan en la fase de construcción del proyecto, también pueden ser denominados como costos operativos del proyecto en la fase de funcionamiento

Tabla N° 61 Bienes intangibles

<b>DESCRIPCION</b>	<b>TOTAL S/.</b>
Estudios técnicos de investigación	7 581
Servicio de instalación de equipos	10 000
Trámites para instalación	1 000
<b>TOTAL</b>	<b>18 581</b>

Fuente: Elaboración propia

Para que la automatización opere con normalidad se requiere de un capital de trabajo el cual será utilizado para la atención del inicio de las operaciones de producción. Es decir, como capital de trabajo, se refiere a una cantidad monetaria que circulara y facilitara la operación del proyecto con normalidad.

Tabla N° 62 Capital de trabajo

<b>DESCRIPCION</b>	<b>TOTAL S/.</b>
Capital de trabajo	36 000
Imprevistos	930
<b>TOTAL</b>	<b>36 930</b>

Fuente: Elaboración propia

En resumen, la inversión total del proyecto estaría abarcada por:

Tabla N° 63 Inversión total del proyecto

<b>DESCRIPCION</b>	<b>TOTAL S/.</b>
Inversión tangible	34 000,17
Inversión Intangible	18 581
Capital de trabajo	36 930
<b>TOTAL DE INVERSION</b>	<b>89 511,17</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 64 Calculo del VAN y TIR del proyecto a realizar

BENEFICIOS	Unidad	0	1	2	3	4	5	
Multa por accidentes	S/.	S/. 0.00	S/. 8 170,0	S/. 8 170,0	S/. 8 170,0	S/. 8 170,0	S/. 8 170,0	
Perdida de utilidad	S/.		S/. 34 070,4	S/. 34 070,4	S/. 34 070,4	S/. 34 070,4	S/. 34 070,4	
Impacto economico por falta de capacitacion	S/.		S/. 17 035,2	S/. 17 035,2	S/. 17,035,2	S/. 17,035.2	S/. 17,035.2	
<b>Total Beneficios</b>		S/. 0.00	S/. 59 275,6	S/. 59 275,60	S/. 59 276	S/. 59 275,60	S/. 59 276	S/. 213 675
<b>COSTOS</b>								
Capital de trabajo	S/.	S/. 36,930	S/. 30 000,00	S/. 30 000	S/. 30,000,00	S/. 30,000,00	S/. 30 000,00	
Compra de hardware	S/.	S/. 34,000.2	S/. 0.00	S/. 0.00	S/. 0,00	S/. 0.00	S/. 0,00	
Capacitacion del personal	S/.	S/. 10,636	S/. 3 000,00	S/. 3 000	S/. 3,000,00	S/. 3,000,00	S/. 3 000,00	
<b>Total Costos</b>		S/. 70 930.2	S/. 30 000.00	S/. 30 000,00	S/. 30 000,0	S/. 30 000,00	S/. 30 000,0	S/. 145 826,7
<b>UTILIDAD BRUTA</b>		-S/. 70,930.2	S/. 29 275,6	S/. 29 275,60	S/. 29,276	S/. 29,275.60	S/. 29,276	
Depreciación			6 120,0306	6 120,0306	6 120,0306	6 120,0306	6 120,0306	
<b>Utilidad a Impuestos</b>			S/. 35 396	S/. 35 395,63	S/. 35 396	S/. 35 395,63	S/. 35 396	
<b>Impuestos</b>			S/. 10 618,69	S/. 10 618,69	S/. 10 618,7	S/. 10 618,69	S/. 10 619	
<b>UTILIDAD NETA</b>		-S/. 70 930	S/. 24 777	S/. 24 776,94	S/. 24 777	S/. 24 776,94	S/. 24 777	S/. 89 315,33

VNA	S/. 89 315
TIR	22%
B/C	1,4652

Fuente: Elaboración propia

El Van, el Tir y el beneficio/costo nos permite tomar decisiones sobre si el proyecto es viable o no, como se observa los resultados de estos indicadores nos mencionan que, en beneficio/costo, por cada sol invertido se obtiene 0,4652 soles. Además, se tiene una tasa interna de retorno de 22% que comparado con el 12% que es la tasa referencial de descuento económico es superior, por lo cual hace rentable la propuesta de automatización del proceso de producción de velas. El valor neto actual es de S/ 89 315 lo cual hace referencia al monto de las utilidades en los cinco años proyectados. También se debe conocer el tiempo de recuperación de la inversión que se realiza en la propuesta.

Tabla N° 65 Periodo de recuperación

Año	0	1	2	3	4	5
Ingreso		S/. 24 776,9	S/. 24 776,9	S/. 24 776,9	S/. 24 776,9	S/. 24 776,9
Inversión	-S/. 70 930,17					
Saldo		46 153,22				

Fuente: Elaboración propia

El periodo de recuperación sería:

$$\frac{S/70\ 930,17}{S/24\ 776,9} = 2,86 \text{ años}$$

El tiempo de recuperación de la inversión realizada se dará en un plazo de 2 años 8 meses aproximadamente. Se considera un plazo aceptable para la recuperación del monto invertido. Por lo tanto el proyecto es económicamente aceptable.

## IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- A través del diagnóstico realizado del proceso de producción de velas se logró analizar que existen dos causas importantes que conllevan a la baja productividad de la empresa: Errores del operario al manipular la máquina de velas y los Metodos de trabajo sin estandarizar.
- Se propuso un sistema automatizado el cual mejorar la productividad del proceso, los proceso que son parte de este sistema es la fundicion de la parafina solida, el transporte de la misma hacia las maquinas, el llenado de las maquinas con parafina liquida y el enfriamiento y moldeado dentro de la misma, para ello se realizo los calculos necesarios para la selección de cada componente, ademas se presento el diseño en software solid works, el plano esquematico y la programacion del PLC TM241E40R en el software so machine. Se logra a través de la automatización que el proceso productivo cuente con una eficiencia 73,53%, es decir tuvo un aumento de 36,63% al proceso actual. Además, que el sistema automatizado logro que el 100% de velas sean producidas, o realizadas a la primera vez, lo cual representa un aumento de 2,59% frente al proceso actual. Asimismo, el porcentaje de saturación del operario se redujo en 3,95% frente al proceso actual, también dentro de la saturación se menciona que el operario ya no cargara el balde de parafina liquida hacia la máquina de velas, se anula todo contacto con el líquido que se encuentra a 75° C, la productividad mano de obra aumento en 55 325.784 velas por día hombre comparado con el proceso actual.
- El sistema automatizado propuesto logra eliminar las causas de la baja productividad del proceso, donde se obtiene dentro del análisis costo beneficio que por cada sol que se invierte se obtiene S/. 0,4652, la tasa interna de retorno es de 22%, con un valor neto actual de S/. 89 315 a un plazo de 5 años con un periodo de recuperación de 2 años aproximadamente, siendo el proyecto viable para su funcionamiento

### 4.2 Recomendaciones

- El presente proyecto sugiere realizar nuevas investigaciones, como un nuevo estudio de tiempos que se puede mejorar a traves de un mejor flujo del agua que interviene en el enfriamiento, proceso que se convertiria en cuello de

botella, además de implementar una faja transportadora que alimente a la caldera con el fin de disminuir la participación del operario dentro del proceso.

## V. REFERENCIAS

- [1] A. Simoes, «The observatory of economic complexity,» 2016. [En línea]. Available: <https://atlas.media.mit.edu/es/profile/hs92/3406/>. [Último acceso: 22 01 2019].
- [2] A. Espejo, «Las lágrimas de las velas,» *Asociación Europea de Productores de Velas*, nº 1, pp. 2-7, 2015.
- [3] C. s. Propio, «www.youtube.com,» 06 septiembre 2013. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=WraeOgWBf9w>. [Último acceso: 09 abril 2019].
- [4] D. Perez, Cambio del modelo de negocio, implicaciones locales y regionales en el municipio de Entreríos: estudio de caso de la empresa Velas y Velones San Jorge., Lisboa: Institute of Education and Sciences, 2016.
- [5] P. Esteban, «SCADA systems in the industrial automation,» *Tecnología en Marcha*, vol. 28, nº 4, pp. 3-14, 2015.
- [6] E. Pérez, «Propuesta de automatización en bodega de productoterminado en industria manufacturera de productos de higiene personal en Costa Rica,» *InterSedes*, vol. 16, nº 34, pp. 1-20, 2015.
- [7] g. Gonzáles y f. Rodríguez, «Automatización de una planta industrial de alimentación mediante control distribuido,» *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, nº 27, pp. 1-17, 2018.
- [8] J. Velasquez y J. Gonzales, «Prototipo automatizado para el llenado y tapado de botellas,» *Industrial Data*, vol. 20, nº 1, pp. 125-130, 2017.
- [9] E. Fernández, L. Avella y M. Fernández, Estrategia de producción, Madrid: McGraw-Hill, 2003.
- [10] G. Kanawaty, Introduccion al estudio del trabajo, Mexico: Limusa, 2006.
- [11] Diaz, J. B. Bertha y M. Noriega, Disposicion de planta, Lima: Universidad de Lima, 2013.
- [12] R. Piedrafita, Ingenieria de la automatizacion industrial, Mexico: Alfaomega, 2004.
- [13] A. Roca, Control automatico de procesos industriales, España: Diaz de santos S.A, 2014.
- [14] K. Ogata, Ingenieria de control Moderna, Madrid: Pearson Educacion, 2008.
- [15] m. Galarreta, «<http://repositorio.promperu.gob.pe>,» 2014 octubre 01. [En línea]. Available: [http://repositorio.promperu.gob.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/764/Fundamentos\\_sistema\\_gestion\\_seguridad\\_salud\\_ocupacional\\_ohsas\\_180012007\\_ley\\_29783\\_2014\\_keyword](http://repositorio.promperu.gob.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/764/Fundamentos_sistema_gestion_seguridad_salud_ocupacional_ohsas_180012007_ley_29783_2014_keyword)

\_principal.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Último acceso: 08 enero 2019].

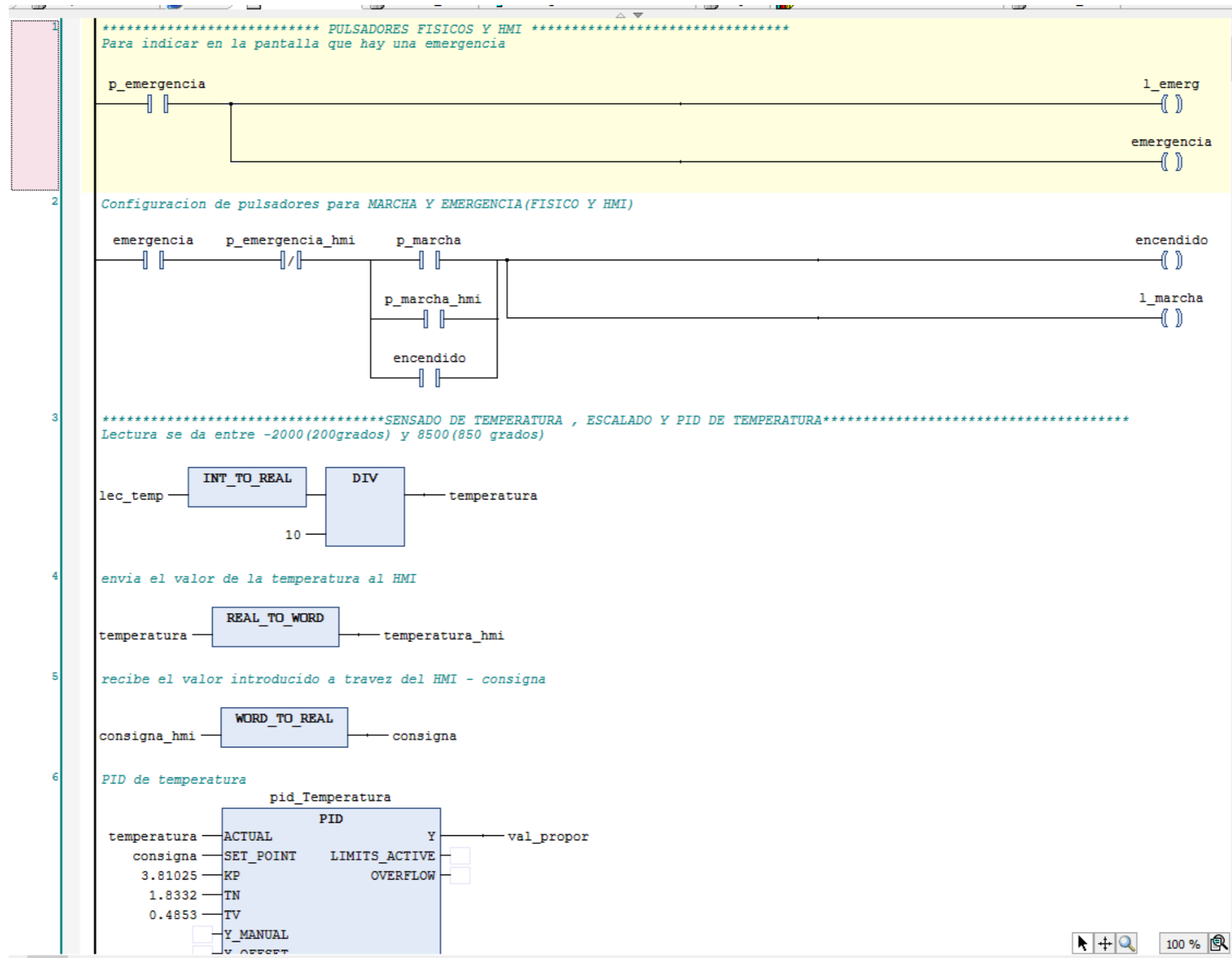
- [16] D. Sule, *Instralaciones de manufactura*, Mexico: Thomson Learning, 2001.
- [17] F. Parra, *Gestion de Stocks*, Madrid: Esic Editorial, 1999.
- [18] L. N°29571, «Indecopi,» 02 09 2010. [En línea]. Available: <https://www.indecopi.gob.pe/documents/20195/177451/CodigoDProteccionyDefensaDelConsumidor%5B1%5D.pdf/934ea9ef-fcc9-48b8-9679-3e8e2493354e>. [Último acceso: 14 02 2019].
- [19] S. n. d. f. laboral, «/www.sunafil.gob.pe,» 17 Octubre 2016. [En línea]. Available: <https://www.sunafil.gob.pe/noticias/item/3840-procedimiento-sancionador-infracciones-y-multas.html>. [Último acceso: 12 febrero 2019].
- [20] Osinerg, «Glosario, Siglas y Abreviaturas del Subsector Hidrocarburos,» *El peruano*, Peru, 2002.
- [21] K. R. Smith, «El uso doméstico de leña en los países en desarrollo y sus repercusiones en la salud,» *Los bosques y la salud humana*, vol. 57, n° 224, 2006.
- [22] R. Regis, «Automatización de una sierra ingletadora para la fabricación de disipadores de calor modelo TUC37644-2,» *Científica*, vol. 18, n° 4, pp. 131-134, 2014.
- [23] A. Creus, *Instrumentacion Industrial*, Mexico: Alfaomega, 2010.
- [24] V. Alfaro, «Actualizacion del metodo de sintonizacion de controladores Ziegler y Nichols,» *Ingenieria*, vol. 15, n° 1, 2, pp. 39-52, 2005.
- [25] Departamento de Ciencias Químico-Biológicas, «CALOR LATENTE Y SOLIDIFICACIÓN DE LA PARAFINA,» *Instituto de Ciencias Biomédicas*, 2018.
- [26] R. Rowe, P. Sheskey y M. Quinn, *Handbook of pharmaceutical excipients*, Estados Unidos: Pharmaceutical Press, 2009.
- [27] A. P. Institute, *API 650: Welded Tanks for Oil Storage*, Washington: American Petroleum Institute , 2012.
- [28] Padilla y Eusebio, «APLICACIONES DE LOS ACEROS INOXIDABLES,» *Rev. del Instituto de Investigación (RIIGEO)*, vol. 2, n° 3, 1999.

- [29] J. Cruz y D. Ramirez, Conformado y curvado en la fabricación de tuberías., Malaga: IC Editorial, 2014.
- [30] DNbrida, «<http://www.dnbrida.com/>,» [En línea]. Available: <http://www.dnbrida.com/espesor-tuberia-acero-inoxidable-sch-asme-b36.19m.php>.
- [31] J. Fuentes y J. Celis, Instalaciones de gas natural, Santiago: INACAP, 2004.
- [32] S. Electric, «[www.se.com](http://www.se.com/),» [En línea]. Available: <https://www.se.com/ww/en/product/TM241CE40R/controller-m241-40-io-relay-ethernet/>.
- [33] S. Electric, Modicon M241 Logic Controller Guia de Hardware, Schneider Electric, 2018.
- [34] SterlingSensors, «[www.sterlingsensors.co.uk](http://www.sterlingsensors.co.uk/),» [En línea]. Available: <https://www.sterlingsensors.co.uk/rtd-faqs>.
- [35] AGPTEK, «[www.amazon.com](http://www.amazon.com/),» [En línea]. Available: <https://www.amazon.com/-/es/AGPtek-Prueba-sensor-termistor-temperatura/dp/B008YP1D04>.
- [36] J. Rodriguez Fernandes, L. M. Cerda Filiu y R. Sanchez Horneros, Automatismos industriales, Madrid: Graficas Eujoa, 2014.
- [37] MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE, «UN FUTURO QUE FUNCIONA: AUTOMATIZACIÓN, EMPLEO Y PRODUCTIVIDAD,» *INVESTIGACIÓN. PERSPECTIVA. IMPACTO.*, 2017.
- [38] S. electric, «<https://product-help.schneider-electric.com/>,» [En línea]. Available: [https://product-help.schneider-electric.com/Machine%20Expert/V1.1/es/tm3diohw/tm3diohw/TM3DQ16R\\_Module\\_16DO\\_24\\_Vdc\\_2A\\_Relay\\_Output/TM3DQ16R\\_Module\\_16DO\\_24\\_Vdc\\_2A\\_Relay\\_Output-3.htm](https://product-help.schneider-electric.com/Machine%20Expert/V1.1/es/tm3diohw/tm3diohw/TM3DQ16R_Module_16DO_24_Vdc_2A_Relay_Output/TM3DQ16R_Module_16DO_24_Vdc_2A_Relay_Output-3.htm).
- [39] Siemens, «El portafolio de motores eléctricos más amplio del mundo.,» Colombia, 2019.
- [40] Solgas, «[www.solgas.net](http://www.solgas.net/),» [En línea]. Available: <https://www.solgas.net/product-page/bal%C3%B3n-45kg>.
- [41] Burkert, «[www.burkert.es](http://www.burkert.es/),» [En línea]. Available: <https://www.burkert.es/es/type/6223>.
- [42] S. Electric, «[www.se.com](http://www.se.com/),» [En línea]. Available: <https://www.se.com/pe/es/product/XBTGT5330/advanced-touchscreen-panel---640-x-480-pixels-vga---10.4%22---tft-lcd---24-v-dc/>.
- [43] f. solutions, «[www.fcmsolutionsperu.com](http://www.fcmsolutionsperu.com/),» [En línea]. Available: <https://www.fcmsolutionsperu.com/products/nsycrn75250>.

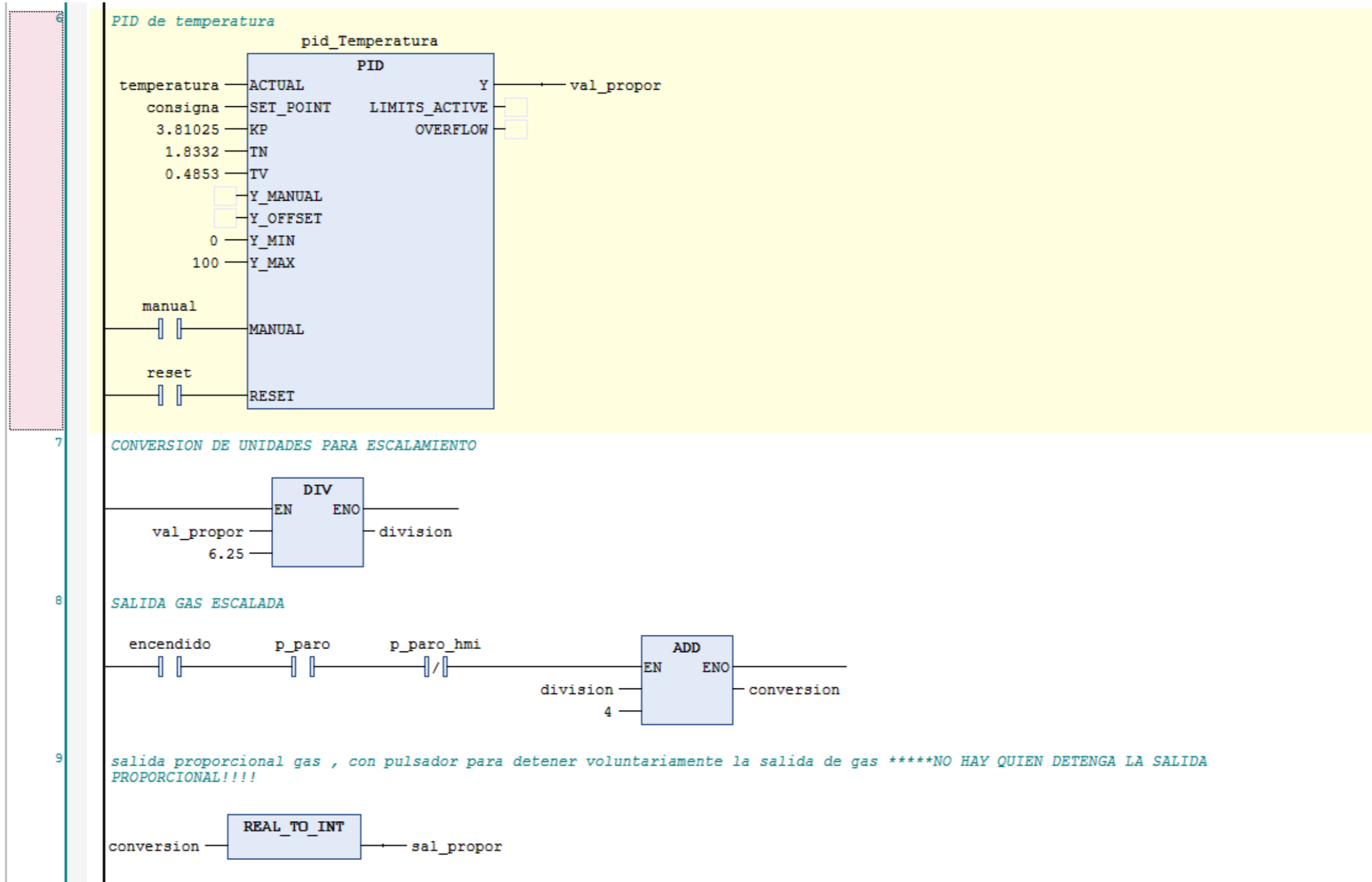
- [44] S. Electric, «[www.se.com](http://www.se.com),» [En línea]. Available: <https://www.se.com/pe/es/product/GV2ME07/motor-circuit-breaker%2C-tesys-gv2%2C-3p%2C-1.6-2.5-a%2C-thermal-magnetic%2C-screw-clamp-terminals/>.
- [45] S. Electric, «[www.se.com](http://www.se.com),» [En línea]. Available: <https://www.se.com/pe/es/product/TM3TI4/modicon-tm3---4-analog---temperature-inputs-%28screw%29-24vdc/>.
- [46] S. Electric, «[www.se.com](http://www.se.com),» [En línea]. Available: <https://www.se.com/pe/es/product/TM3DQ16R/modicon-tm3---16-relay-outputs-%28screw%29-24vdc/>.
- [47] S. Electric, «[www.se.com](http://www.se.com),» [En línea]. Available: <https://www.se.com/pe/es/product/TMC4AQ2/cartridge-m241---2-analog-outputs/>.
- [48] S. Electric, «[www.se.com](http://www.se.com),» [En línea]. Available: <https://www.se.com/es/es/product/XB4BA42/pulsador-rojo-%C3%B822---1nc/>.
- [49] S. electric, «[www.se.com](http://www.se.com),» [En línea]. Available: <https://bit.ly/2Az1rkS>.
- [50] S. electric, «[www.se.com](http://www.se.com),» [En línea]. Available: <https://bit.ly/2XnqZth>.
- [51] S. electric, «[www.se.com](http://www.se.com),» [En línea]. Available: <https://bit.ly/3bL1UgW>.
- [52] Danfoss, «[store.danfoss.com](http://store.danfoss.com),» [En línea]. Available: <https://bit.ly/3bL1x5M>.
- [53] S. electric, «[www.se.com](http://www.se.com),» [En línea]. Available: <https://bit.ly/2X8oqlj>.
- [54] «[www.casadeltuboperu.com](http://www.casadeltuboperu.com),» [En línea]. Available: <https://www.casadeltuboperu.com/tubos-pvc-agua/>.
- [55] S. Electric, «[www.se.com](http://www.se.com),» [En línea]. Available: <https://bit.ly/3bIDXXq>.
- [56] S. electric, «[www.se.com](http://www.se.com),» [En línea]. Available: <https://bit.ly/2LHpQXM>.
- [57] s. electric, «[www.se.com](http://www.se.com),» [En línea]. Available: <https://bit.ly/2TjM72e>.
- [58] S. electric, «[www.se.com](http://www.se.com),» 31 octubre 2019. [En línea]. Available: <https://bit.ly/2AmL76V>.
- [59] S. Electric, Spacial Thalassa ClimaSys, Schneider Electric, 2020.
- [60] A. Chavez, «[Docplayer.es](http://Docplayer.es),» 2016. [En línea]. Available: <https://docplayer.es/12153245-Clasificacion-de-los-aceros-inoxidables-segun-norma-aisi.html>.
- [61] Delancey, «[blog.wika.us/](http://blog.wika.us/),» 18 04 2019. [En línea]. Available: <https://blog.wika.us/products/temperature-products/pt100-and-pt1000-sensors-important-facts-and-differences/>.

VI. ANEXOS

ANEXO N° 01: Lógica realizada en Software So machine



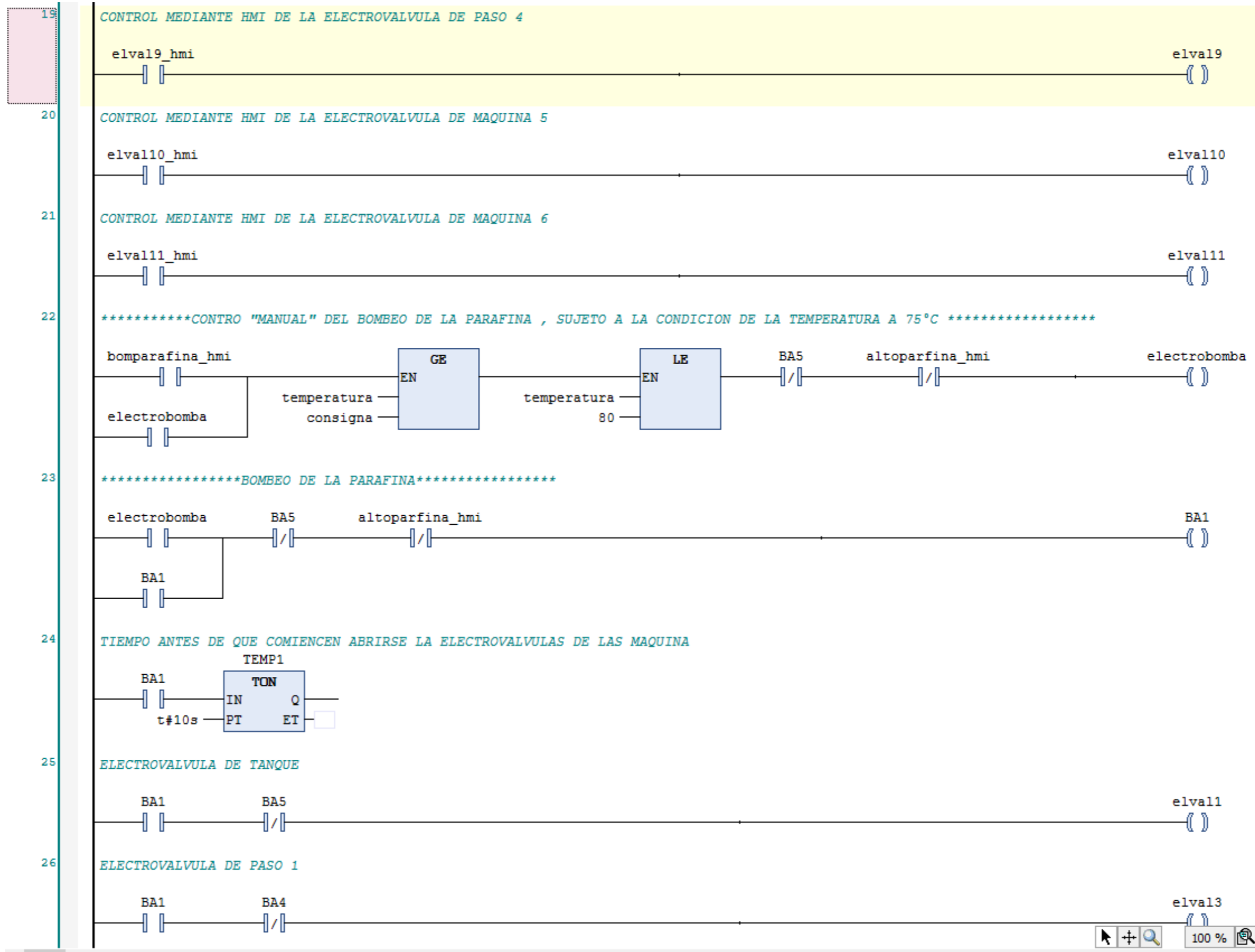
## ANEXO N°02: Lógica realizada en Software So machine



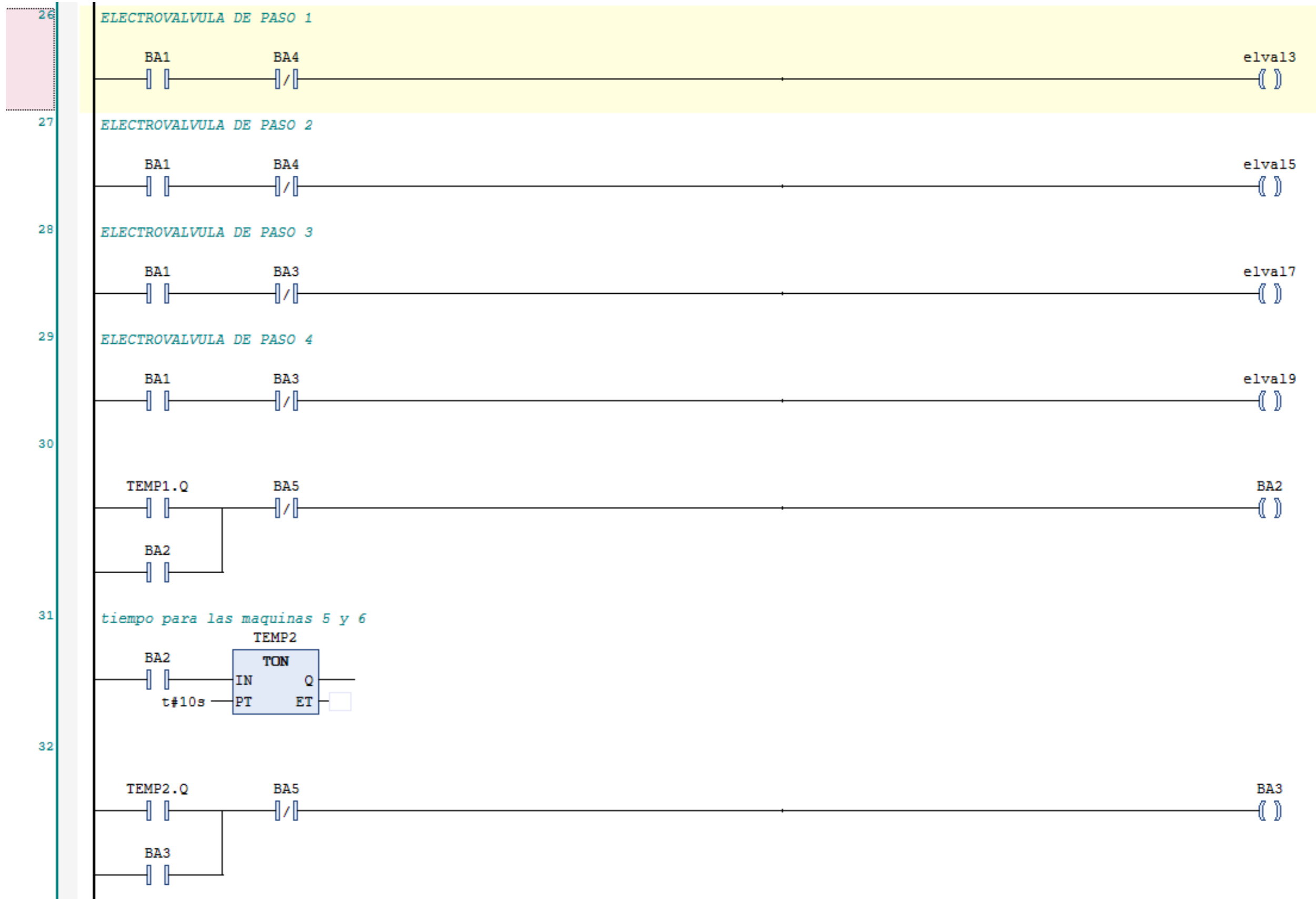
ANEXOS N°03: Lógica realizada en Software So machine



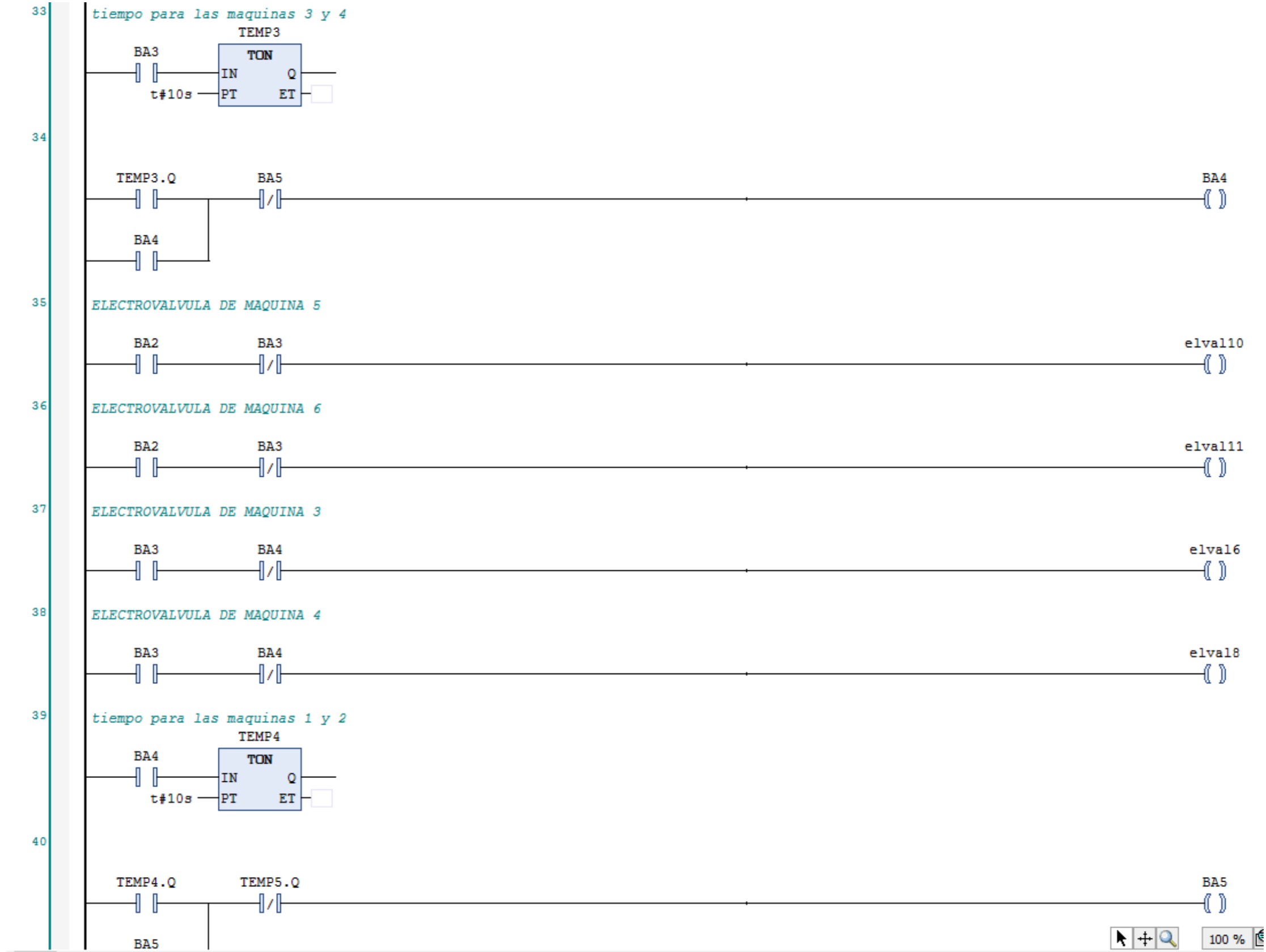
ANEXO N°04: Lógica realizada en Software So machine



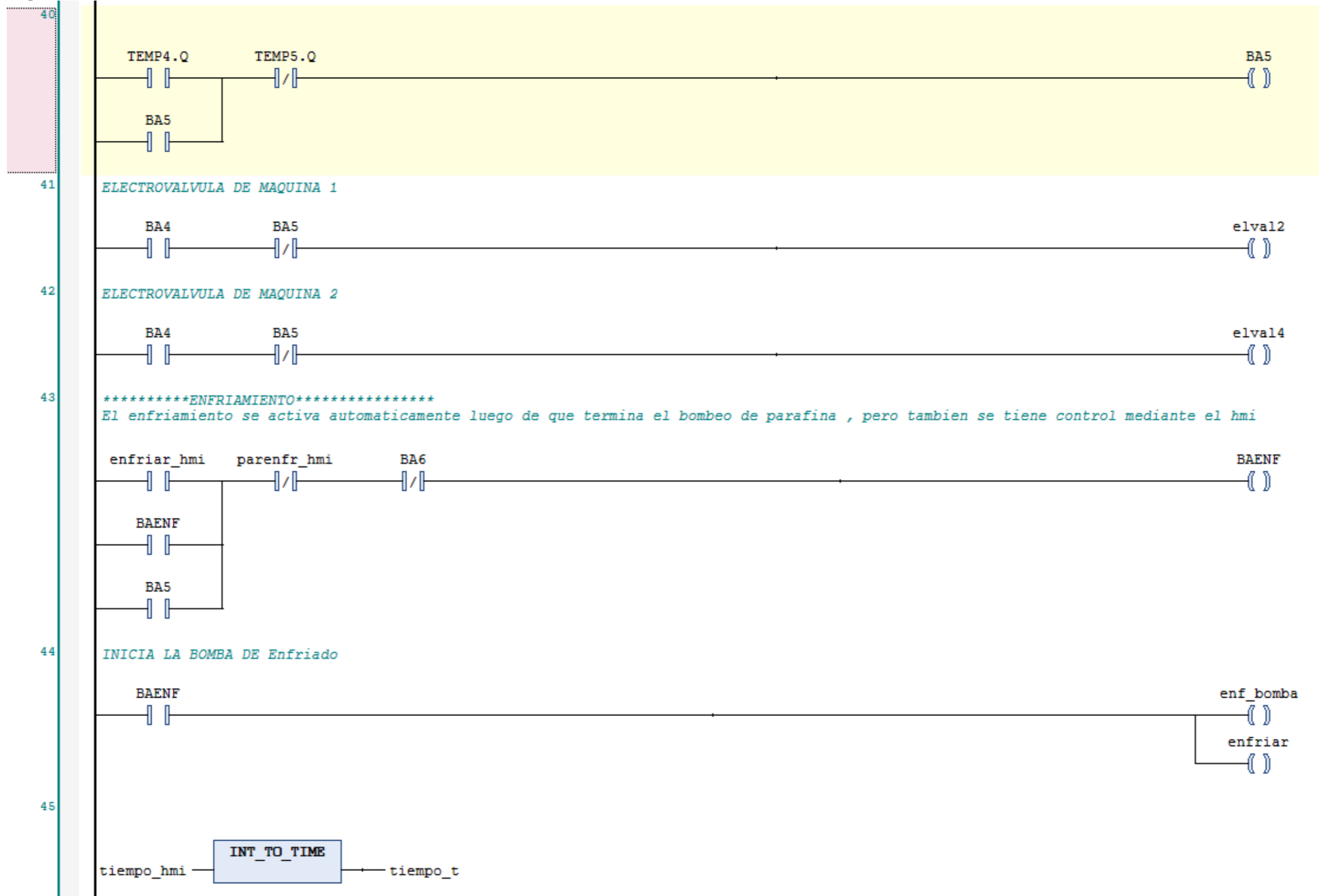
ANEXO N°05: Lógica realizada en Software So machine



ANEXO N°06: Lógica realizada en Software So machine



ANEXO N°07: Lógica realizada en Software So machine



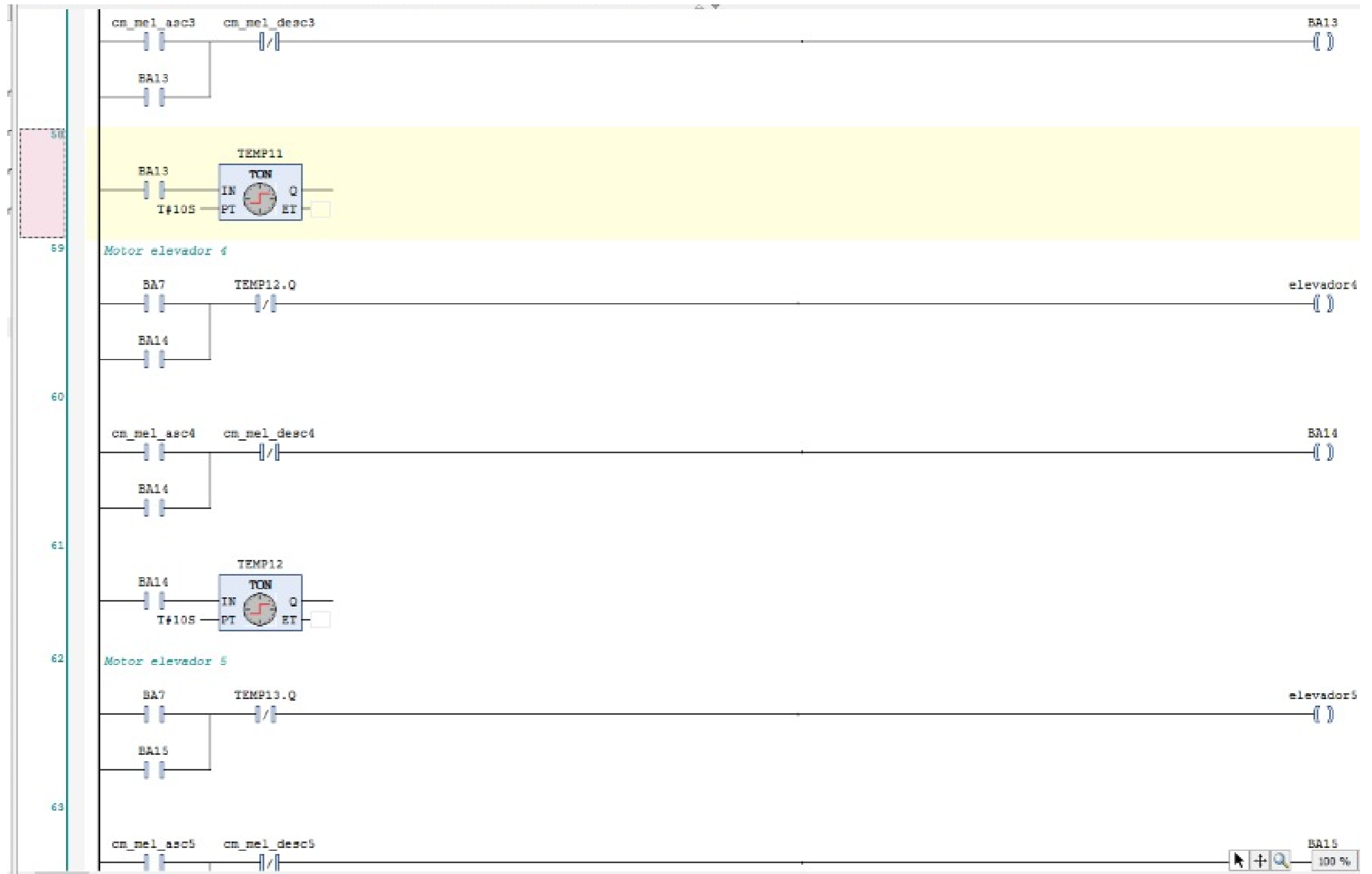
ANEXO N° 08: Lógica realizada en Software So machine



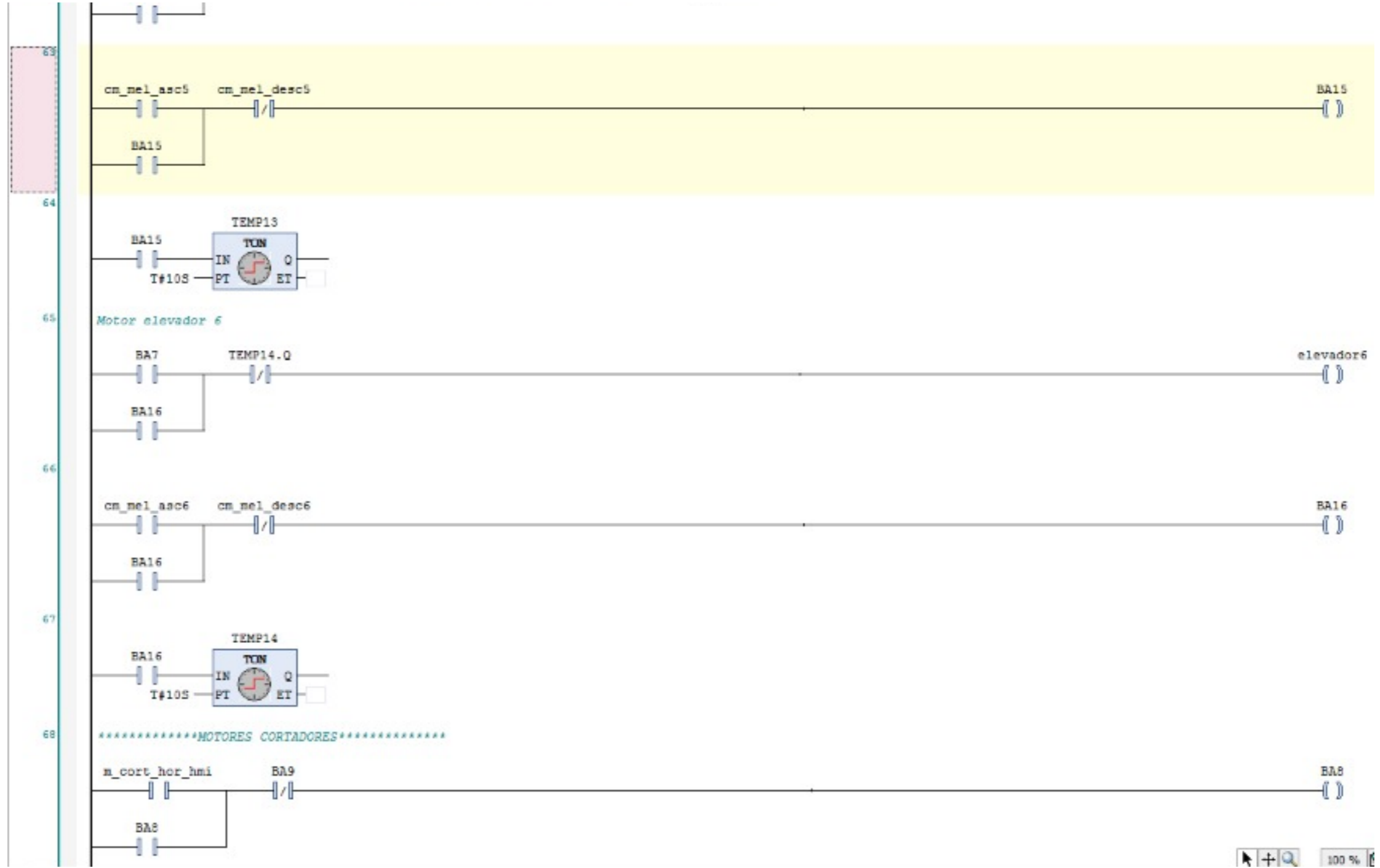
ANEXO N°09: Lógica realizada en Software So machine



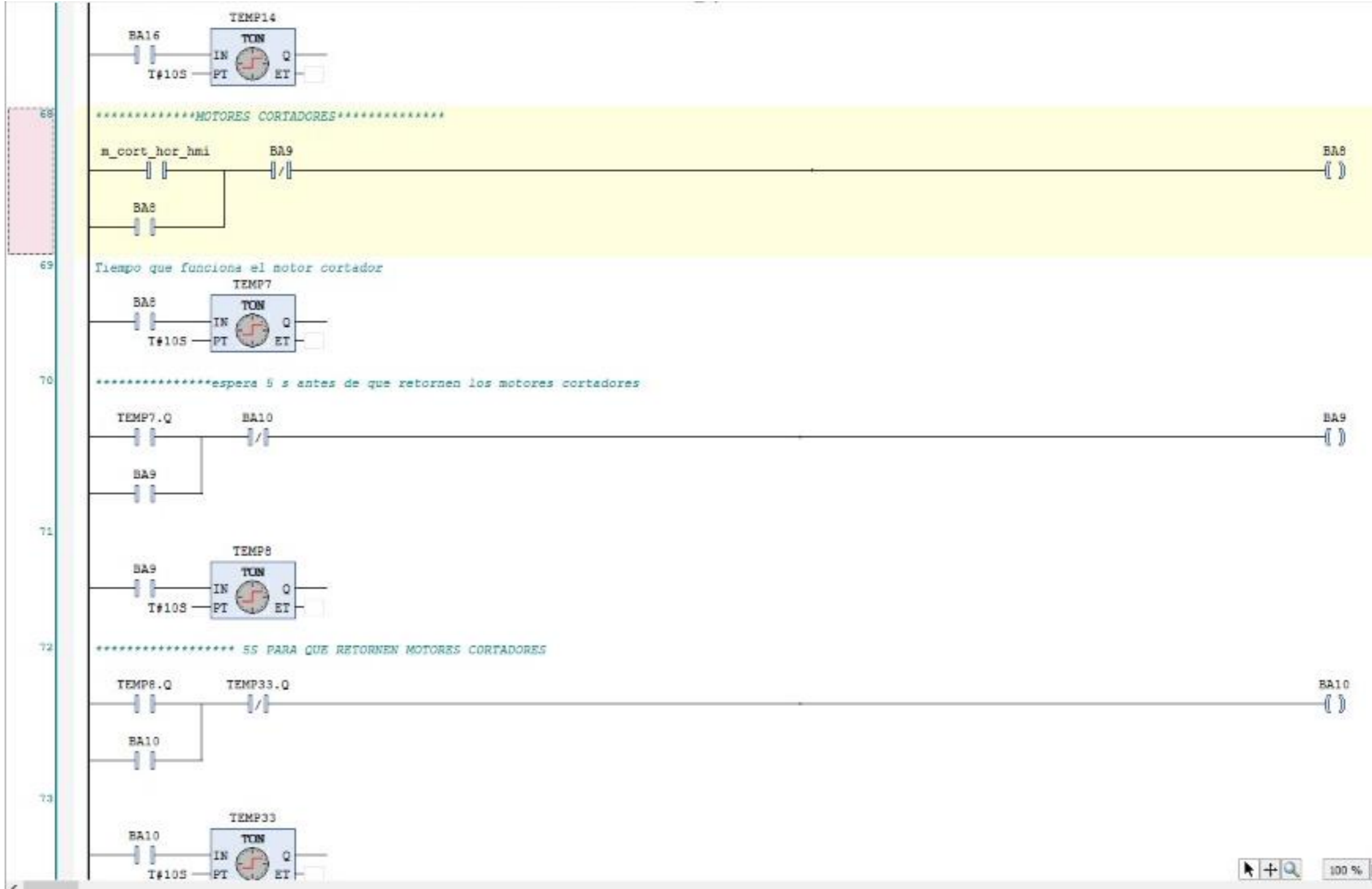
ANEXO N°10: Lógica realizada en Software So machine



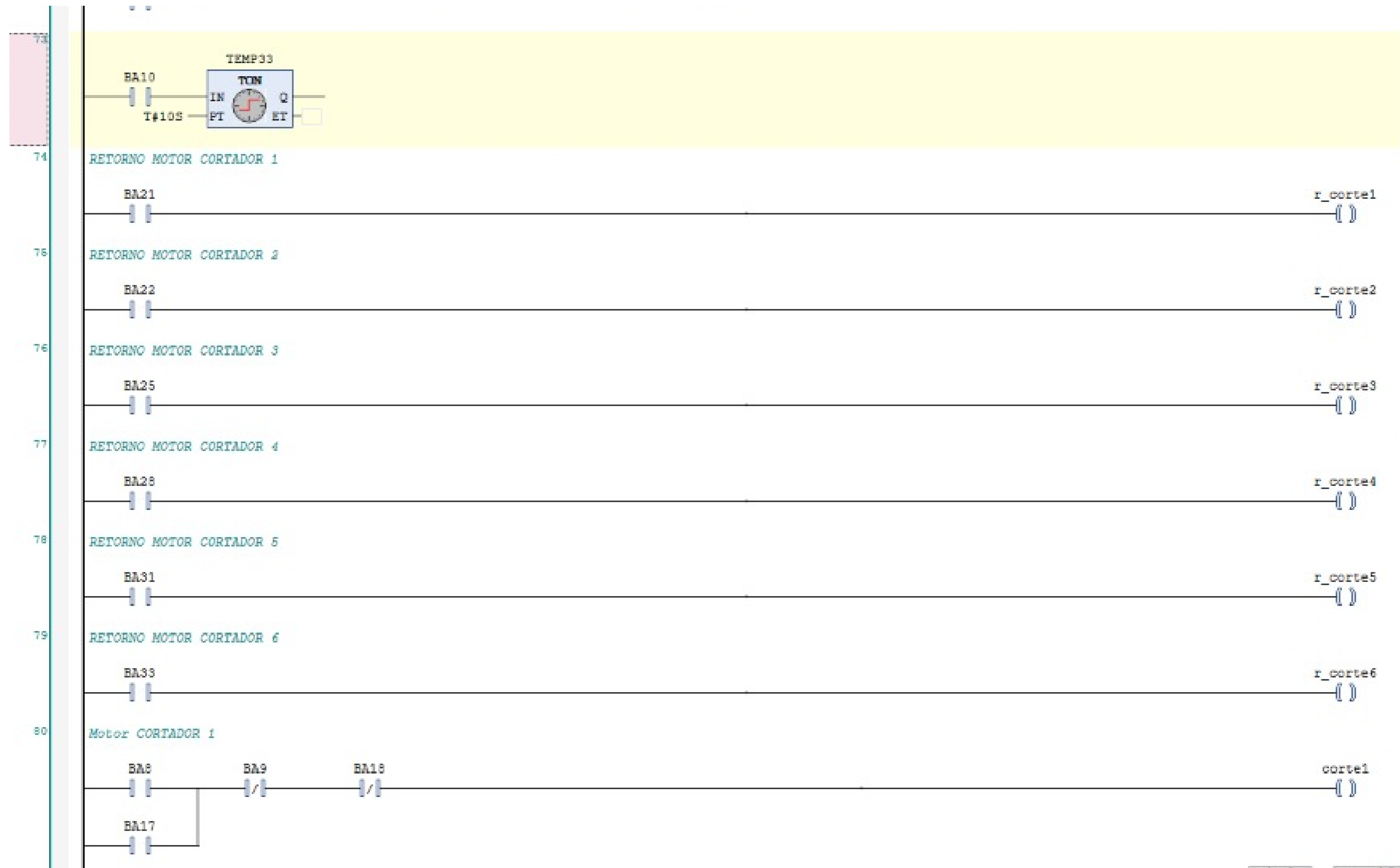
ANEXO N°11: Lógica realizada en Software So machine



ANEXO N°12: Lógica realizada en Software So machine



## ANEXO N°13: Lógica realizada en Software So machine



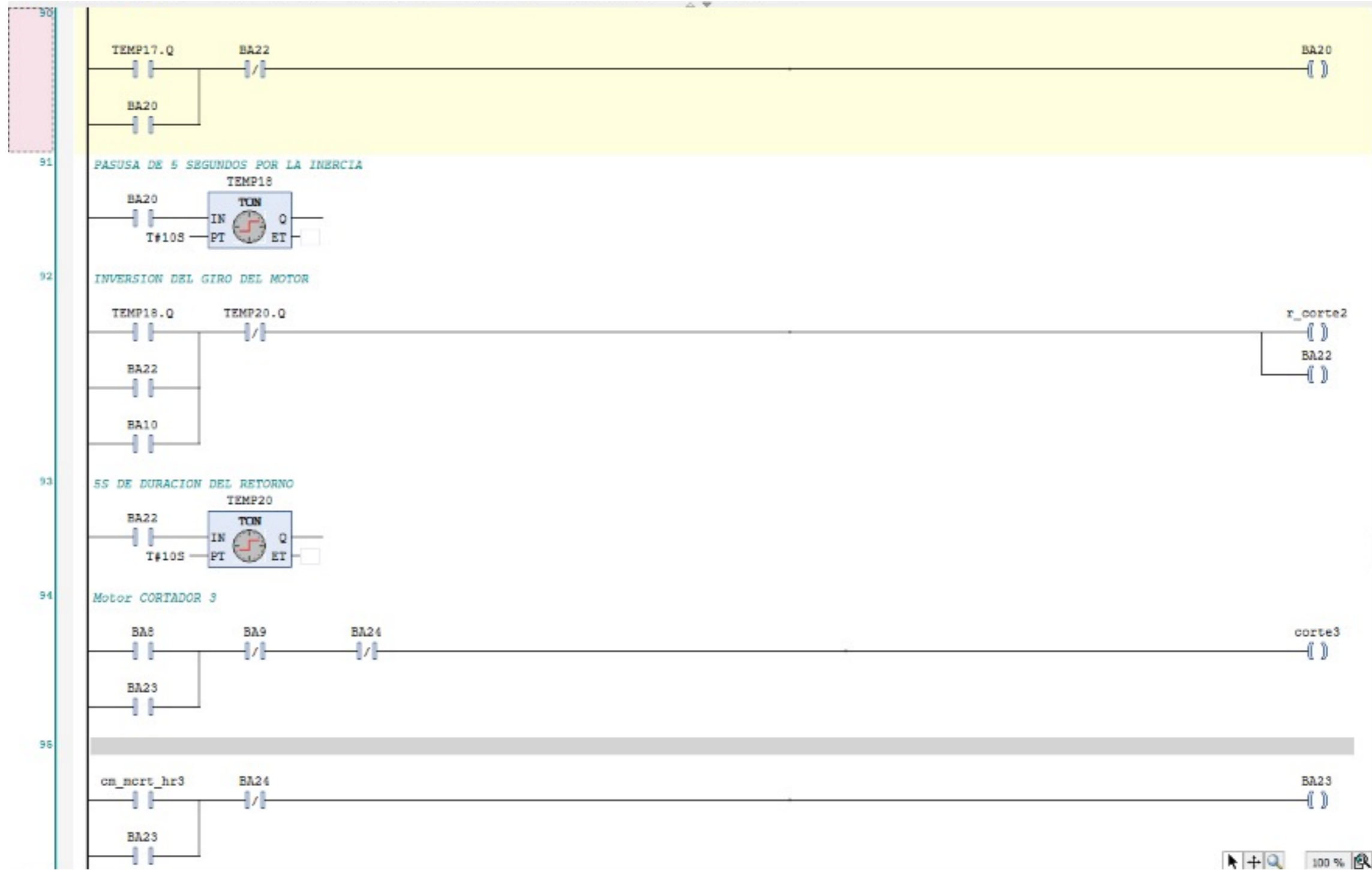
## ANEXO N° 14: Lógica realizada en Software So machine



ANEXO N° 15: Lógica realizada en Software So machine



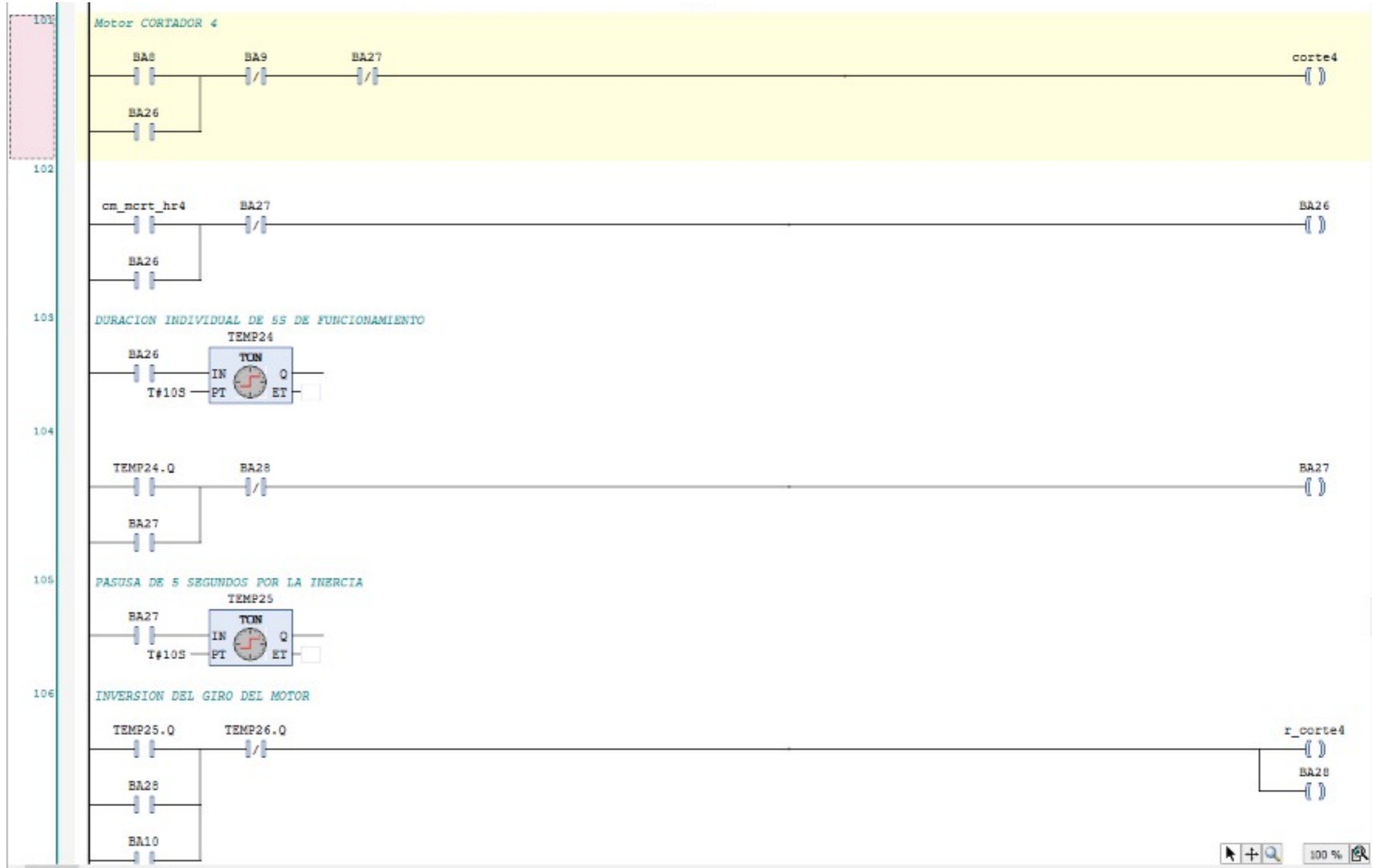
ANEXO N°16: Lógica realizada en Software So machine



ANEXO N°17: Lógica realizada en Software So machine



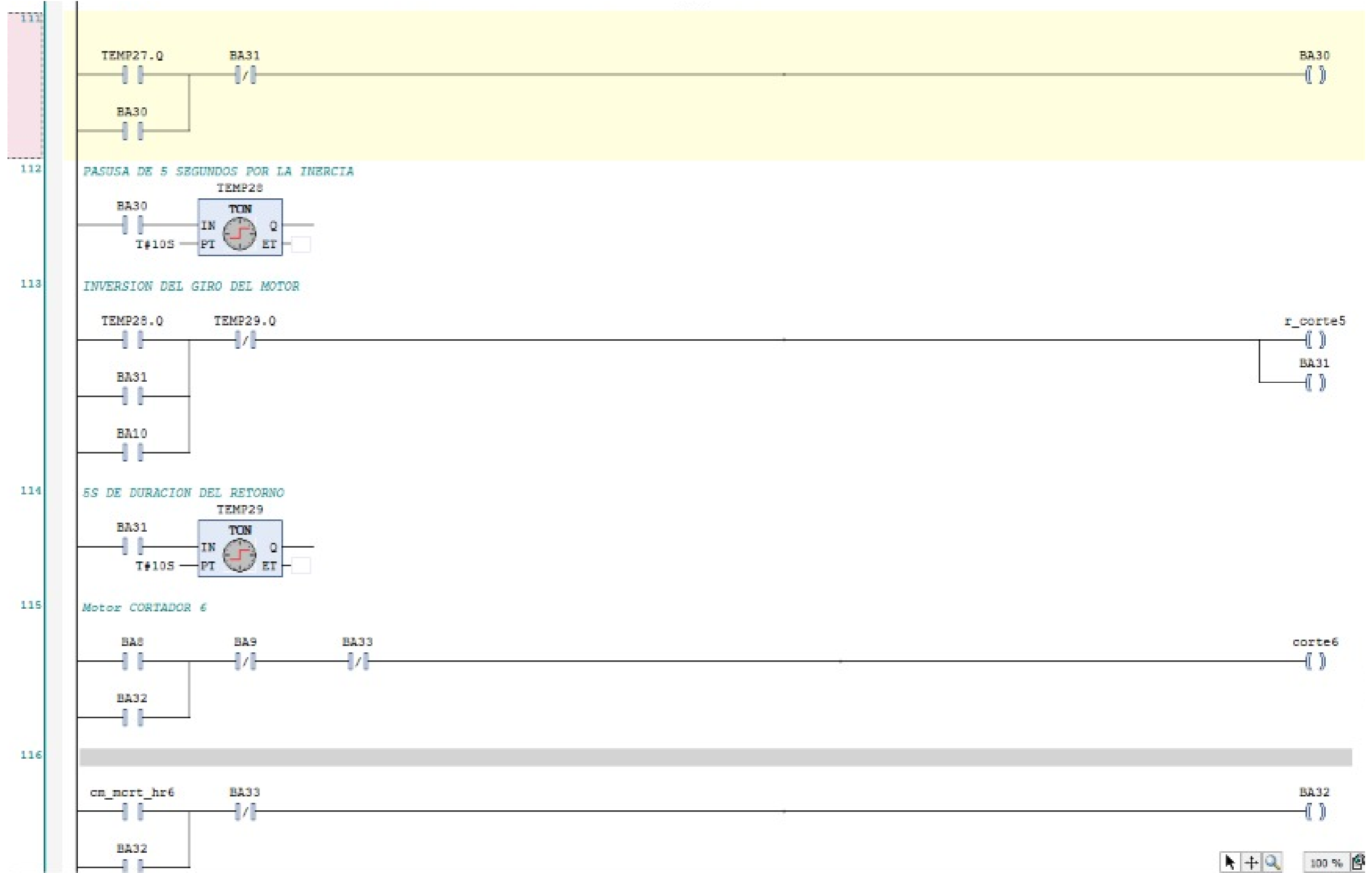
ANEXO N°18: Lógica realizada en Software So machine



## ANEXO N°19: Lógica realizada en Software So machine



ANEXO N°20: Lógica realizada en Software So machine



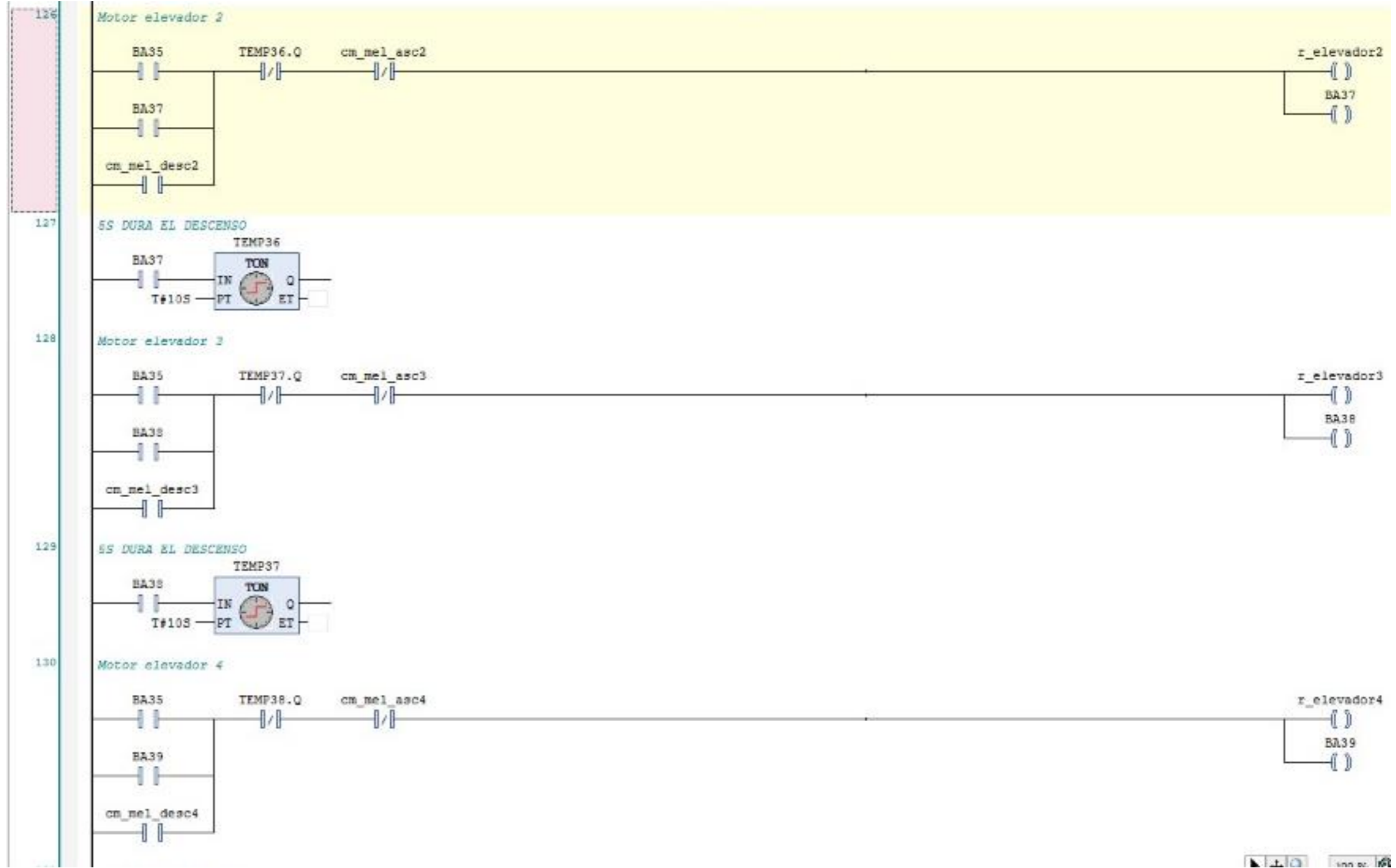
## ANEXO N°21: Lógica realizada en Software So machine



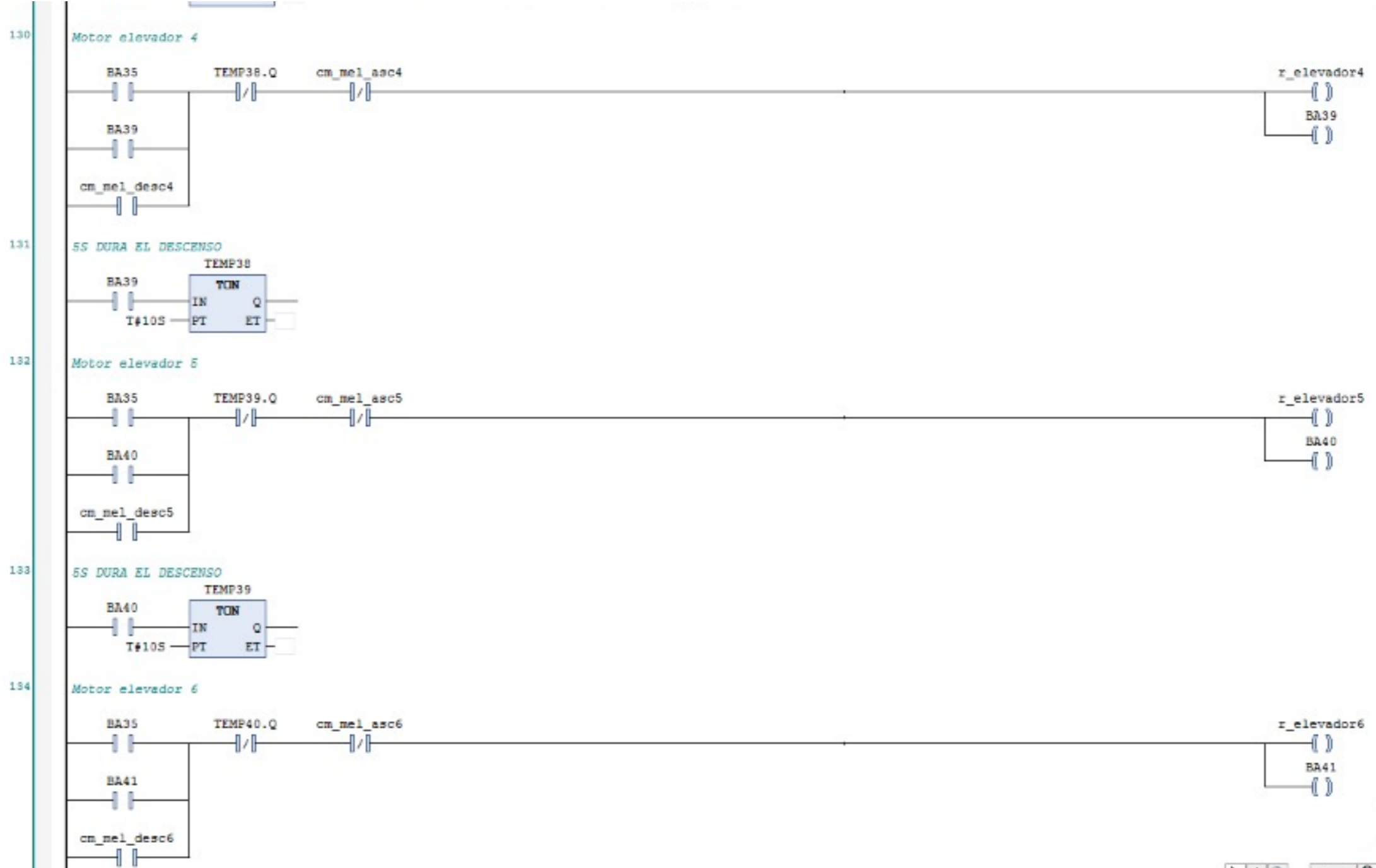
ANEXO N° 22: Lógica realizada en Software So machine



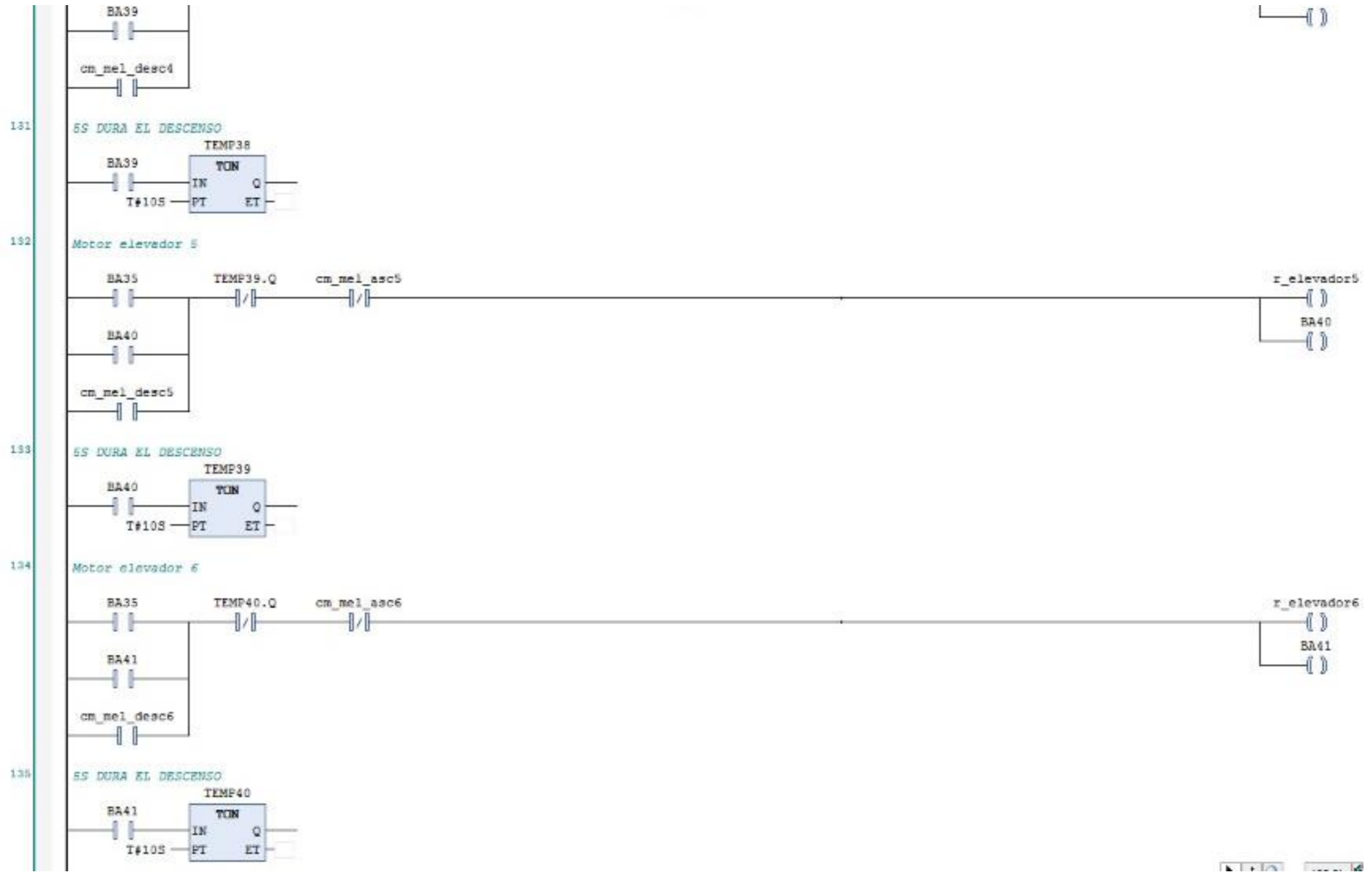
ANEXO N° 23: Lógica realizada en Software So machine



ANEXO N°24: Lógica realizada en Software So machine



ANEXO N°25: Lógica realizada en Software So machine



ANEXO N°26: ENTRADAS ANALOGICAS

The screenshot displays a PLC configuration software interface. On the left, a tree view shows the project structure under 'Dispositivos'. The main area on the right is titled 'Asignación E/S' and 'E/S de configuración', showing a table of channel assignments for digital inputs.

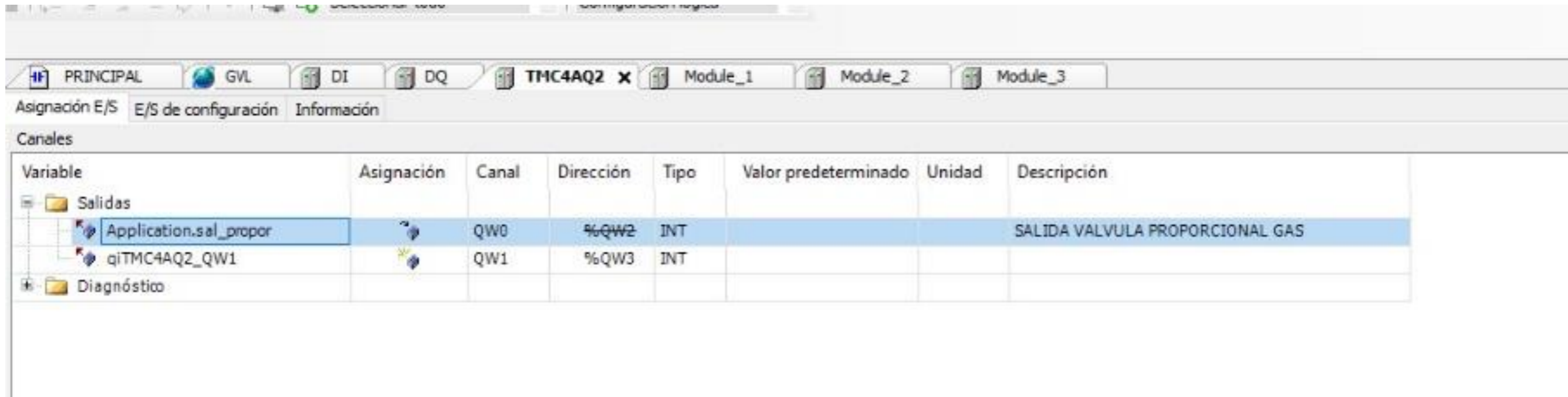
Variable	Asignación	Canal	Dirección	Tipo	Valor predeterminado	Unidad	Descri...
<b>Entradas</b>							
idwDI_IDW0		IDW0	%ID0	DWORD			
Application.p_emergenda		I0	%IX0.0	BOOL			Entrada...
Application.p_marcha		I1	%IX0.1	BOOL			Entrada...
Application.p_paro		I2	%IX0.2	BOOL			Entrada...
		I3	%IX0.3	BOOL			Entrada...
		I4	%IX0.4	BOOL			Entrada...
		I5	%IX0.5	BOOL			Entrada...
		I6	%IX0.6	BOOL			Entrada...
		I7	%IX0.7	BOOL			Entrada...
		I8	%IX1.0	BOOL			Entrada...
		I9	%IX1.1	BOOL			Entrada...
		I10	%IX1.2	BOOL			Entrada...
		I11	%IX1.3	BOOL			Entrada...
		I12	%IX1.4	BOOL			Entrada...
		I13	%IX1.5	BOOL			Entrada...
		I14	%IX1.6	BOOL			Entrada...
		I15	%IX1.7	BOOL			Entrada...
		I16	%IX2.0	BOOL			Entrada...
		I17	%IX2.1	BOOL			Entrada...
		I18	%IX2.2	BOOL			Entrada...
		I19	%IX2.3	BOOL			Entrada...
		I20	%IX2.4	BOOL			Entrada...
		I21	%IX2.5	BOOL			Entrada...
		I22	%IX2.6	BOOL			Entrada...
		I23	%IX2.7	BOOL			Entrada...
ibDI_IB1		IB1	%IB4	BYTE			

ANEXO Nº 27: SALIDAS DIGITALES



The screenshot displays a software interface for configuring a PLC's digital outputs. On the left, a tree view shows the project structure, including 'MyController (TM241CE40R)' and its 'Lógica PLC' application. The right pane shows a table of digital output assignments under the 'Salidas' folder.

Variable	Asignación	Canal	Dirección	Tipo	U	Descripción
		QW0	%QW0	WORD		
		Q0	%QX0.0	BOOL		Salida rápida, contrafase
		Q1	%QX0.1	BOOL		Salida rápida, contrafase
		Q2	%QX0.2	BOOL		Salida rápida, contrafase
		Q3	%QX0.3	BOOL		Salida rápida, contrafase
Application.elval1		Q4	%QX0.4	BOOL		electrovalvula TANQUE
Application.elval2		Q5	%QX0.5	BOOL		electrovalvula MAQUINA 1
Application.elval3		Q6	%QX0.6	BOOL		electrovalvula DE PASO 1
Application.elval4		Q7	%QX0.7	BOOL		electrovalvula MAQUINA 2
Application.elval5		Q8	%QX1.0	BOOL		electrovalvula DE PASO 2
Application.elval6		Q9	%QX1.1	BOOL		electrovalvula MAQUINA 3
Application.elval7		Q10	%QX1.2	BOOL		electrovalvula DE PASO 3
Application.elval8		Q11	%QX1.3	BOOL		electrovalvula MAQUINA 4
Application.elval9		Q12	%QX1.4	BOOL		electrovalvula DE PASO 4
Application.elval10		Q13	%QX1.5	BOOL		electrovalvula MAQUINA 5
Application.elval11		Q14	%QX1.6	BOOL		electrovalvula MAQUINA 6
Application.elevador1		Q15	%QX1.7	BOOL		motor
qbDQ_QB1		QB1	%QB2	BYTE		

## ANEXO N° 28: SALIDAS ANALOGICAS



The screenshot shows a software interface with a menu bar at the top containing 'PRINCIPAL', 'GVL', 'DI', 'DQ', 'TMC4AQ2 x', 'Module\_1', 'Module\_2', and 'Module\_3'. Below the menu bar are three tabs: 'Asignación E/S', 'E/S de configuración', and 'Información'. The main area is titled 'Canales' and contains a table with the following data:

Variable	Asignación	Canal	Dirección	Tipo	Valor predeterminado	Unidad	Descripción
Salidas							
Application.sal_propor		QW0	%QW2	INT			SALIDA VALVULA PROPORCIONAL GAS
qiTMC4AQ2_QW1		QW1	%QW3	INT			
Diagnóstico							

## ANEXO N° 29: SALIDAS ANALOGICAS

Variable	Asignación	Canal	Dirección	Tipo	Valor predeterminado	Unidad	Descripción
Salidas		QW0	%QW4	WORD			
Application.elevador2		Q0	%QX8.0	BOOL			motor MAQUINA 2
Application.elevador3		Q1	%QX8.1	BOOL			motor MAQUINA 3
Application.elevador4		Q2	%QX8.2	BOOL			motor MAQUINA 4
Application.elevador5		Q3	%QX8.3	BOOL			motor MAQUINA 5
Application.elevador6		Q4	%QX8.4	BOOL			motor MAQUINA 6
Application.corte1		Q5	%QX8.5	BOOL			motor MAQUINA 1
Application.corte2		Q6	%QX8.6	BOOL			motor MAQUINA 2
Application.corte3		Q7	%QX8.7	BOOL			motor MAQUINA 3
Application.corte4		Q8	%QX9.0	BOOL			motor MAQUINA 4
Application.corte5		Q9	%QX9.1	BOOL			motor MAQUINA 5
Application.corte6		Q10	%QX9.2	BOOL			motor MAQUINA 6
Application.l_emerg		Q11	%QX9.3	BOOL			LUZ EMERGENCIA
Application.l_marcha		Q12	%QX9.4	BOOL			LUZ MARCHA
Application.electrobomba		Q13	%QX9.5	BOOL			electrobomba parafina
Application.enfriar		Q14	%QX9.6	BOOL			electrovalvula enfriado
Application.enf_bomba		Q15	%QX9.7	BOOL			electrobomba para enfriado

## ANEXO N°30: SALIDAS ANALOGICAS

Variable	Asignación	Canal	Dirección	Tipo	Valor predeterminado	Unidad	Descripción
Canales							
Salidas							
		QW0	%QW5	WORD			
Application.r_elevador1		Q0	%QX1...	BOOL			INVERSIÓ DE GIRO MOTOR ELEVADOR 1
Application.r_elevador2		Q1	%QX1...	BOOL			
Application.r_elevador3		Q2	%QX1...	BOOL			
Application.r_elevador4		Q3	%QX1...	BOOL			
Application.r_elevador5		Q4	%QX1...	BOOL			
Application.r_elevador6		Q5	%QX1...	BOOL			
Application.r_corte1		Q6	%QX1...	BOOL			INVERSIÓ DE GIRO MOTOR CORTE 1
Application.r_corte2		Q7	%QX1...	BOOL			
Application.r_corte3		Q8	%QX1...	BOOL			
Application.r_corte4		Q9	%QX1...	BOOL			
Application.r_corte5		Q10	%QX1...	BOOL			
Application.r_corte6		Q11	%QX1...	BOOL			
		Q12	%QX1...	BOOL			
		Q13	%QX1...	BOOL			
		Q14	%QX1...	BOOL			
		Q15	%QX1...	BOOL			

Vijeo-Designer Runtime 6.2.4.1070

## FÁBRICA DE VELAS MONTENEGRO

04/06/20 11:58am 

### CONTROL TEMPERATURA HORNO

ENCENDER



APAGAR

TEMPERATURA

CONSIGA

% VÁLVULA

### CONTROL BOMBEO Y ENFRIAMIENTO

#### BOMBEO PARAFINA

ENCENDER

APAGAR



#### BOMBEO AGUA

TIEMPO

#### CONTROL MANUAL BOMBA AGUA

ENCENDER

APAGAR

ELECTROBOMBA



ELECTROVALVULA



VALVULAS

MOTORES

MAQUINA 1

MAQUINA 2

MAQUINA 3

MAQUINA 4

MAQUINA 5

MAQUINA 6

ANEXO N° 32: Proyecto visualizado en Software Vijeo

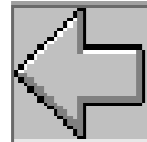
Vijeo-Designer Runtime 6.2.4.1070

← CONTROL DE ELECTROVÁLVULAS 04/06/20 12:49pm →

ELV. TANQUE			
ELV. PASO 1		ELV. PASO 2	
ELV. PASO 3		ELV. PASO 4	
ELV. MAQ 1		ELV. MAQ 2	
ELV. MAQ 3		ELV. MAQ 4	
ELV. MAQ 5		ELV. MAQ 6	

PRINCIPAL	MOTORES	MAQUINA 1	MAQUINA 2	MAQUINA 3	MAQUINA 4	MAQUINA 5	MAQUINA 6
-----------	---------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

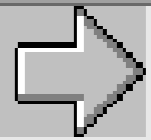
Vijeo-Designer Runtime 6.2.4.1070



## CONTROL DE MOTORES

04/06/20

11:42pm



## CONTROL DE MOTORES ELEVADORES

TODOS LOS MOTORES	SUBIR	BAJAR
MAQUINA 1	SUBIR	BAJAR
MAQUINA 2	SUBIR	BAJAR
MAQUINA 3	SUBIR	BAJAR
MAQUINA 4	SUBIR	BAJAR
MAQUINA 5	SUBIR	BAJAR
MAQUINA 6	SUBIR	BAJAR

## CONTROL DE MOTORES CORTADORES

TODOS LOS MOTORES	CORTAR	RETORNO
MAQUINA 1	CORTAR	RETORNO
MAQUINA 2	CORTAR	RETORNO
MAQUINA 3	CORTAR	RETORNO
MAQUINA 4	CORTAR	RETORNO
MAQUINA 5	CORTAR	RETORNO
MAQUINA 6	CORTAR	RETORNO

PRINCIPAL

VALVULAS

MAQUINA 1

MAQUINA 2

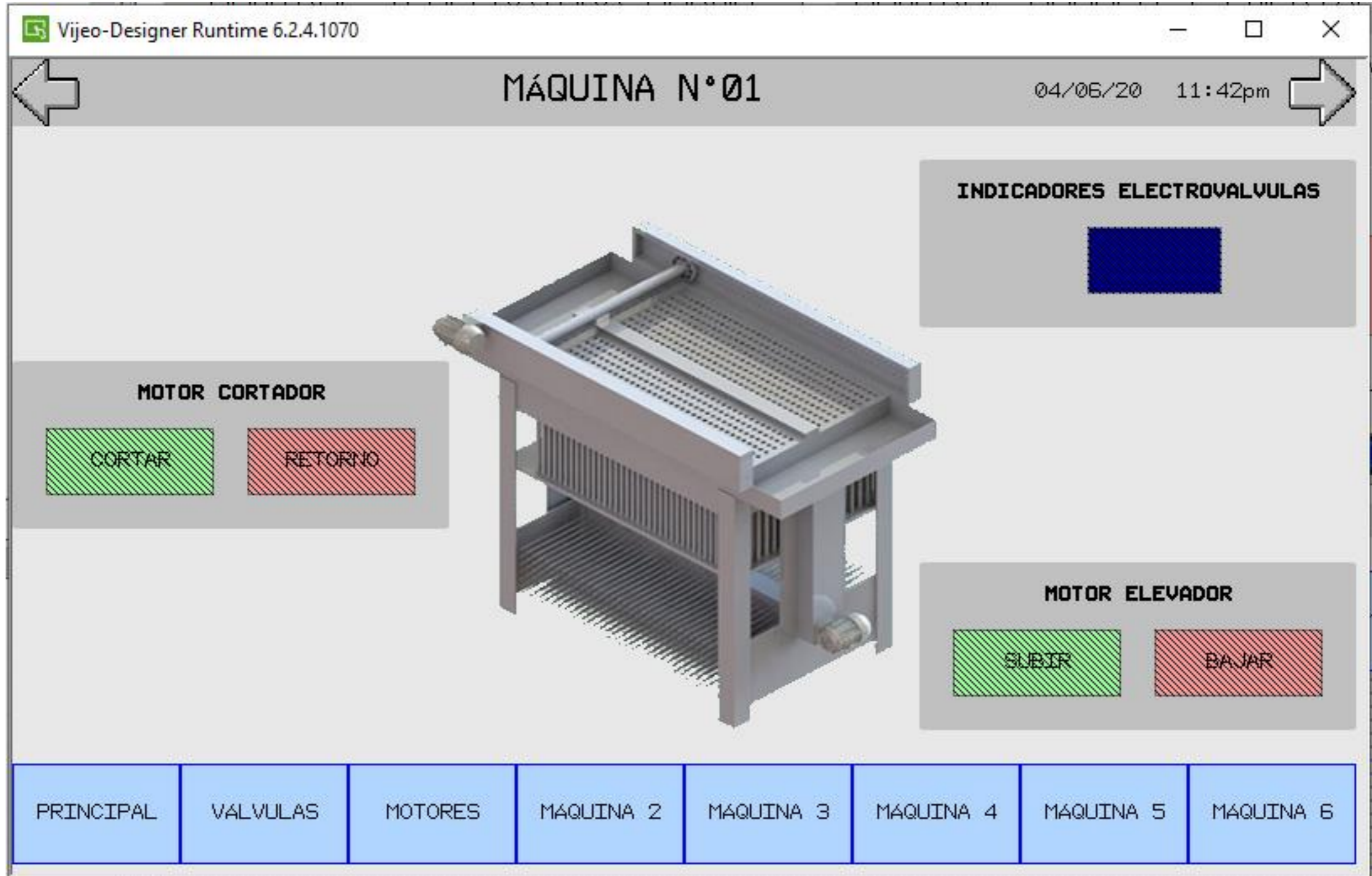
MAQUINA 3

MAQUINA 4

MAQUINA 5

MAQUINA 6

## ANEXO N°34: Proyecto visualizado en Software Vijeo



ANEXO N° 35: Proyecto visualizado en Software Vijeo

Vijeo-Designer Runtime 6.2.4.1070

MÁQUINA N°02

04/06/20 11:45pm

**INDICADORES ELECTROVALVULAS**



**MOTOR CORTADOR**

CORTAR

RETORNO



**MOTOR ELEVADOR**

SUBIR

BAJAR

PRINCIPAL VALVULAS MOTORES MAQUINA 1 MAQUINA 3 MAQUINA 4 MAQUINA 5 MAQUINA 6

ANEXO N° 36: Proyecto visualizado en Software Vijeo

Vijeo-Designer Runtime 6.2.4.1070

MÁQUINA N°03

04/06/20 11:45pm

### MOTOR CORTADOR

CORTAR      RETORNO

### INDICADORES ELECTROVALVULAS



### MOTOR ELEVADOR

SUBIR      BAJAR

PRINCIPAL	VALVULAS	MOTORES	MAQUINA 1	MAQUINA 2	MAQUINA 4	MAQUINA 5	MAQUINA 6
-----------	----------	---------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------



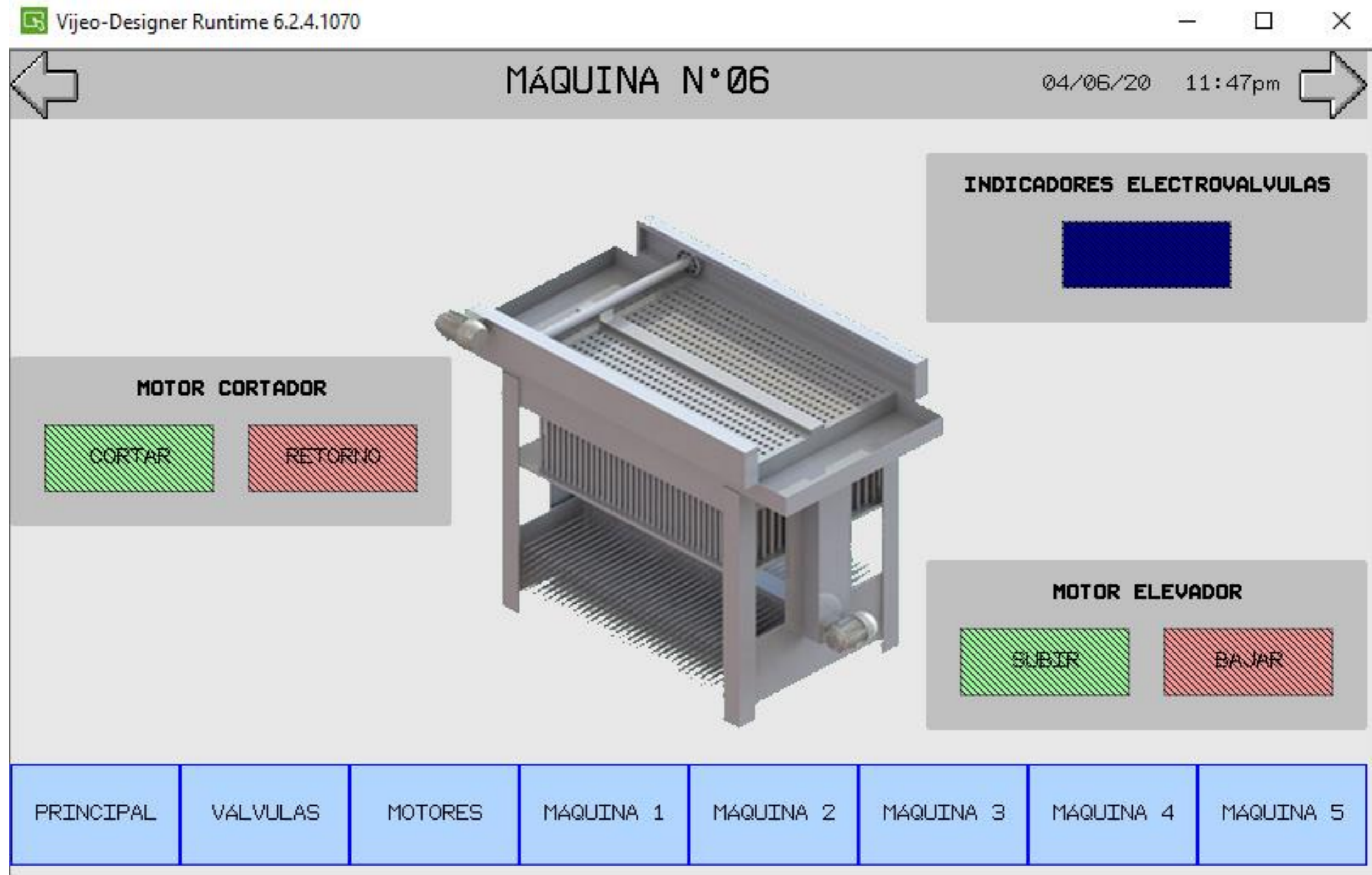
ANEXO N°37: Proyecto visualizado en Software Vijeo



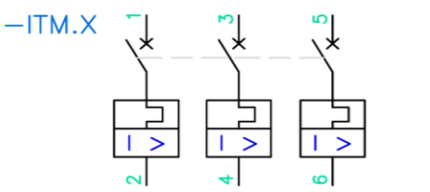

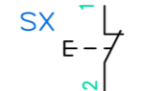
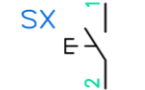
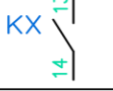
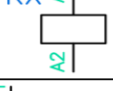

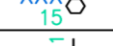
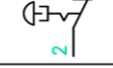

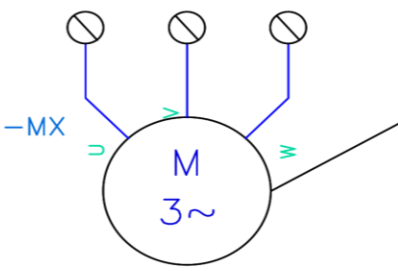
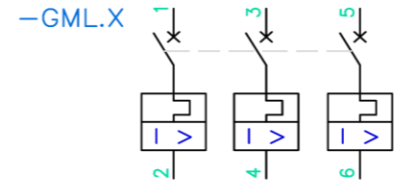

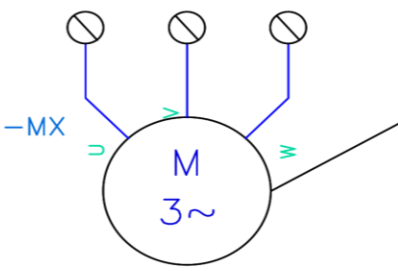
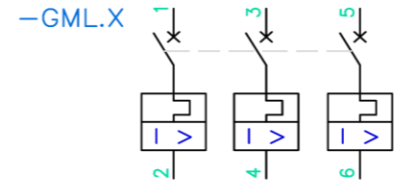

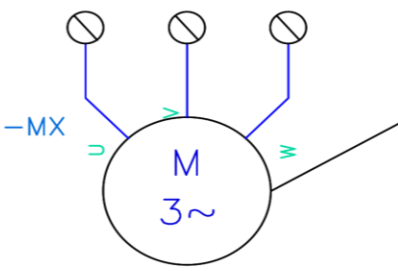
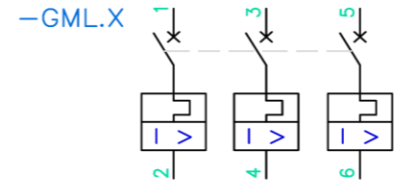



## ANEXO N° 38: Proyecto visualizado en Software Vijeo



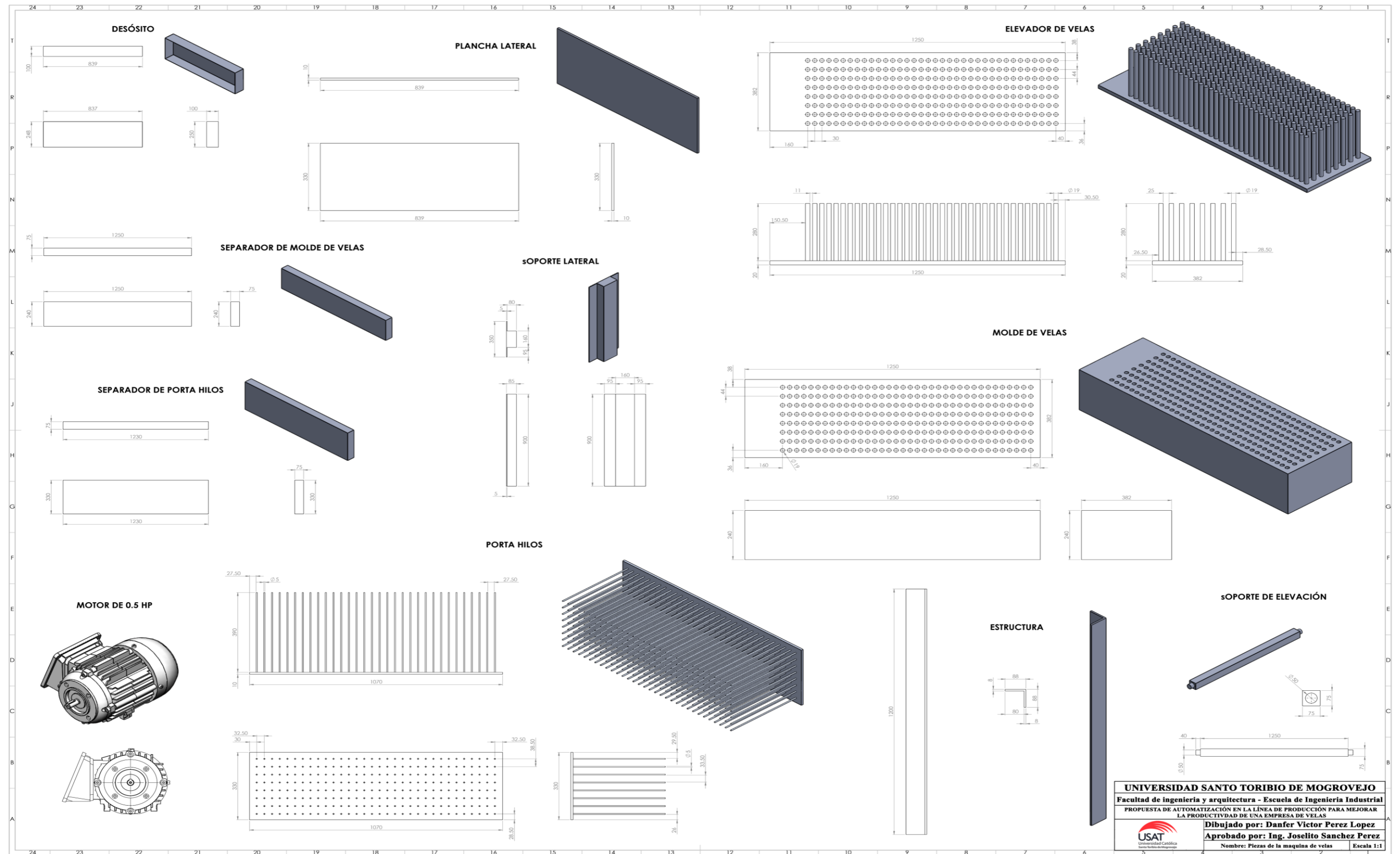
## ANEXO N°39: Proyecto visualizado en Software Vijeo



ANEXO N°40: Leyenda del Plano esquemático

	1	2	3	4	5	6	7	8										
A																		
B	<b>LEYENDA</b>																	
C					LLAVE TERMOMAGNÉTICA 3 POLOS													
D					TRANSFORMADOR REDUCTOR PARA ETAPA DE CONTROL 480VAC/120VAC													
E					PULSADOR CON CONTACTO NORMALMENTE ABIERTO													
F					PULSADOR CON CONTACTO NORMALMENTE CERRADO													
					CONTACTO AUXILIAR NORMALMENTE ABIERTO DE CONTACTOR O RELÉ AUXILIAR													
					BOBINA DE RELÉ O CONTACTOR 220VAC													
					LÁMPARA PILOTO DE SEÑALIZACIÓN 220VAC, VARDE, ROJO													
					TERMINAL O BORNERA													
					PULSADOR DE PARADA DE EMERGENCIA, GIRAR PARA LIBERAR													
	1	2	3	4	5	6	7	8										
					<table border="1"> <tr> <td style="text-align: center;"><b>1149</b></td> <td>LINEA CONDUCTOR</td> </tr> <tr> <td>  </td> <td>CONTACTOR TRIPOLAR</td> </tr> <tr> <td>  </td> <td>MOTOR TRIFÁSICO 1 HP, 380 VAC, 60HZ</td> </tr> <tr> <td>  </td> <td>GUARDAMOTOR REGULACIÓN: 2.5 - 4A</td> </tr> </table>				<b>1149</b>	LINEA CONDUCTOR		CONTACTOR TRIPOLAR		MOTOR TRIFÁSICO 1 HP, 380 VAC, 60HZ		GUARDAMOTOR REGULACIÓN: 2.5 - 4A		
<b>1149</b>	LINEA CONDUCTOR																	
	CONTACTOR TRIPOLAR																	
	MOTOR TRIFÁSICO 1 HP, 380 VAC, 60HZ																	
	GUARDAMOTOR REGULACIÓN: 2.5 - 4A																	
					<table border="1"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO</b></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;"><b>Facultad de ingeniería y arquitectura - Escuela de Ingeniería Industrial</b></td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;"><b>PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DE UNA EMPRESA DE VELAS</b></td> </tr> <tr> <td rowspan="3" style="text-align: center;">  </td> <td style="text-align: center;"><b>Dibujado por: Danfer Victor Perez Lopez</b></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><b>Aprobado por: Ing. Joselito Sanchez Perez</b></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Nombre: Leyenda del plano esquemático    Escala 1:1</td> </tr> </table>				<b>UNIVERSIDAD SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO</b>		<b>Facultad de ingeniería y arquitectura - Escuela de Ingeniería Industrial</b>		<b>PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DE UNA EMPRESA DE VELAS</b>			<b>Dibujado por: Danfer Victor Perez Lopez</b>	<b>Aprobado por: Ing. Joselito Sanchez Perez</b>	Nombre: Leyenda del plano esquemático    Escala 1:1
<b>UNIVERSIDAD SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO</b>																		
<b>Facultad de ingeniería y arquitectura - Escuela de Ingeniería Industrial</b>																		
<b>PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DE UNA EMPRESA DE VELAS</b>																		
	<b>Dibujado por: Danfer Victor Perez Lopez</b>																	
	<b>Aprobado por: Ing. Joselito Sanchez Perez</b>																	
	Nombre: Leyenda del plano esquemático    Escala 1:1																	
	1	2	3	4	5	6	7	8										

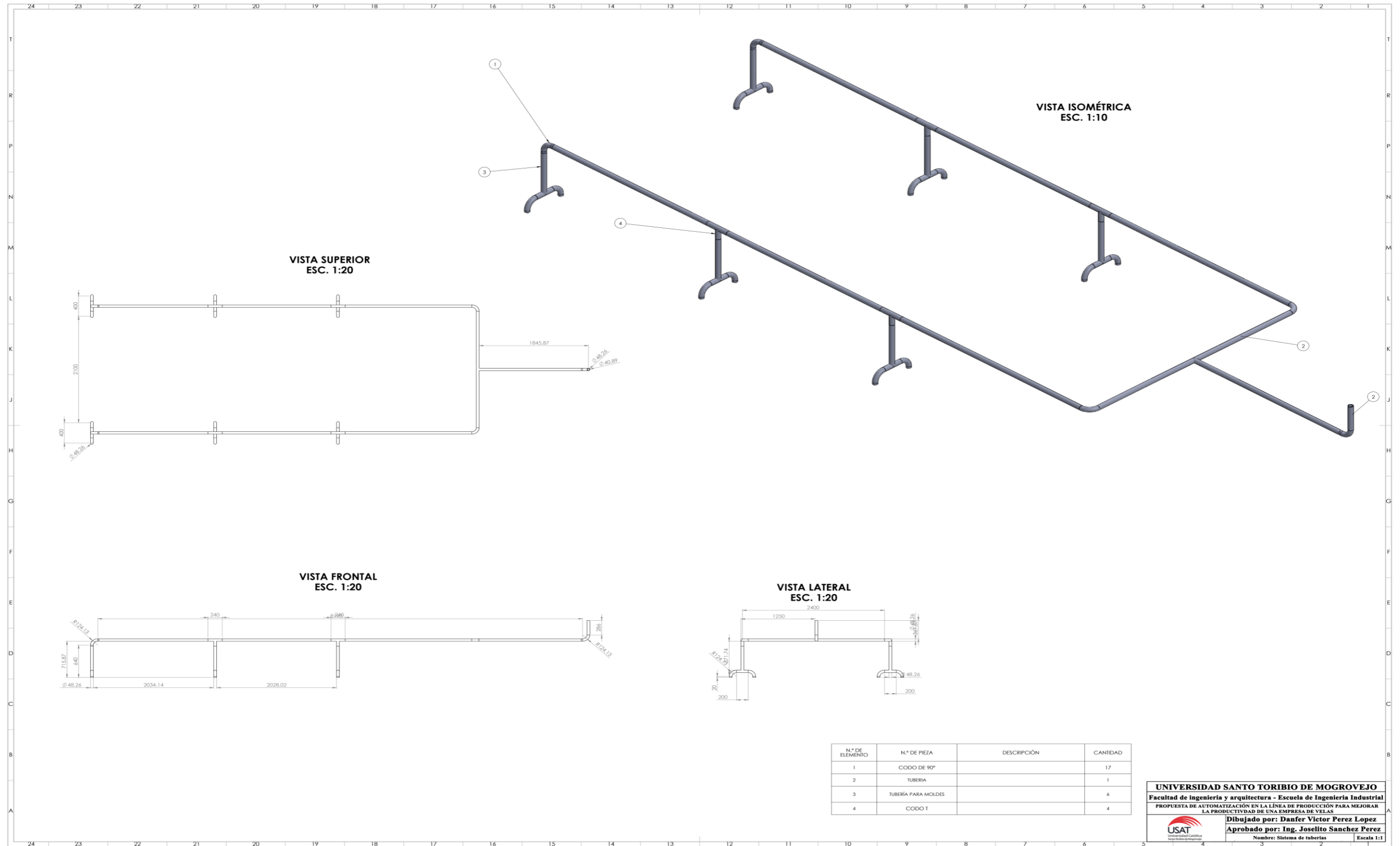
ANEXO N°41: Piezas de la maquina de velas



**UNIVERSIDAD SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
 Facultad de ingeniería y arquitectura - Escuela de Ingeniería Industrial  
 PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DE UNA EMPRESA DE VELAS

**Dibujado por: Danfer Victor Perez Lopez**  
**Aprobado por: Ing. Joselito Sanchez Perez**  
 Nombre: Piezas de la maquina de velas Escala 1:1

ANEXO N°42: Sistema de tuberías del proyecto



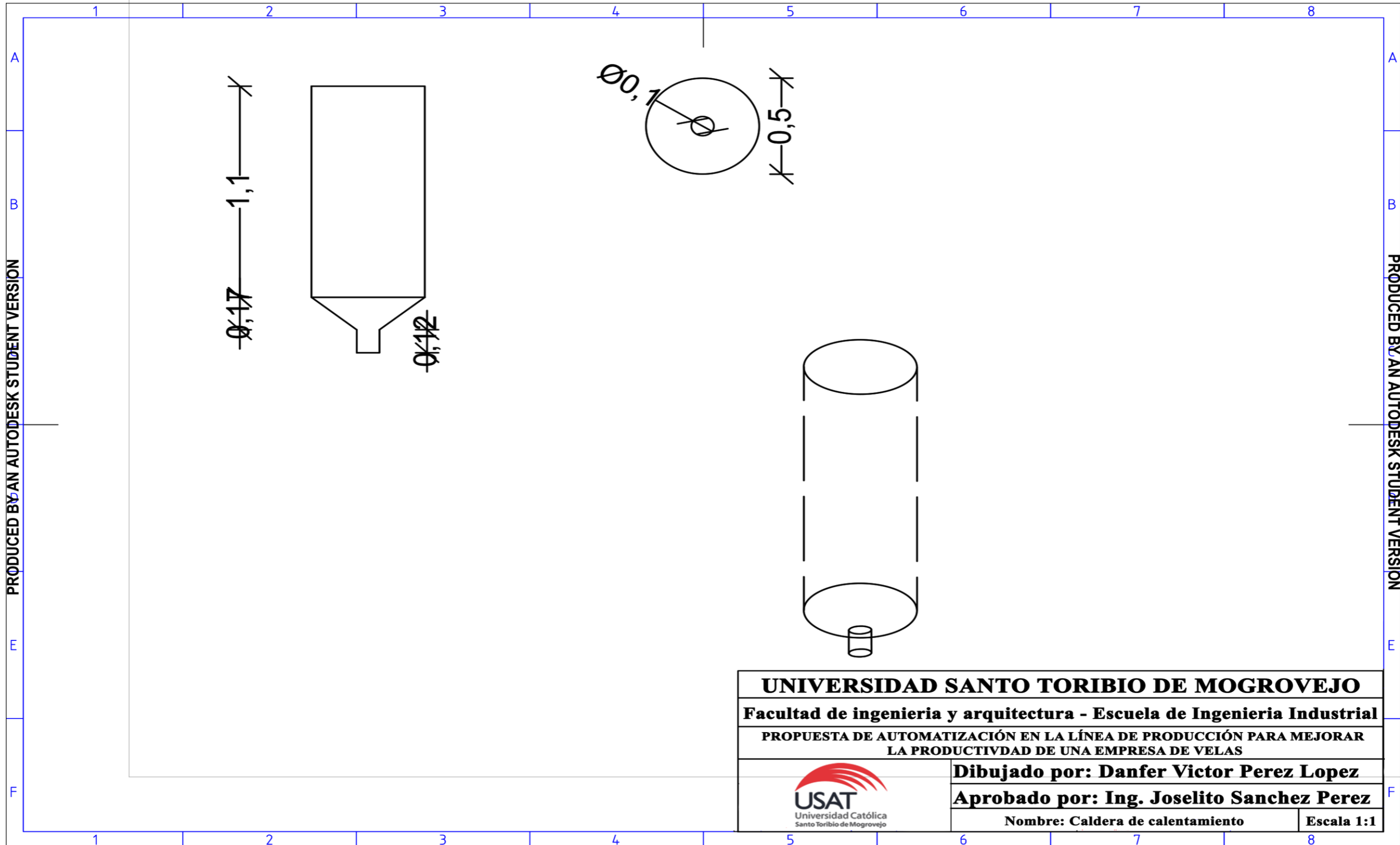
N° DE ELEMENTO	N° DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	CODO DE 90°		17
2	TUBERIA		1
3	TUBERÍA PARA MOLDES		6
4	CODO T		4

**UNIVERSIDAD SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
 Facultad de Ingeniería y arquitectura - Escuela de Ingeniería Industrial  
 PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DE UNA EMPRESA DE VELAS

**Dibujado por: Danfer Victor Perez Lopez**  
**Aprobado por: Ing. Joselito Sanchez Perez**  
 Nombre: Sistema de tuberías Escala 1:1

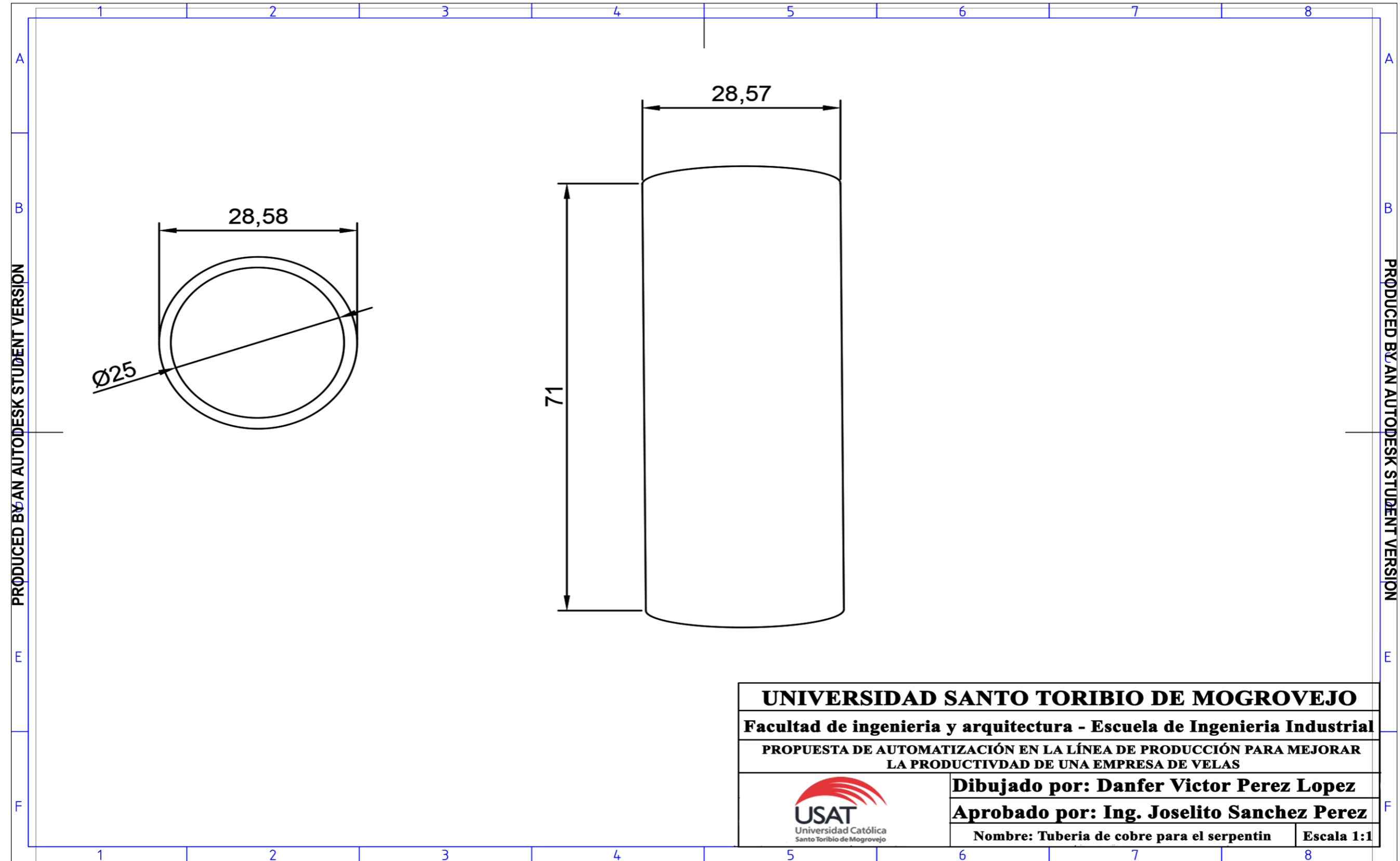
ANEXO N°43: Caldera de calentamiento del proyecto

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION



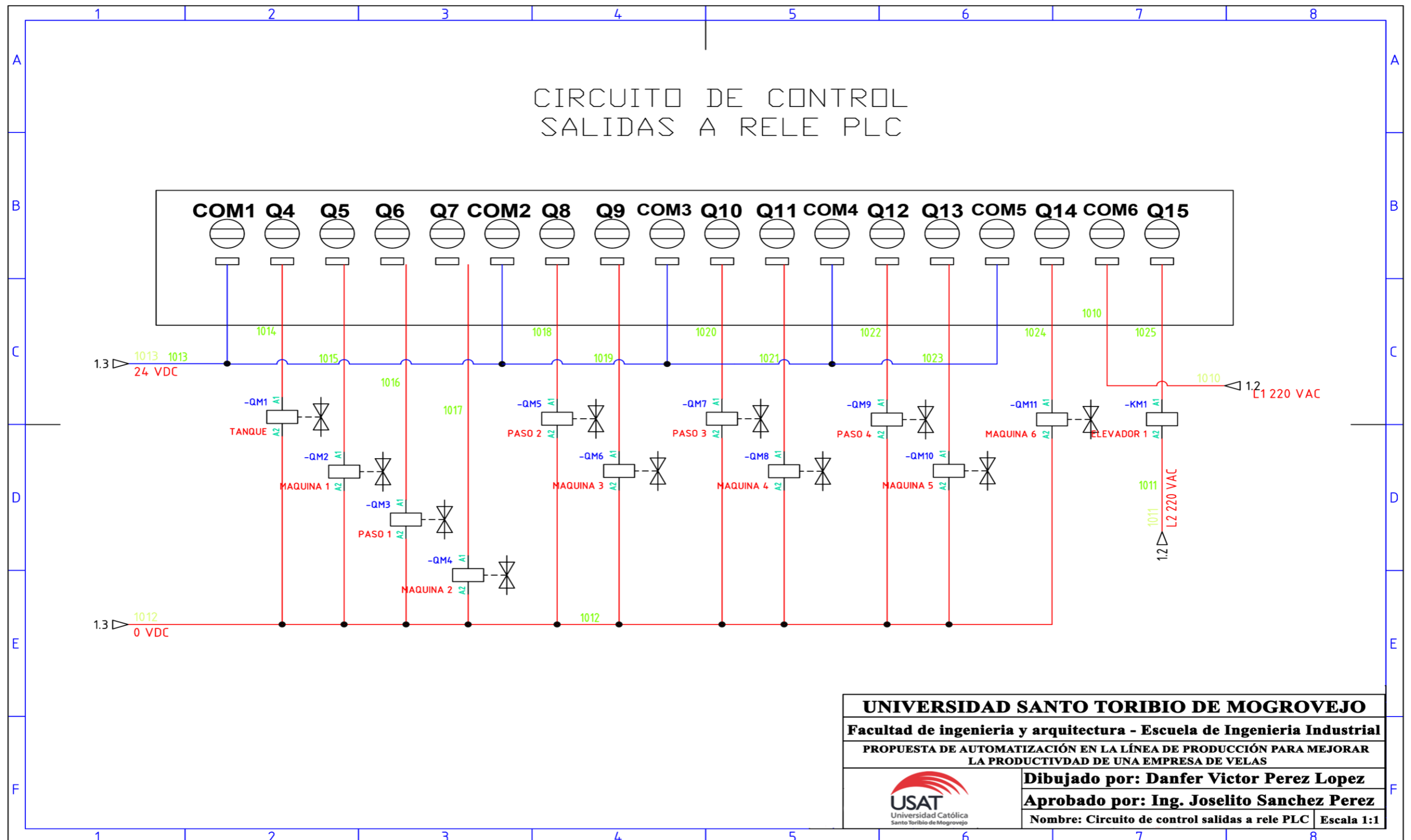
Anexo N° 44: Tubería de cobre para el serpentín

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

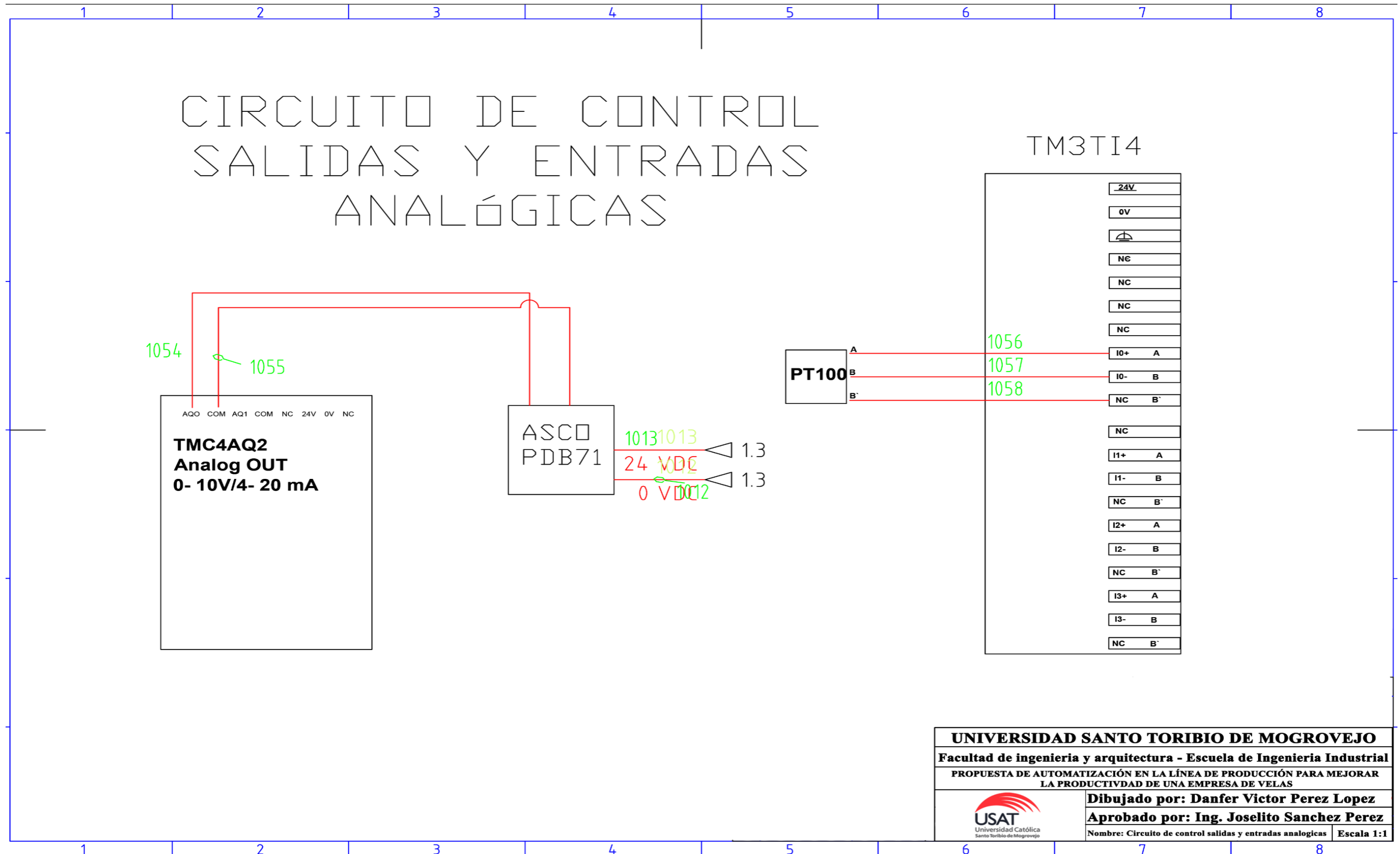


<b>UNIVERSIDAD SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO</b>	
<b>Facultad de ingeniería y arquitectura - Escuela de Ingeniería Industrial</b>	
<b>PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DE UNA EMPRESA DE VELAS</b>	
 USAT Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo	<b>Dibujado por: Danfer Victor Perez Lopez</b>
	<b>Aprobado por: Ing. Joselito Sanchez Perez</b>
<b>Nombre: Tubería de cobre para el serpentín</b>	<b>Escala 1:1</b>

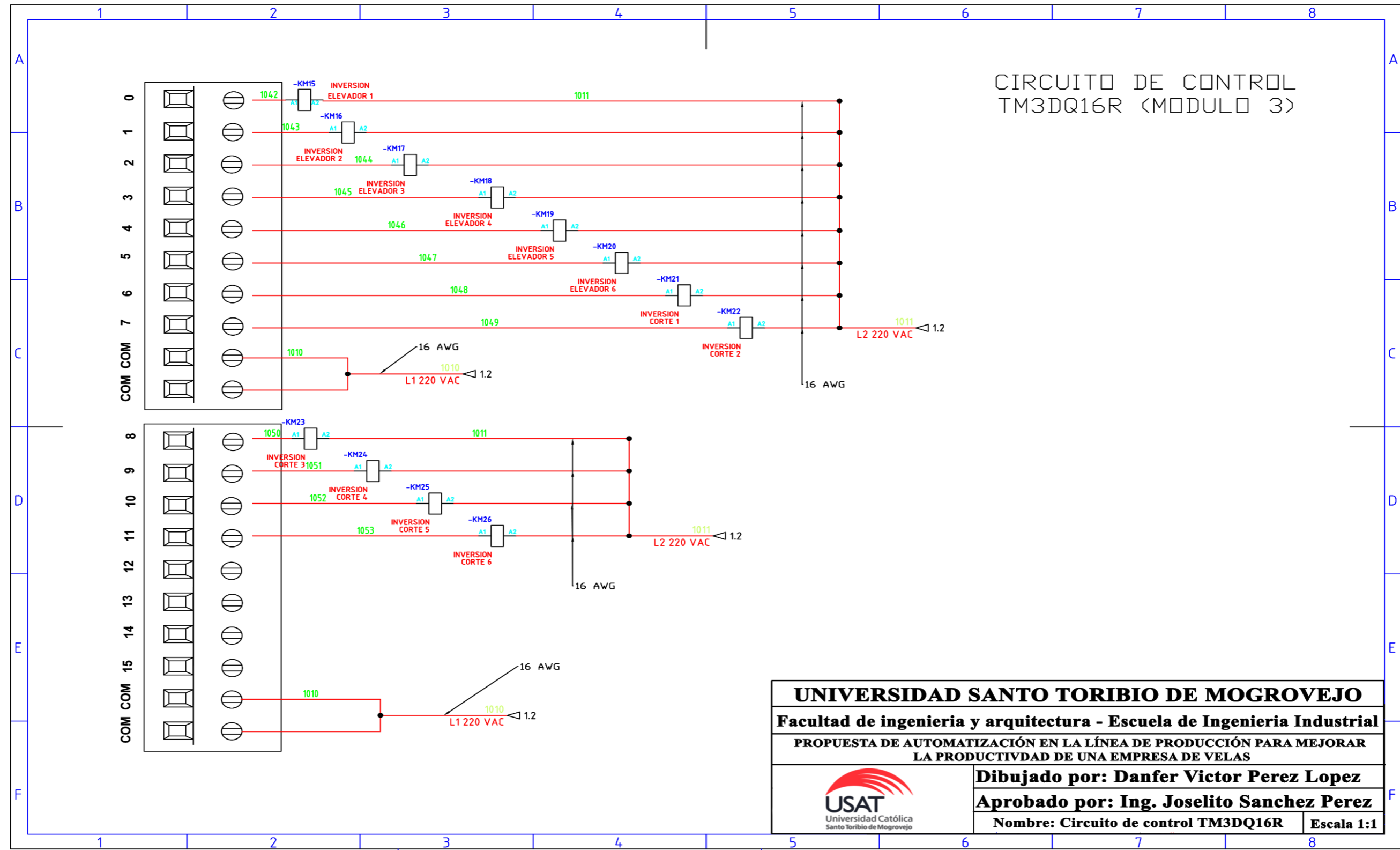
Anexo N°45: Circuito de control salidas a rele PLC



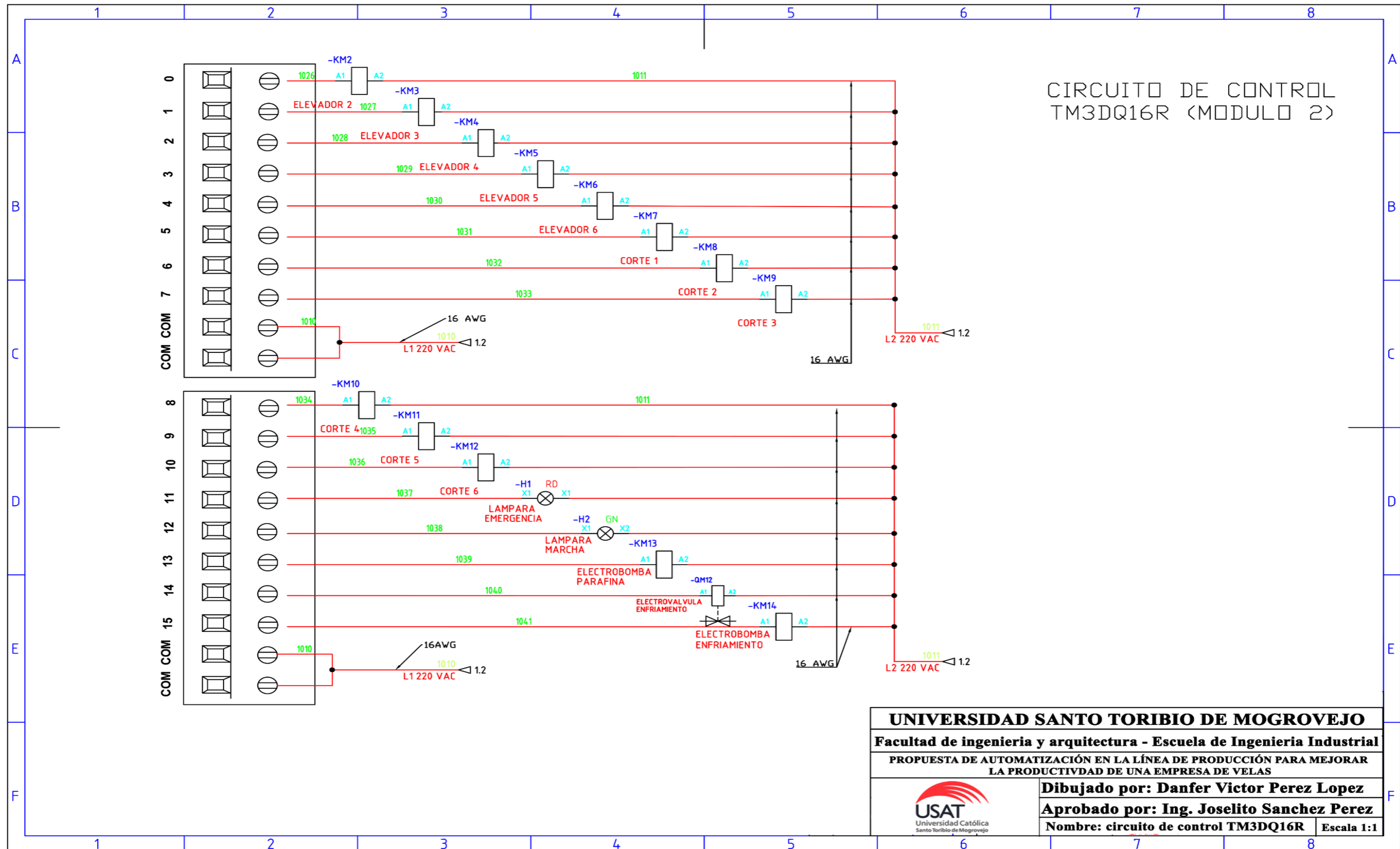
Anexo N° 46: Circuito de control salidas y entradas analógicas.



Anexo N° 47: Circuito e control TM3DQ16R

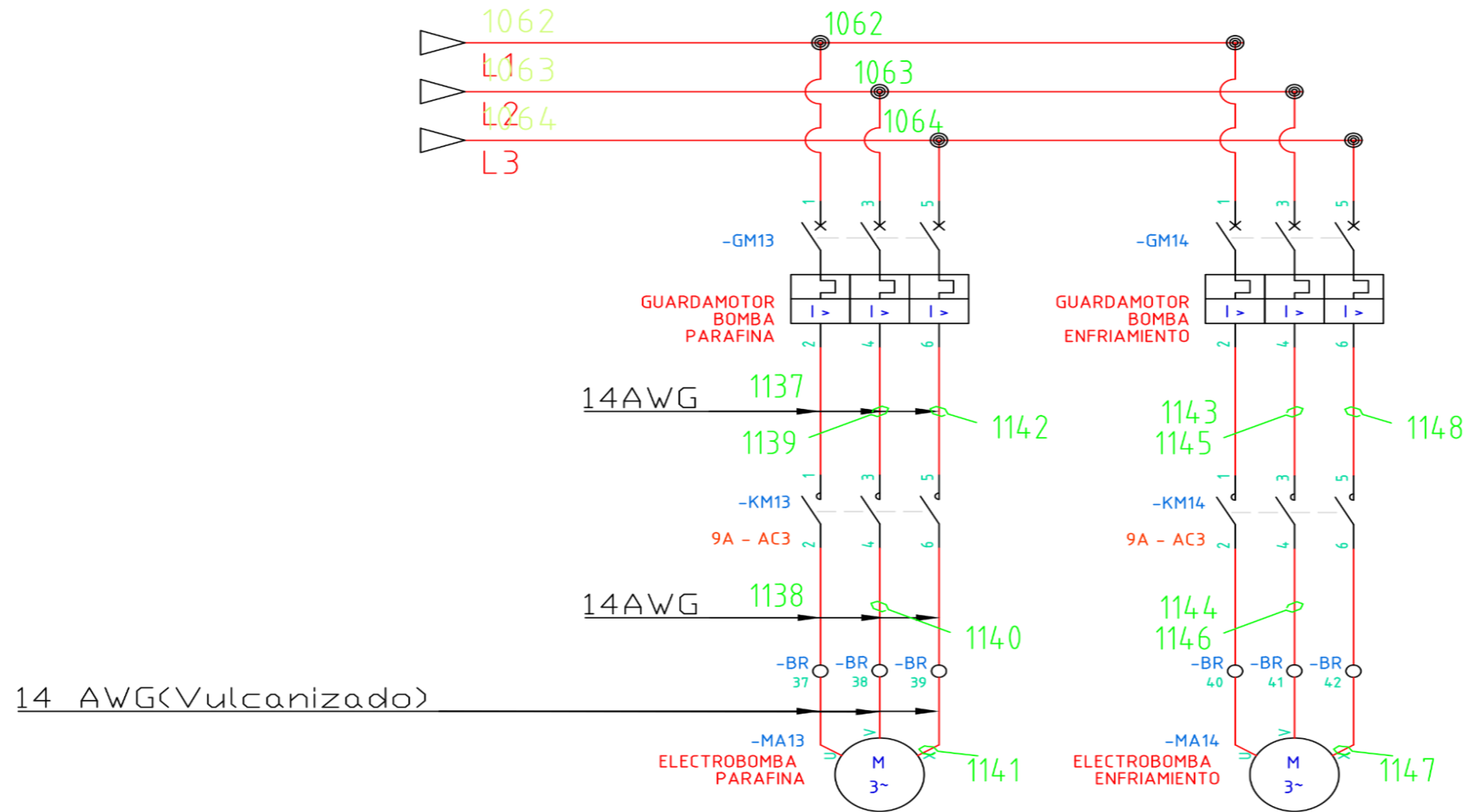


Anexo N°48: Circuito de control TM3DQ16R



Anexo N° 49: Circuito de potencia de electrobombas

# CIRCUITO DE POTENCIA DE ELECTROMBOMBAS



<b>UNIVERSIDAD SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO</b>	
Facultad de ingeniería y arquitectura - Escuela de Ingeniería Industrial	
PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DE UNA EMPRESA DE VELAS	
 USAT Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo	<b>Dibujado por: Danfer Victor Perez Lopez</b>
	<b>Aprobado por: Ing. Joselito Sanchez Perez</b>
	Nombre: Circuito de potencia de electrobombas    Escala 1:1

Anexo N°50: Circuito de potencia motores de corte

