

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



**“AUTOMATIZACIÓN DE LA LÍNEA DE
PRODUCCIÓN DE EMULSIÓN EXPLOSIVA”**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO MECATRÓNICO

YUSEF MANUEL TINEO MERBORO

PROMOCION 2007-I

LIMA – PERU

2012

CONTENIDO

PROLOGO	1
----------------------	----------

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1. Antecedentes	3
1.2. Justificación	4
1.3. Planteamiento del problema.....	5
1.4. Objetivo	6
1.5. Alcances	7
1.6. Limitaciones	9

CAPITULO II

GENERALIDADES DE LA EMULSION EXPLOSIVA Y AUTOMATIZACIÓN

2.1. Productos explosivos.....	11
2.1.1 Definición de explosivo	12
2.1.2 Clasificación de explosivos.....	13
2.1.3 Deflagración y detonación	16
2.1.4 Propiedades de los explosivos	17
2.1.5 Explosivos de uso industrial y accesorios	19

II

2.2. Emulsión explosiva	24
2.2.1 Tipos de emulsión en general	25
2.2.2 Propiedades fisicoquímicas de las emulsiones explosivas	26
2.2.3 Diferencias entre emulsión bombeable y emulsión explosiva	27
2.2.4 Sensibilización	27
2.3. Proceso de producción de la emulsión explosiva	28
2.4. Aplicaciones de los explosivos en Perú	36
2.5. Automatas Programables	38
2.5.1 Introducción a los automatas programables	38
2.5.2 Partes de una automata programable industrial	40
2.5.3 Desarrollo histórico del control automático	41
2.5.4 Control de procesos industriales, evolución y aplicaciones.....	45
2.6. Sensores y actuadores para áreas peligrosas	47
2.6.1 Áreas peligrosas	47
2.6.2 Sensores y actuadores a prueba de explosión	49
2.7. Protocolo de comunicación industrial PROFIBUS DP	51
2.7.1 Tecnologías de transmisión.....	51
2.7.2 Tecnologías de comunicación	53
2.8. Giro de la Automatización en Perú	56

CAPITULO III

OPERACIÓN DE LA PLANTA Y NECESIDAD DE CRECIMIENTO

3.1. La Empresa y su Producto.....	58
3.2. Capacidad de producción de emulsión explosiva.....	60

III

3.3. Tipos de emulsión explosiva producidos	64
3.4. El crecimiento económico impulsado por la penetración en otros mercados	70
3.5. El crecimiento económico impulsado por la inversión.....	71
3.6. Planteamiento del problema.....	74

CAPITULO IV

DISEÑO DE LA LINEA DE PRODUCCION AUTOMATIZADA

4.1. Operaciones humanas en la producción de emulsión.....	77
4.2. Modificaciones en las estructuras para facilitar manipuleo	80
4.2.1 Modificación del tanque reservorio de agua	80
4.2.2 Instalación de tuberías para bombeo de aceites y parafinas	83
4.3. Monitoreo de valores del proceso	85
4.4. Instalación de actuadores en el proceso	88
4.5. Diseño de la lógica de control del proceso	91
4.5.1 Diagrama de flujo del proceso.....	91
4.5.2 PLC y componentes a utilizar para controlar el proceso	96
4.6. Uso de los sistemas de comunicación industrial	101

CAPITULO V

EJECUCIÓN DEL PROYECTO

5.1. Modificación de instalaciones mecánicas.....	104
5.2. Instalación de sensores e interruptores	107

5.3. Instalación de actuadores	109
5.4. Armado del tablero de control	110

CAPITULO VI

ESTUDIO ECONOMICO Y FINANCIERO

6.1. Datos económicos de la Empresa	111
6.2. Análisis de costos unitarios de la automatización	112
6.2.1 Costos directos de la automatización.....	112
6.2.2 Costos indirectos de la automatización	115
6.2.3 Planilla principal del costo total de la automatización.....	116
6.3. Evaluación de la inversión y tiempo de recuperación	117

CONCLUSIONES	121
---------------------------	------------

RECOMENDACIONES.....	122
-----------------------------	------------

BIBLIOGRAFÍA	123
---------------------------	------------

PLANO Y CRONOGRAMA.....	125
--------------------------------	------------

APENDICE	128
-----------------------	------------

PROLOGO

La universidad nos brinda los conocimientos científicos y de ingeniería aplicada, sin embargo, esta formación se consolida en la vida laboral donde las destrezas aprendidas se vuelven concretas. Estar involucrado en un sistema de trabajo no les permite a los obreros ver sus actividades desde otra perspectiva ya sea por cuestión de tiempo o por desinterés o por idiosincrasia, sus jefes inmediatos o supervisores al estar más preocupados por demostrar cifras o hacer entregas dejan pasar las observaciones que hubieron tenido en un determinado momento, y también dejan en "cola" las peticiones que les hicieron los obreros a cargo suyo. Los gerentes preocupados de que sus indicadores no sean negativos en el tiempo planificado, poco saben de alguna problemática que haya en las estaciones de trabajo por lo cual hay una mínima probabilidad que apoyen algún proyecto de mejora, sobre todo si una persona externa a su ambiente de trabajo es la que hace esas observaciones.

En toda empresa hay oportunidades de mejorar, mejorar la producción, mejorar las relaciones laborales, mejorar el ambiente de trabajo, mejorar la apariencia de la empresa, mejorar las operaciones de trabajo, y es la automatización la que juega un papel muy importante en ello, nos "hace más fácil la vida"; sin embargo dar el salto a la automatización puede significar mucha inversión para empresas pequeñas o medianas ya que los sensores, actuadores, controles y

softwares tienen precio elevado; sin embargo si una empresa tiene sostenibilidad económica durante el tiempo que se pueda implementar un proyecto de automatización, la reducción de costos será sustancial y la capacidad de producción estará preparada para nuevos clientes.

Los sistemas para explosivos están presentes en los trabajos de minería, la construcción y la industria, tanto es así, que su uso lo hace muy peligroso si no se manipulan de acuerdo a las normas establecidas; su inadecuado manipuleo ha causado muchos accidentes graves y muy peligrosos, es por esto que conocer y estudiar los sistemas para explosivos nos da una ventaja a la hora de interactuar con estos. Los explosivos se usan para romper, destruir o debilitar materiales de gran dureza, normalmente rocas en la minería o construcción de carreteras y para hacer demoliciones en obras civiles.

El uso de los explosivos industriales en determinadas fases de la construcción de las obras públicas, o en edificación, constituye una herramienta irremplazable para su economía y eficacia. En algunos casos, como por ejemplo excavaciones y demoliciones, las voladuras son de ámbito urbano y existen técnicas modernas que han alcanzado altos niveles de definición y garantizan la eficacia del uso de explosivos en aplicaciones muy diversas. Con la necesidad de construcción de casas; carreteras que unan más lugares; exploraciones para el futuro; el uso de explosivos también va en crecimiento, de tal modo que se desarrollan nuevas mezclas y nuevos procesos de producción estando entre las más usadas: "la emulsión explosiva" y en este informe describiremos una manera más eficiente de producirla.

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1. Antecedentes.-

En 1954 EXSA S.A. se constituye con el nombre de Explosivos S.A. teniendo por socios fundadores a Cerro de Pasco Corp., Poudreries Reunies de Belgique, Dynamit Nobel A.G. y otros, en 1956 Inicia sus operaciones en Lurín, al sur de Lima/Perú, utilizando los más exigentes niveles de seguridad y tecnología *state-of-the-art* en la producción, así como un alto nivel en asistencia técnica acordes con esos años.

En 1992 Inicia sus operaciones la planta de Emulsiones Explosivas en Lurín, en 1995 Explosivos S.A. cambia de razón social a EXSA S.A; dos años más tarde en 1997 consolida el autoabastecimiento de ácido nítrico con el inicio de operaciones de una planta para este fin en Lurín. En 1997 inicia operaciones la 2da. planta de Emulsiones Explosivas ubicada en Sama - Las Yaras, Tacna, cerca de la frontera sur del Perú.

El año 2000 inicia la exportación de dinamitas al mercado norteamericano, luego el 2001 comienza su expansión interna con la fusión por absorción de la empresa de explosivos Química Sol S.A., cuya planta de producción se ubica en Tacna y dos años más tarde el 2002 consolida su

crecimiento en provincias con el inicio de operaciones de su planta de Emulsiones Explosivas en Salaverry, Trujillo.

El 2003 obtiene el certificado ISO 9001: versión 2000 a su Sistema de Gestión de Calidad para las divisiones de Explosivos y Soldaduras, el 2004 obtiene el certificado ISO 14001 para su Sistema de Gestión Ambiental, luego el 2006 implementa el software ERP/SAP, así mismo ese año obtiene la certificación BASC para su Sistema de Seguridad en el Comercio Internacional.

El 2007 Inaugura una Escuela de Soldadores para dar formación a jóvenes de escasos recursos proporcionándoles un oficio que les permita desarrollarse y mejorar su calidad de vida, también el 2007 se incorpora al grupo de empresas fundadoras de la Asociación de Buenos Empleadores (ABE) y obtiene la certificación OHSAS 18001 para su Sistema de Seguridad y Salud Ocupacional.

1.2. Justificación.-

Un aspecto resaltante de los proyectos de automatización en la actualidad es que estos representan una etapa de cambio en los procesos de producción; en los equipos humanos son cambios de paradigmas, y para una organización es un salto más hacia la actualidad, estos proyectos bien implementados llevan a todo los equipos a un estándar requerido y eficiente de operación.

El interés de llevar a cabo la realización del presente informe es para mostrar la importancia que juega la automatización en una planta de explosivos, a través de este se les brindará detalles de simples cambios a

realizar y de cómo la automatización permitirá controlar y garantizar el funcionamiento de los equipos mecánicos y eléctricos que forman parte de la planta de producción de emulsión explosiva, y así mismo brindará mayores facilidades de operación a los obreros otorgándoles mayor seguridad en el manipuleo de válvulas mecánicas e interruptores eléctricos. Lo que se busca también es incorporar nueva tecnología, mejorar la productividad, suplir actividades que demandan esfuerzo físico, para mejorar la ergonomía del trabajador.

De esta manera se pretende que el presente informe sirva de base para una investigación más profunda y/o desarrollo de nuevos productos que requieren operaciones más especializadas.

1.3. Planteamiento del Problema.-

Luego de pasar la crisis mundial del 2007, EXSA S.A. recupera el nivel de sus ventas a nivel Latinoamérica, y continúa sus exportaciones a Estados Unidos, también busca penetrar al creciente mercado de Panamá ya que se iniciaban labores de ampliación del Canal en el Cerro Paraíso, en el cual obtiene el principal contrato el Consorcio Grupos Unidos por el Canal, quienes requerirán grandes cantidades de explosivos.

Paralelamente EXSA S.A. planifica abrir sucursales comerciales en Argentina, Colombia, Bolivia y Ecuador, sin embargo la capacidad de producción de las 3 plantas en conjunto es decir la planta de Lurín, Tacna y Trujillo tienen la capacidad de producir 1705, 433 y 700 Toneladas de emulsión explosiva por mes lo cual no sería un buen soporte para tales fines. Por lo tanto EXSA S.A. requiere incrementar su producción.

En Marzo de 2010 se inician los trabajos de Ampliación de la Planta de Emulsiones Encartuchadas, dicho Proyecto consistía en duplicar la capacidad de producción de la planta con base en la duplicación de todo los equipos requeridos para la elaboración de la emulsión explosiva y para el encartuchado de esta emulsión; por decirlo de otra manera se crearía una Planta 2 de Emulsión Encartuchada.

El equipo encargado del proyecto de ampliación inició su ejecución teniendo como parámetro principal que los trabajos de ampliación se realizarían paralelamente a la producción de emulsión y de este modo se continúa hasta hoy y será así hasta la culminación del proyecto tiempo en el cuál ya la producción será el doble de la actual.

Si bien es cierto que el Proyecto que se está ejecutando duplicará la producción y tiene instalados mayores dispositivos de seguridad, este carece de innovaciones en la operación de la planta ya que los obreros continuarían produciendo del mismo modo, y es por ello que viendo dicha oportunidad presento este informe en el cual describiré las maneras de como optimizar las operaciones centrándome en la producción de emulsión explosiva para así incrementar aún más el volumen de producción y restar esfuerzos físicos, y riesgos de seguridad.

1.4. Objetivos.-

Para que la automatización represente una inversión viable a la empresa, con tiempo de recuperación de la inversión accesible; se plantea como objetivos reducir en 20% el tiempo de producción de explosivos por turno, incrementar el volumen de producción mensual en 15% y minimizar el

esfuerzo físico de los operarios y supervisores, brindando de esta manera una mejor ergonomía en los trabajos diarios realizados por ellos.

Así mismo cabe resaltar que al reducir el esfuerzo físico que implica traslado constante de los trabajadores a la zona de producción para manipulación de válvulas, es inherente decir que también se reducirá el riesgo de operación, y por ende la seguridad de los trabajadores se incrementará.

1.5. Alcances.-

Actualmente se está llevando a cabo la ampliación en 100% de la planta de producción de emulsión encartuchada que abarca todo el edificio 557, esta planta comprende dos áreas de producción bien definidas, por un lado está el área de producción de emulsión explosiva a la cual denominaremos E-01M11 y por otro lado está el área de encartuchado de la emulsión explosiva a la cual denominaremos E-01M12, a continuación mostramos en la FIG N° 1 la zona para la cuál será desarrollada y aplicada la automatización. En esta figura podemos observar que nos indica que la automatización se aplicará solamente al área de producción de emulsión explosiva.

Al hablar de automatización podemos entender que toda la producción se realizará automáticamente sin embargo este informe sólo contribuirá en la automatización de los procesos mecánicos, ya que para la producción de emulsión es imprescindible que las mezclas acuosas tengan un determinado pH, es por ello que esta medición se realizará de modo manual. Básicamente la automatización se logrará al reemplazar válvulas de

tipo bola de accionamiento manual por válvulas de tipo bola de accionamiento neumático; también aclaramos que solo las válvulas que influyen directamente en el proceso de producción serán cambiadas, indico esto porque hay válvulas que son usadas para limpieza y/o recojo de excedentes en el proceso que no serán cambiadas.

ESQUEMA DE AMPLIACION DE LA PLANTA

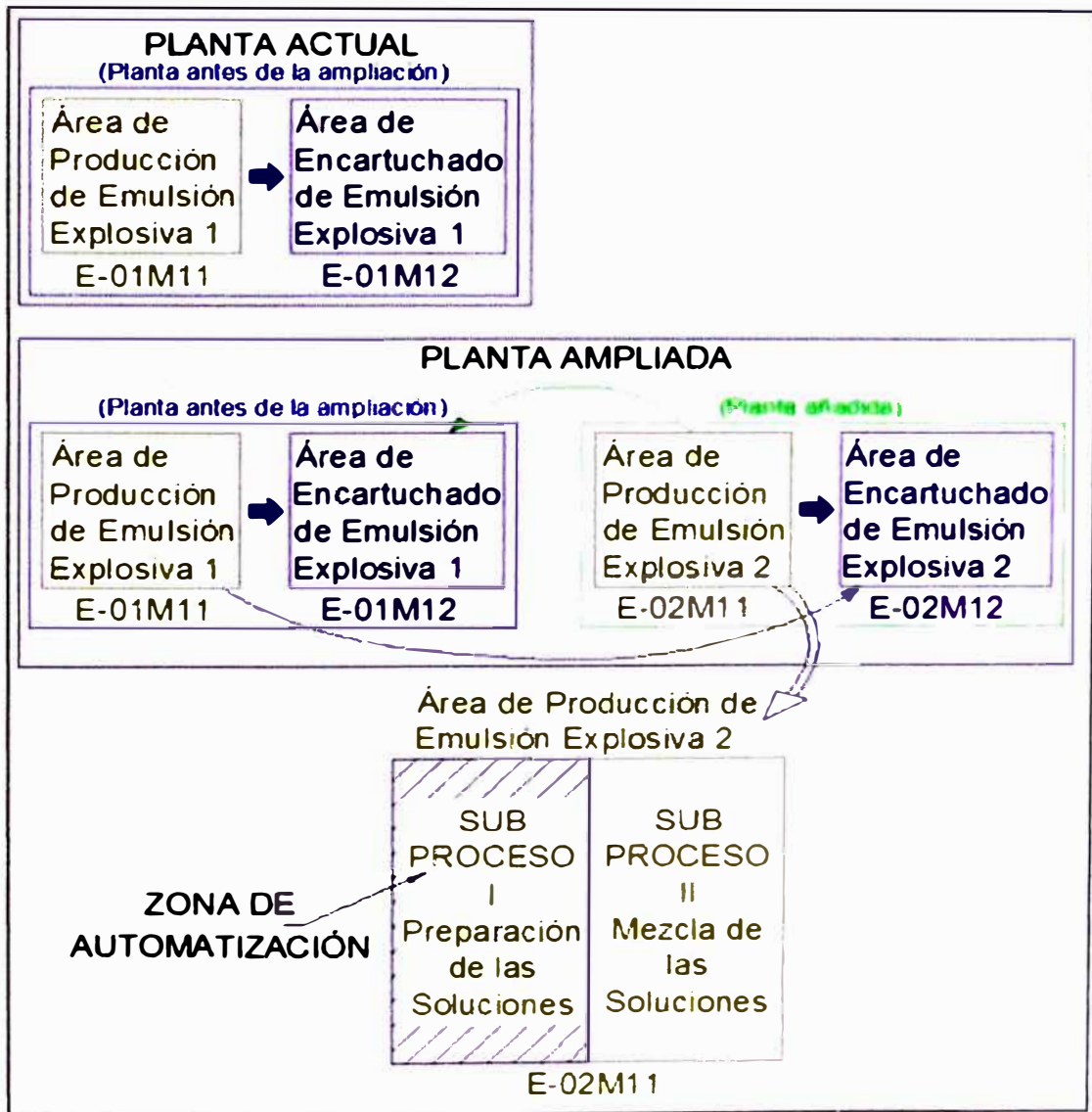


FIG N° 1: Zona de aplicación de la automatización

El tipo de control aplicado en toda la línea de proceso será del tipo secuencial On – Off ejecutado por un autómata programable (PLC S7 – 300), y la recolección de información se realizará a través de sensores que cumplan con la protección adecuada para atmósferas explosivas.

1.6. Limitaciones.-

En el proceso de fabricación de emulsión explosiva hay una etapa en la que se utilizan filtros prensa que separan líquido y fase sólida (no deseada), sin embargo, en el presente informe al realizar la automatización de la línea de producción se obviarán estos filtros prensa que son utilizados eventualmente ya que normalmente se utilizan insumos que previenen la formación de esta etapa sólida.

En cuanto al estudio económico financiero, no cuento con los datos actuales (año 2011) ya que la empresa se reserva de emitir esta información hasta el fin del año, por lo que procederé a ejecutar el estudio con datos de años pasados, época en la cual recién se aprobaba el anteproyecto de ampliación de la planta, tampoco puedo obtener datos de las cantidades exactas de producción de la planta y de las ventas diarias o mensuales actuales por el mismo motivo que el anterior, es por ello que también trabajaré con datos de años pasados, que son publicados en las memorias anuales de la empresa; sin embargo estos datos también son presentados totalizados mezclando la producción de las plantas de Lurín, Trujillo y Tacna, además de mezclar dinamitas con emulsión explosiva. En este caso realizaré una aproximación proporcional a la capacidad de planta instalada.

En el área de producción de emulsión explosiva, hay dos sub-procesos como se muestra en la FIG N°1, en la parte del sub-proceso II que es calificada como zona peligrosa de alto riesgo, la empresa decidió el uso de motores de generación hidráulica, comandados por válvulas especiales de alta presión, las cuales serían muy costosas de reemplazar o requieren mayor estudio para su reemplazo, es por ello que la automatización a la cual se refiere el presente informe no abarca dicha zona.

CAPITULO II

GENERALIDADES DE LA EMULSION EXPLOSIVA Y AUTOMATIZACIÓN

2.1. Productos Explosivos.-

Acontecimientos referidos a los explosivos a lo largo del tiempo:

Siglo IX: Durante la dinastía Tang en China, donde los alquimistas, buscando el elixir de la inmortalidad, fabrican la pólvora negra a partir de una mezcla de nitrato potásico, azufre y carbón vegetal.

1242: El fraile inglés Roger Bacon publica una fórmula de pólvora negra.

1627: Primer uso de la pólvora negra para tronadura de rocas, hecha en minas de Hungría, lo que actualmente es (Minas Reales de Schemnitz).

1635: John Bate, acerca de la pólvora decía: "la sal pétreo es el alma, el azufre la vida y el carbón el cuerpo de ella".

1831: William Bickford inventó la mecha de seguridad, drásticamente se redujo el número de accidentes por la deficiente ignición de la pólvora negra.

1846: El químico italiano Ascanio Sobrero, inventó la tri-nitroglicerina dando a conocer su potencia explosiva.

1857: Lamot du Pont reemplaza el nitrato de potasio, por nitrato de sodio.

1864: Alfred Nobel mejoró el proceso de fabricación de la nitroglicerina; aun así tuvo que vivir la destrucción accidental de sus establecimientos, uno de estos fue en Heleneborg (Estocolmo) donde murió su hermano menor, Emil.

1875: Alfred Nobel disuelve nitrocelulosa en nitroglicerina, formando una masa gelatinosa, que es la antecesora de las dinamitas gelatinas.

1875: Julius Smith y Perry Gardiner, crean un detonador de puente eléctrico que funciona a baja tensión, dando origen a la era de la iniciación eléctrica.

1917: Apogeo de la pólvora negra, a causa de su gran consumo durante la primera guerra mundial.

1947: Se comienzan a fabricar los ANFOs (Ammonium Nitrate - Fuel Oil).

1950: Apogeo de la dinamita, aparición del ANFO y los acuageles en USA.

1970: A finales de la década de los 60 aparecen las emulsiones explosivas y sus mezclas con Anfo, denominados Anfos Pesados.

1980: Comienza la introducción en el mercado de las emulsiones gelatinosas.

2.1.1 Definición de explosivo

Son productos, sustancias o elementos químicos en estado sólido, líquido o gelatinoso que al aplicarles, combinados o separados, factores de iniciación (calor, presión, roce, percusión o choque) se transforman en gas a alta velocidad y producen energía térmica, presión, una onda de choque, radiación y un alto estruendo.

La iniciación de esta reacción puede efectuarse por:

- Impacto o Fricción → como los tronadores
- Calor (chispa o llama) → explosivos con pólvora
- Onda de choque (presión) → emulsión explosiva

Los tres requisitos para que haya una explosión son: Que exista un material **combustible**; **aire** u otro medio cualquiera de combustión y; una fuente de **ignición** o una **temperatura superior** al punto de ignición.

Los productos de esta rauda reacción química son gases, los que al expandirse súbitamente por las altas temperaturas del orden de los 1500 °C a 1900 °C, ejercen una gran presión en sus alrededores y realizan trabajo causando fragmentación, grietas y fisuras en el medio al cual se exponen.

Los ingredientes a incluir en los explosivos se determinan por sus características individuales. Puede reconocerse que ciertos compuestos son altamente explosivos por sí mismo, o pueden ser inertes, pero cuando se combinan, forman una mezcla explosiva.

De acuerdo a sus funciones, los ingredientes usados en la fabricación de altos explosivos comerciales, se clasifican en:

- Explosivo base, agente sensibilizador, agente gelatinizante, compuesto básicamente por nitroglicerina, TNT, gasificantes, aluminio en polvo.
- Agente reductor (combustible), compuesto básicamente por petróleo, aceites minerales, parafinas.
- Agente oxidante (proporciona oxígeno), compuesto básicamente por soluciones salinas y nitratos.
- Antiácido (regulador de pH)
- Absorbentes.

2.1.2 Clasificación de los explosivos

A) Según su naturaleza química

A.1 ORGÁNICOS.- Son compuestos que se obtienen mediante nitración de sustancias orgánicas. Su manipulación es segura y se activan mediante un iniciador o cebo. Responden a las fórmulas presentadas en la TABLA N° 1, donde se ve que se añade un grupo nitro (-NO₂) a la molécula original desplazando a un hidrógeno:

TABLA N° 1: Fórmulas y compuestos de origen

<i>Nombre</i>	<i>Fórmula</i>	<i>Compuesto origen</i>
<i>Nitro hidrocarburos:</i>	<i>R-NO₂</i>	<i>R-H</i>
<i>Nitro aminas:</i>	<i>R-NH-NO₂</i>	<i>R-NH₂</i>
<i>Ésteres químicos:</i>	<i>R-O-NO₂</i>	<i>R-OH</i>

A.2 INORGÁNICOS.- Son componentes de las pólvoras y son directamente explosivos. Ejemplos de estos son el clorato de potasio $KClO_3$, el nitrato de potasio KNO_3 o el nitrato de amonio NH_4NO_3 .

A.3 ORGANOMETÁLICOS.- Se usan como cebos o iniciadores de otros explosivos. En general son de estructura muy inestable y por ello su descomposición explosiva es endotérmica. Tienen carácter de detonantes y basta el choque para su descomposición, entre ellos tenemos el fulminato de mercurio $ONC-Hg-CNO$, o la azida de plomo. $(N_3)_2Pb$.

B) Según la velocidad de reacción

B.1 INICIADORES O DETONADORES.- Son muy sensibles a acciones externas. Detonan y el fenómeno se propaga a alta velocidad (superior a 10.000 m/s). Suelen ser órgano-metálicos.

B.2 MULTIPLICADORES.- Exploran, son utilizados como amplificadores del iniciador, entre estos tenemos la tetralita ($C_7H_5N_5O_8$), el exógeno ($C_3H_6N_6O_6$) y la pentrita ($C_5H_8N_4O_{12}$), que son nitro-aminas.

B.3 ROMPEDORES.- Explodian pero se usan directamente para provocar efectos mecánicos de rotura. Como ejemplo el TNT, la nitroglicerina, y el ácido pícrico, que son nitro-hidrocarburos.

B.4 PROPULSORES (explosivos balísticos o pólvoras).- El fenómeno se propaga con una velocidad de explosión lenta, inferior a 340 m/s. Entre estos encontramos la pólvora negra (nitrato de potasio, carbono y azufre), o la pólvora sin humo (nitrocelulosa).

C) Según la forma de liberación de energía

C.1 EXPLOSIVOS QUÍMICOS.-

Altos Explosivos.- Se caracterizan cuando una explosión es iniciada en él sin necesidad de estar confinados en un recipiente, esta se manifiesta como detonación alcanzando velocidades supersónicas.

Bajos Explosivos.- Deflagran cuando son iniciados y alcanzan velocidades menores a la velocidad del sonido, mayormente se usan como propulsores.

C.2 EXPLOSIVOS MECÁNICOS.- La energía se genera a través de la evaporización repentina de materias inertes, por medio de la introducción de un material a muy alta temperatura.

C.3 EXPLOSIVOS NUCLEARES.- La liberación de la energía se realiza por fisión nuclear, como al usar plutonio 239 y uranio 235 que con la ayuda de un detonador o iniciador dividen sus átomos y

moléculas, generando muchísimo calor y energía. O por fusión nuclear, como al usar isótopos del hidrógeno, desprenden energía al fusionarse los núcleos de deuterio (H^2) y de tritio (H^3), que dan un núcleo de helio y desprenden energía, ocasionando una reacción en cadena del orden de las miles de toneladas de TNT.

D) Según su composición química específica

D.1 EXPLOSIVOS IDEALES.- Poseen las mismas características (velocidad, presión de detonación) cualquiera sea su diámetro, forma o condiciones ambientales, son el TNT, PETN, RDX, dinamitas, gelatinas explosivas, explosivos en base a nitrato de amonio y otros.

D.2 EXPLOSIVOS NO IDEALES.- Dependen del confinamiento, diámetro, temperatura, etc. Tenemos al ANFO, el ANFO Pesado, slurries, emulsiones, acuageles. Estos explosivos contienen nitrato de amonio, TNT, H_2O y mantienen un balance de O_2 cercano a 0.

2.1.3 Deflagración y detonación

A) Deflagración

Una deflagración es una combustión súbita con llama a baja velocidad de propagación, sin explosión, se asocia erróneamente con las explosiones. Es una combustión subsónica, las reacciones que provoca una deflagración son idénticas a las de una combustión, pero se desarrollan a una velocidad comprendida entre 1 m/s y la velocidad del sonido 343.5 m/s. En una deflagración, el frente de llama avanza por fenómenos de difusión térmica.

B) Detonación

Una detonación es un proceso de combustión supersónica que implica la existencia de una onda expansiva y una zona de reacción detrás de ella. Una detonación es un drástico proceso de transformación de la energía que contiene un material, casi siempre de naturaleza química. La detonación es un fenómeno esencialmente mecánico, cuya velocidad de reacción súper elevada y propagada por una onda de choque da origen al calor. Al detonar la carga explosiva su masa se transforma en gases con alta presión y alta temperatura. Por la velocidad de detonación tenemos:

- Explosivos nobles o ultra-rompedores: Que detonan a velocidades superiores a 7000 m/s, como: pentrita, hexógeno, tetralita.
- Altos explosivos o explosivos rompedores: Con velocidades de detonación entre 2000 y 7000 m/s.
- Explosivos deflagradores: Sólo deflagran. Sus velocidades de detonación son menores de 2000 m/s.

2.1.4 Propiedades de los explosivos

A) Sensibilidad

Es la propiedad que mide la facilidad para la iniciación del explosivo. Da cuenta de las condiciones mínimas requeridas para la detonación. Con una baja sensibilidad la detonación en el hoyo podría ser interrumpida por algún obstáculo dentro de la columna explosiva. Con una alta sensibilidad se podría causar la propagación de la detonación.

B) Resistencia al agua

Es la capacidad para resistir una prolongada exposición al agua sin perder sus características. Mide cuanto es influenciada la detonación del explosivo por el agua en la perforación.

C) Densidad de encartuchado

Es el peso del explosivo por unidad de volumen que está compactado. La densidad controla la concentración de energía en una perforación, generalmente a mayor densidad mayor potencia.

D) Impedancia

Es la propiedad que sirve para medir la transmisión de la energía del explosivo a la roca. La transferencia de la energía del explosivo a la roca es máxima si la razón entre la impedancia del explosivo y la impedancia de la roca se acerca a 1, si esta razón es inferior o superior a 1 habrá pérdida de transferencia de energía del explosivo.

Tenemos las siguientes fórmulas:

$$\text{Impedancia del explosivo} \rightarrow I_e = V_{OD} \times \rho_{exp}$$

$$\text{Impedancia de la roca:} \rightarrow I_r = V_p \times \rho_{roca}$$

Donde:

$$V_{OD} = \text{velocidad de detonación del explosivo}$$

$$\rho_{exp} = \text{densidad del explosivo}$$

$$V_p = \text{velocidad de onda p}$$

$$\rho_{roca} = \text{densidad de la roca}$$

E) Balance de oxígeno

Un explosivo es considerado que tiene balance de oxígeno cero cuando contiene el oxígeno justo para oxidar completamente el combustible presente. El exceso de oxígeno reaccionará el N_2 para formar NO_2 y un déficit de oxígeno producirá CO. La mayoría de los explosivos son deficientes de oxígeno.

F) Generación de gases

Se expresa como volumen de gas por unidad de masa de explosivo (l/kg, mol/g). Los gases primarios de un explosivo con oxígeno balanceado deberían ser: H_2O , NO_2 , N_2 , y eventualmente sólidos y líquidos.

G) Estabilidad química

Es el intervalo de tiempo que un explosivo puede permanecer en la perforación sin un cambio en su composición química o en sus propiedades físicas. Por ejemplo el debilitamiento de la masa gelatinosa puede causar: pérdida del aire atrapado (micro burbujas), segregación y cristalización de los nitratos disueltos.

2.1.5 Explosivos de uso industrial y accesorios**A) Dinamitas**

Las dinamitas son altos explosivos que tienen como componente principal la nitroglicerina. Estos productos tienen una densidad de $1,6 \text{ gr/cm}^3$ y pueden desarrollar velocidades de detonación de 7000 m/s. Al ser la nitroglicerina altamente sensible al

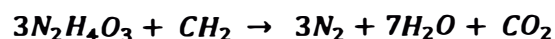
choque, la fricción y el calor, es necesario mezclarla con elementos inertes para así poder manipularlas. Existen dinamitas granuladas y las dinamitas gelatinas, estas segundas son resistentes al agua.

B) Emulsiones

Es un alto explosivo, mezcla de nitratos de amonio, sensibilizadores, combustibles, aluminio y cantidades variables de agua. Mayormente presentan dos fases que no se mezclan entre sí y cuya constitución define su comportamiento y características.

C) Nitrato de Amonio

La fórmula química del nitrato de amonio es $N_2H_4O_3$. En relación con su peso, aporta más volumen de gas en la detonación que cualquier otro explosivo. En estado puro, el nitrato de amonio (NA) es casi inerte y su composición por peso es de 60% de oxígeno, 33% de nitrógeno y 7% de hidrógeno. Al agregar el diesel, la reacción con balance de oxígeno ideal para el NA es:



Dos características hacen a este compuesto impredecible y peligroso. La primera, que es soluble en agua, y sin recubrimiento repelente a ella, puede absorberla del ambiente y disolverse lentamente. Por esta razón, las pequeñas esferas o perlas tienen un recubrimiento protector de arena silíceo pulverizada. La segunda y más importante característica es un fenómeno llamado ciclado, que es la habilidad de un material para cambiar la forma de sus cristales con las variaciones de la temperatura.

D) ANFO

Son mezclas elaboradas a base de perdigones de nitrato de amonio y combustibles adecuados. Existen: ANFO, ANFO pesado, ANFO aluminizado, ANFO AST. En la tecnología actual de voladuras, es incuestionable que el ANFO es el explosivo básico por sus bajos precios y facilidad de manipulación. La explosión del ANFO es sin destello, y la onda expansiva es muy poderosa en relación al poco monto que se ha de usar.

E) Hidrogeles.

Mezclas húmedas en forma de suspensiones que contienen aditivos que les permiten presentar la forma de geles.

F) Iniciadores y Rompedores

Productos a base de Pentrita (PENT) y TNT, mezcla que se denomina Pentolita. Los iniciadores son cilíndricos regulares y los rompedores cónicos. Se usan en perforaciones de gran diámetro y en reducción de bolones en labores abiertas.

G) Sistema de Iniciación

Tenemos a los siguientes cuya definición está en el apéndice:

- Mechas para minas
- Detonador a mecha
- Cordón detonante
- Detonador eléctrico
- Sistema de iniciación no eléctrico

A continuación en la FIG N° 2 se muestra la secuencia de encendido de los explosivos, el más seguro es el eléctrico.

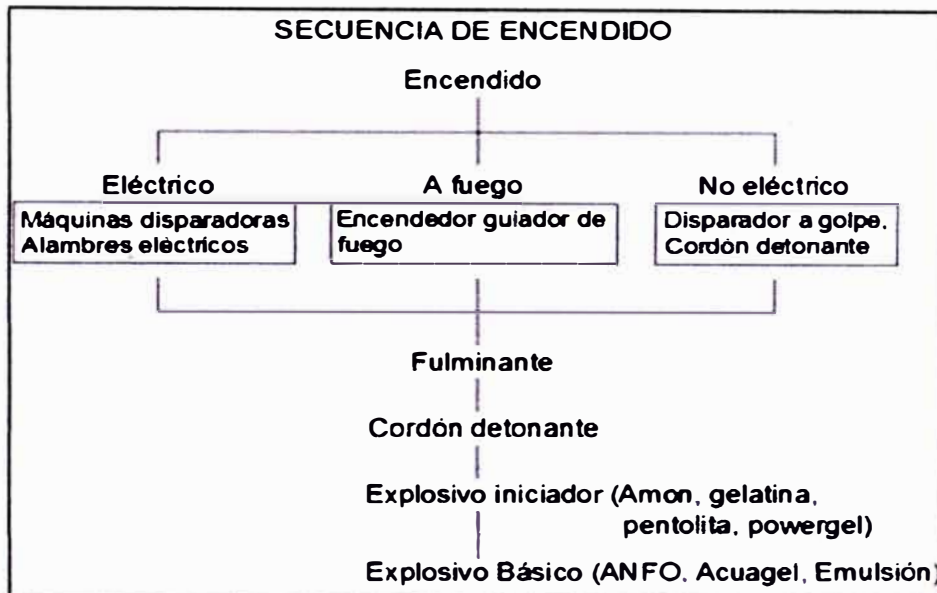


FIG N° 2: Secuencia de encendido

H) Emulsión encartuchada sensibilizada

Este tipo de emulsión ya presenta en su composición las micro-esferas u otros agentes sensibilizantes y por lo general ya se encuentran encartuchadas y compactadas, tienen alto poder de detonación, y su forma de presentación es cilíndrica de diversos diámetros y de diversas longitudes, la emulsión sensibilizada requiere manipulación y transporte seguro para prevenir accidentes.

I) Emulsiones bombeables

Gracias a la tecnología de control, el bombeo de emulsiones se ha hecho confiable, son emulsiones balanceadas en oxígeno no sensibilizadas durante su transporte y almacenamiento, se

sensibilizan en la perforación. En la TABLA N° 2 se muestran características de la emulsión bombeada y se hace una pequeña comparación con la emulsión matriz.

TABLA N° 2 Características técnicas de la emulsión bombeada

INFORMACIÓN TÉCNICA	
Densidad Emulsión matriz:	1.33 g/cm ³
Densidad Emulsión bombeada:	1.1 – 1.18 g/cm ³
Energía Efectiva a 20 MPa	2.5 MJ/kg
Resistencia al agua	Excelente
Tiempo de conservación	4 – 6 semanas
Velocidad de detonación:	> 5000 m/s
Viscosidad (emulsión matriz)	200000 - 250000 cP
Viscosidad (emulsión bombeada)	> 300000 cP
Diámetro crítico	22 mm (7/8")

J) Orden cronológico de la aparición de explosivos

En la TABLA N° 3 se muestra el orden de aparición de explosivos y sus características.

TABLA N° 3: Orden de aparición de los explosivos

EXPLOSIVO	OXIDANTE	COMBUSTIBLE	SENSIBILIZANTE
DINAMITAS	SÓLIDO Nitratos	SÓLIDO Materias absorbentes (Sensibilizantes)	LÍQUIDO Nitroglicerina Gasificantes
ANFOS	SÓLIDO Nitratos	LÍQUIDO Aceites	Poros
HIDROGELES	SÓLIDO/LÍQUIDO Nitratos Soluciones salinas	SÓLIDO/LÍQUIDO Aluminio Sensibilizante	SÓLIDO/LÍQUIDO TNT, NMMA, MAN Aluminio en Polvo Gasificantes
EMULSIONES	LÍQUIDO Soluciones salinas	LÍQUIDO Aceites Parafinas	Gasificantes

2.2. Emulsión Explosiva.-

Sistema que contiene dos fases líquidas inmiscibles entre sí, una de las cuales se encuentra dispersa como pequeñas gotas (fase discontinua) dentro de la otra fase (fase continua). Este sistema requiere además otras sustancias (emulsificantes) para mejorar su estabilidad. La primera fase que es la dispersa contiene el comburente (solución de nitrato de amonio). La segunda fase que es la continua contiene los combustibles (solución de aceites con petróleo y otros compuestos) y también contiene los agentes emulsificantes (micro-burbujas, micro-esferas), adicionalmente existen otros componentes como aluminio, poliestireno, etc. La fase dispersa está formada por gotitas, el combustible rodea completamente cada gotita de comburente. A continuación en la FIG N° 3 se muestran los ingredientes o componentes presentes en una emulsión.



FIG N° 3: Componentes de la emulsión

2.2.1 Tipos de emulsiones en general

A) Emulsiones aceite en agua (O/W)

La fase dispersa es aceite y la continua es agua como se muestra en la FIG N° 4 una vista de la leche con el microscopio.

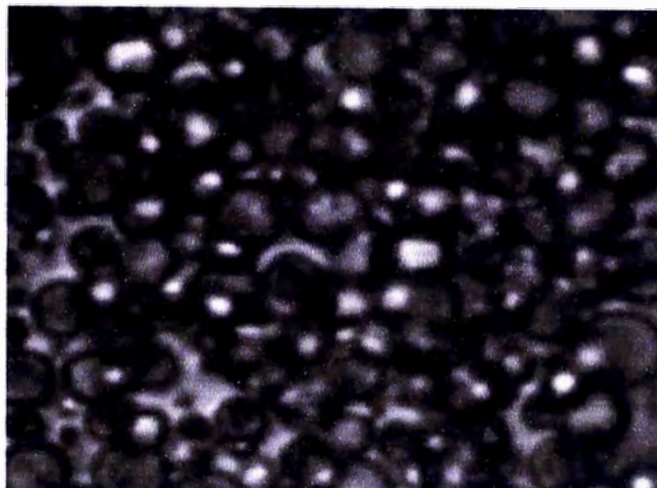


FIG N° 4: Fases de la leche

B) Emulsiones agua en aceite (W/O)

La fase dispersa es agua y la continua es aceite como se muestra en la FIG N° 5 una vista de la mayonesa con el microscopio.

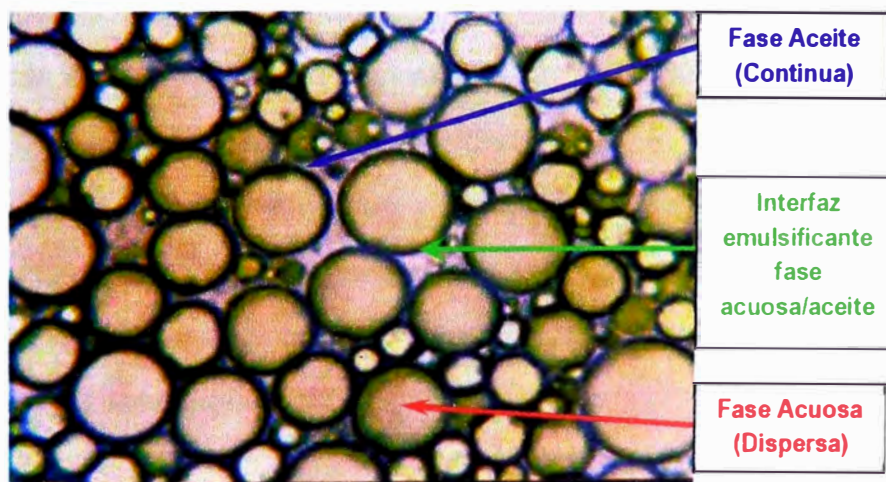


FIG N° 5: Fases de la mayonesa

2.2.2 Propiedades fisicoquímicas de la emulsión explosiva

Tenemos a las siguientes:

- Viscosidad.- Resistencia al flujo de una emulsión.
- Densidad (gravimétrica).- Masa por unidad de Volumen.
- Distribución de tamaño de partículas.- Tamaño de gotas de la fase discontinua.
- pH.- Indica el grado de acidez o basicidad de la mezcla.

También podemos citar las características de la emulsión explosiva

Tenemos a las siguientes:

- Es resistente al agua.
- Es estable ya que el tamaño de la celda es controlable con la viscosidad.
- En la emulsión existe un íntimo contacto entre el comburente y el combustible, esto hace que la reacción química sea muy rápida.
- La emulsión es robusta y resistente y mantiene sus propiedades por un período prolongado de acuerdo a su utilización.
- El control de la viscosidad de fabricación permite mayor estabilidad y mayor duración.
- Las emulsiones no son explosivas en si sino que para funcionar como explosivos deben sensibilizarse
- Las emulsiones destinadas a productos encartuchados tienen celdas más finas que las emulsiones de uso a granel y por lo tanto viscosidades también mucho más altas y por ende una estabilidad más alta.

2.2.3 Diferencias entre emulsión bombeable y emulsión explosiva

En la FIG N° 6 mostramos las diferencias principales entre ambas.



FIG N° 6: Emulsión matriz, bombeable y explosiva.

2.2.4 Sensibilización de la emulsión explosiva

Es la acción para lograr que una mezcla explosiva pueda explotar bajo determinadas condiciones como son: diámetro, grado de confinamiento, temperatura, presión, etc. La sensibilización en las plantas se hace mayormente mediante burbujas de vidrio para emulsiones encartuchadas y para emulsiones a granel que se despachan en las minas se hace mediante gasificación, que es una reacción química que permite generar burbujas en el interior de la emulsión. La sensibilidad de la mezcla queda determinada por la cantidad de burbujas, el tamaño y la distribución de las mismas, el tamaño de las burbujas depende de la velocidad de la reacción. A menor velocidad se obtienen burbujas más finas y viceversa. Las burbujas grandes tienden a salir de la emulsión, lo que provoca con el tiempo una disminución

de la sensibilidad. En la FIG N° 7 mostramos los principales agentes sensibilizantes.



FIG N° 7: Agentes para sensibilización

2.3. Proceso de Producción de la Emulsión Explosiva

Este proceso es similar a preparar mayonesa casera, la diferencia es que se hace en grandes volúmenes del orden de los 20 a 40 m³ por día y se deben controlar ciertos parámetros que explicaremos a continuación.

Antes de iniciar las operaciones de producción el supervisor entrega a los operadores un cuaderno diario donde detalla la cantidad y tipo de emulsión a producir ese día. El supervisor ya realizó los cálculos de las cantidades de materia prima en peso que se consumirán para la producción planeada y también coordinó con mantenimiento a cerca de los equipos que están operativos y confiables para producir.

Sobre las cantidades en peso detallamos las siguientes fórmulas que nos ayudarán a comprender el proceso.

$$w_{o2'} = w_{o2} + w_{o1}$$

$$w_{o3'} = w_{o3} + w_{o2'} = w_{o3} + w_{o2} + w_{o1}$$

$$w_{o4'} = w_{o4} + w_{o3'} = w_{o4} + w_{o3} + w_{o2} + w_{o1}$$

$$w_{o5'} = w_{o5} + w_{o4'} = w_{o5} + w_{o4} + w_{o3} + w_{o2} + w_{o1}$$

$$w_{c2'} = w_{c2} + w_{c1}$$

$$w_{c3'} = e + w_{c3} + w_{c2'} = e + w_{c3} + w_{c2} + w_{c1}$$

Donde:

w_{o1} = peso de agua caliente requerido

w_{o2} = peso de agua normal requerido

w_{o3} = peso de nitrato de amonio requerido

w_{o4} = peso de nitrato de sodio requerido

w_{o5} = peso de compuesto X requerido

w_{c1} = peso de petróleo requerido

w_{c2} = peso de aceite combustible requerido

w_{c3} = peso de parafinas requerido; e = emulsificante (10 mg/m³).

En caso de que no haya agua caliente, este se reemplaza por agua normal, es decir el nuevo valor del agua normal sería $w_{o2'}$.

Estos compuestos juntos conforman el 100% de emulsión:

$$100\% = w_{o1} + w_{o2} + w_{o3} + w_{o4} + w_{o5} + w_{c1} + w_{c2} + w_{c3}$$

Y el porcentaje de cada uno es el mostrado a continuación aunque dependiendo del tipo de emulsión pueden variar.

$$w_{o1} = 7\% \qquad w_{o2} = 10\% \qquad w_{o3} = 69\% ,$$

$$w_{o4} = 4.5\% \qquad w_{o5} = 0.5\%$$

$$w_{c1} = 6\% \qquad w_{c2} = 2\% \qquad w_{c3} = 1\%$$

Normalmente para cada turno de producción están presentes tres operadores, el primero se encarga de preparar la solución oxidante, el segundo de preparar la solución combustible y ver la mezcla de ambos, y el tercero es un apoyo tanto en suministros como en la salida del producto.

Para entender el proceso de producción es necesario ver el plano 010-AEE-02M11-SP1, donde figura el sentido del proceso y los equipos involucrados en este. Normalmente se utilizan dos de los tres tanques solución para preparar la solución oxidante, y dos de los cuatro tanques fusores para preparar la solución combustible; sin embargo para facilitar la explicación escogeré un tanque de cada clase TKS11 para solución oxidante y TKF41 para solución combustible, también escogeré la bomba BS01 ya que sólo se produce con una de las dos bombas durante todo el día.

El primer paso que realiza cada operador para dar inicio a la producción es revisar que los parámetros de las fuentes de energía y materia prima tengan el valor normal de operación como:

- La presión de la línea de aire debe ser: $60 \text{ psi} < \text{PSA01} < 80 \text{ psi}$
- La presión de la línea de vapor debe ser: $100 \text{ psi} < \text{PSV01} < 120 \text{ psi}$
- El nivel del tanque de agua caliente TKHW01 debe ser alto: LAHW01 = on (sin embargo no es necesario para empezar a producir)
- El nivel del tanque de agua normal TKW01 debe ser alto: LAW01 = on
- El nivel del tanque de petróleo TKP01 debe ser alto: LAP01 = on
- Los tanques de aceite combustible TKO01 deben estar colocados para poder bombear el aceite neumáticamente.
- Los tanques de las parafinas deben estar colocados para poder bombear estas neumáticamente.
- La zona de ingreso de nitratos debe estar despejada.

Una vez que el operador encargado de la solución oxidante revisa los valores anteriores y todo está en orden, procede a iniciar el proceso con el llenado de agua caliente al tanque TKS11 mediante apertura de la válvula VIH11 hasta llegar al peso indicado w_1 , paralelamente se abre la válvula de ingreso de vapor VIV11 para ir calentando más el agua, luego se le añade agua del tanque reservorio hasta llegar al peso w_2 , mediante apertura de la válvula VIW11, seguidamente el operador agrega nitrato de amonio NH_4NO_3 hasta llegar al peso w_3 , y luego agrega nitrato de sodio NaNO_3 hasta llegar al peso w_4 , algunas veces se pueden adicionar un compuesto X hasta llegar al peso w_5 .

Una vez que se llega al peso total y se verifica que la tapa del tanque este cerrada (FCS11 = on), se procede a agitar el contenido del tanque encendiendo el motor Me11 el cual hace girar una hélice en el interior del tanque; mientras que paralelamente se incrementa la temperatura de la solución hasta llegar a 95 °C gracias a la recirculación de vapor por un intercambiador de calor al interior del tanque. Una vez que la mezcla está bien agitada y ha elevado su temperatura hasta 95 °C, la solución está lista para bombearla al tanque re-calentador TKR21, para lo cual se deben abrir: la válvula de salida del tanque solución VSS11, la válvula de ingreso a la motobomba VIB-A1 y la válvula de ingreso al tanque re-calentador VIR211; seguidamente se apaga el motor Me11 y se enciende el motor MeB1 de la motobomba escogida BS01, hasta realizar el transvase de la solución preparada, mientras esto ocurre se toma una muestra para medir el pH.

Continuando con el proceso, una vez que la solución preparada en los tanques se ha bombeado hacia el tanque re-calentador (TKR21), llamado también tanque pulmón, se procede a cerrar las válvulas de

bombeo y se apaga la bomba, luego se abre la válvula VVI21 para ingreso de vapor a este tanque y mantener la temperatura entre 85 °C y 90 °C; dependiendo del valor medido del pH de la solución, se procede a continuar el proceso si el pH medido es adecuado, lo cual sucede para la mayoría de tipos de emulsión.

Caso contrario si el pH no es el adecuado, se realiza la regulación del pH mediante adición de compuestos en el tanque pre-capa TKC21, para lo cual se transvasa una porción de la mezcla desde el tanque TKR21 hacia el tanque TKC21 mediante apertura de las válvulas VSR21, VIC21 y encendido del motor MeB3 de la bomba BE03; en el tanque pre-capa se añaden compuestos para la regulación del pH de toda la solución y luego se enciende el motor Me2c del agitador durante 5 minutos al cabo de los cuales se vuelve a transvasar el contenido de regreso hacia el tanque TKR21 mediante apertura de las válvulas VSC21, VIB-B1 y encendido del motor MeB1 de la bomba BE01. Una vez que la solución con pH regulado se encuentra en el tanque TKR21 se procede a agitarlo durante 10 minutos mediante encendido del motor Me21 mientras el vapor sigue manteniendo la solución en la temperatura deseada. Pasado el tiempo se vuelve a medir el pH y si no es el indicado se procede nuevamente a regularlo, lo cual no ha sucedido en la planta.

Con el pH indicado se procede a realizar el transvase de la solución hacia el tanque de solución oxidante principal TKL31, mediante apertura de las válvulas VSR21, VIL31 y encendido del motor MeB3 de la bomba BE03, en el tanque de solución oxidante principal la solución ya está lista para ser enviada al tanque pre-mix donde se mezclará con la solución combustible, en el tanque TKL31 la solución se mantiene agitada por encendido del motor

Me31 y se mantiene a temperatura indicada entre 85 °C y 90 °C, mediante ingreso de vapor por la válvula VVI31.

Paralelamente a la preparación de la solución oxidante descrita anteriormente, el segundo operador se encarga de preparar la solución combustible, lo que inicia con llenado de petróleo al tanque fusor TKF41, mediante apertura de la válvula VIP41 y encendido del motor MeP1 de la bomba de petróleo BP01, hasta llegar al peso $wc1$, luego se bombea aceite combustible mediante apertura de las válvulas VIA41, VSAN1 (de dos vías) y accionamiento de una bomba neumática por apertura de la válvula Vmn1, hasta llegar al peso de $wc2'$, seguidamente se adiciona la parafina mediante cambio de posición de la válvula VSAN1 (de dos vías), también se agrega el emulsificante de forma manual, hasta llegar al peso de $wc3'$.

Luego esta mezcla es agitada mediante el motor Me41 del agitador del tanque TKF41 y también se calienta la mezcla haciendo ingresar vapor mediante apertura de la válvula VVI41; una vez que la mezcla llega a la temperatura $T = 90^{\circ}\text{C}$, esta solución combustible está lista para enviarla al tanque pre-mix donde se mezclara con la solución oxidante, en el tanque fusor TKF41 esta solución combustible debe mantenerse entre 80 °C y 90 °C hasta que la solución oxidante también esté lista para ser mezclada.

Teniendo tanto la solución combustible como la solución oxidante listas en los tanques TKF41 y TKL31, están listas para ingresar al módulo de emulsión, para ello se procede a abrir las válvulas VSF41 y VSL31 para que mediante accionamiento de las bombas Waukesha y Viking, las soluciones se transporten hacia el tanque pre-mix donde llegan dosificadas mediante control de válvulas hidráulicas de alta presión que controlan el caudal que transportan las bombas, la cantidad de solución que se transporta es medida

por los medidores de flujo másico colocadas tanto en la línea de solución oxidante como en la línea de solución combustible; en base a estas medidas es que el operador abre y cierra las válvulas de alta presión que accionan y controlan a las bombas. Luego estas soluciones pasan a través de un mezclador estático y llegan al tanque pre-mix de 100 kg de capacidad donde la mezcla es batida mediante un agitador de accionamiento hidráulico.

Una vez que esta mezcla es batida en el tanque pre-mix hasta tener la consistencia y viscosidad necesaria se procede a bombear el contenido hacia otro equipo llamado CRmixer donde la mezcla se agita a mayor velocidad y va ingresando a otro equipo llamado blender (licuadora), donde se consigue una mezcla homogénea tipo mayonesa a una temperatura mayor a 85 °C.

En el blender, si la emulsión se va a encartuchar, se procede a realizar la sensibilización mediante el agregado de micro-esferas, también se agrega aluminio mientras que se sigue agitando la mezcla manteniendo una temperatura adecuada en el interior. Una vez que la mezcla está homogénea y pasa el control de calidad requerido, es bombeada hacia el tanque capacitor (TKP01) de 4 t de capacidad, que es el que abastece a la máquina llamada rotaclip para proceder al encartuchado de los explosivos.

En caso que la mezcla no se haya sensibilizado en el blender, esta es bombeada hacia los silos para despacho a granel. Todo este proceso consiste el proceso de producción de emulsión explosiva.

A continuación en la FIG N° 8 se muestra el flujo del proceso que se automatizará, desde la preparación de las soluciones hasta la llegada al tanque pre-mix donde se combinan, y en el plano 010-AEE-02M11-SP1 adjunto en este informe está el P&ID del proceso.

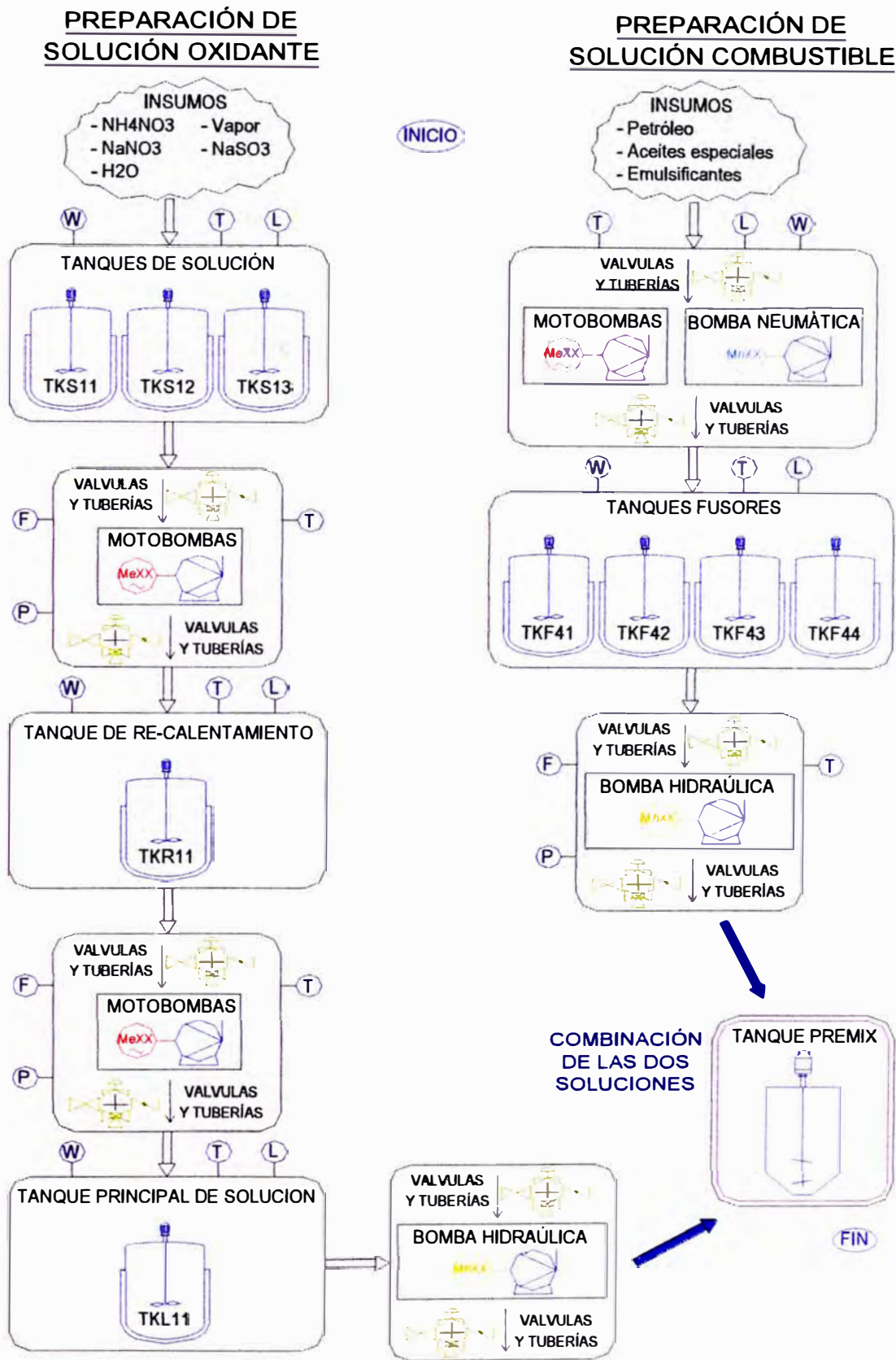


FIG N° 8: Diagrama del Proceso a Automatizar

2.4. Aplicaciones de los explosivos en el Perú

En nuestro país se utilizan los explosivos mayormente en la industria minera para extracción de rocas y minerales, en la industria constructora para excavación de túneles, trazado de carreteras, embalses, etc. También se utilizan los explosivos en la milicia.

El método de perforación y voladura es más utilizado para túneles en roca. Es aplicado cuando la roca es muy abrasiva y muy resistente o se encuentra en estado masivo. Es recomendable para rocas con velocidades sísmicas $V_p > 2000$ m/s, como las marcadas en la TABLA N° 4.

TABLA N° 4: Velocidades sísmicas

SUELO	VELOCIDAD V_p (m/s)
Arena suelta	150 a 500
Loess	300 a 600
Arcilla dura, parcialmente saturada	600 a 1000
Arcilla saturada	1000 a 1600
Suelos saturados	1200 a 3800
Roca sana	2000 a 6000
Granito	4000 a 6000
Cuarcita	6000 a 7500

La abrasidad se calcula según la siguiente fórmula:

$$F = Q \times d_{50} \times R_t$$

Dónde:

F = Abrasidad (kg/cm)

Q = Contenido en cuarzo equivalente en minerales abrasivos (%)

d_{50} = diámetro medio del cuarzo (mm)

R_t = resistencia a la tensión (N/mm²)

También tenemos la relación abrasidad/rozabilidad en la TABLA N°5.

TABLA N° 5: Relación abrasidad/rozabilidad

Abrasidad (kg/cm)	Rozabilidad
0.2 – 0.3	Muy buena
0.3 – 0.4	Buena
0.4 – 0.5	Moderada
0.5 – 0.6	Regular
0.6 – 0.8	Mala
0.8 – 1.0	Muy mala

La Voladura de Rocas debe ser suave, controlada y de pre-corte, el ciclo de trabajo mostrado en la FIG N° 9, minimiza el daño estructural.

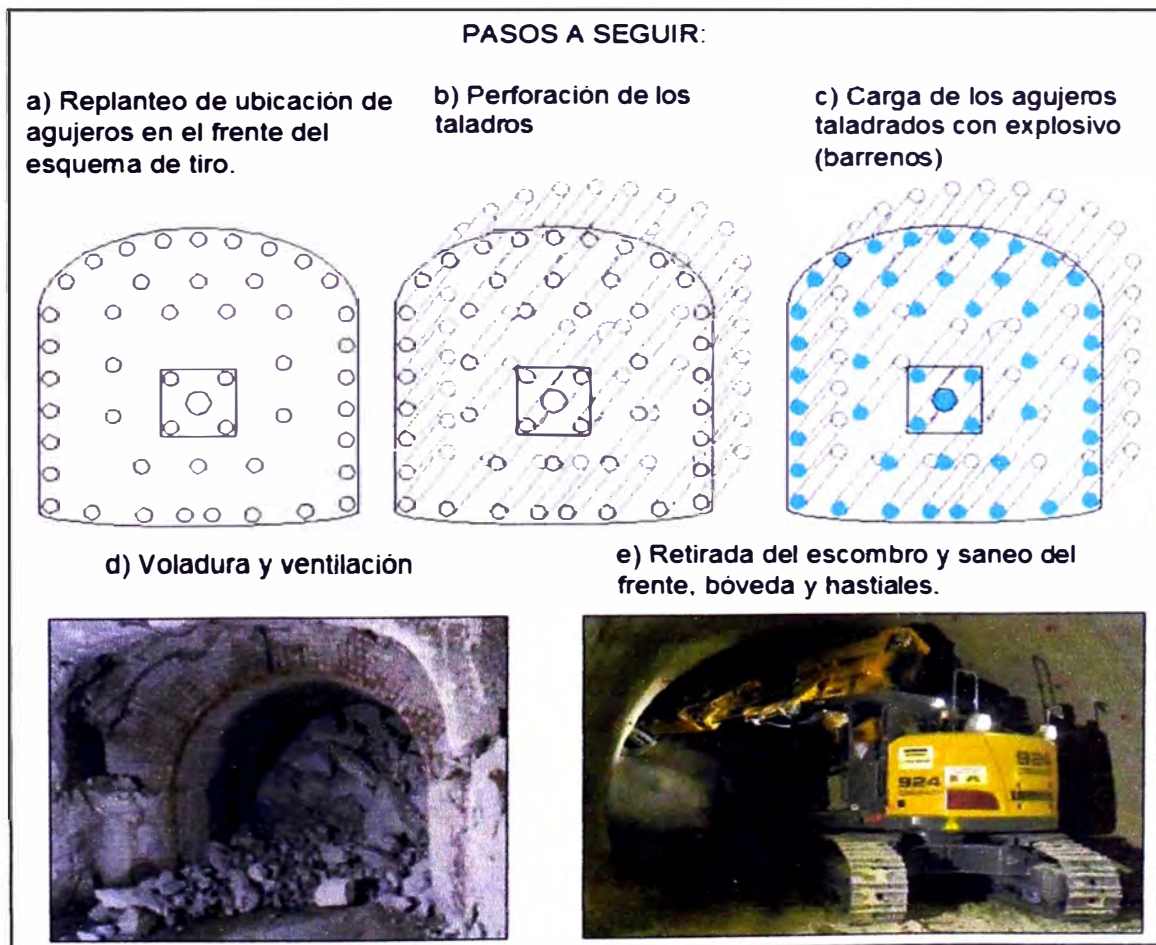


FIG N° 9: Ciclo de trabajo para excavación

2.5. Autómatas Programables.-

El término API es la sigla de autómatas programables industriales y el término PLC es la sigla de controlador lógico programable; que en realidad son el mismo dispositivo electrónico, la diferencia es que autómatas es un término de mayor antigüedad y que se puede referir también a dispositivos con movimiento o robots, lo cual no es el caso del presente trabajo. Estas siglas serán utilizadas repetidamente en el presente informe, y por ello detallo más acerca de los autómatas programables en los siguientes ítems.

2.5.1 Introducción a los autómatas programables

Un autómatas es un equipo electrónico programable en lenguaje no informático y diseñado para controlar, en tiempo real y en ambiente industrial, procesos secuenciales. Sin embargo, la rápida evolución de los autómatas hace que esta definición no esté cerrada. La FIG N° 10 corresponde a un autómatas usado en la industria.

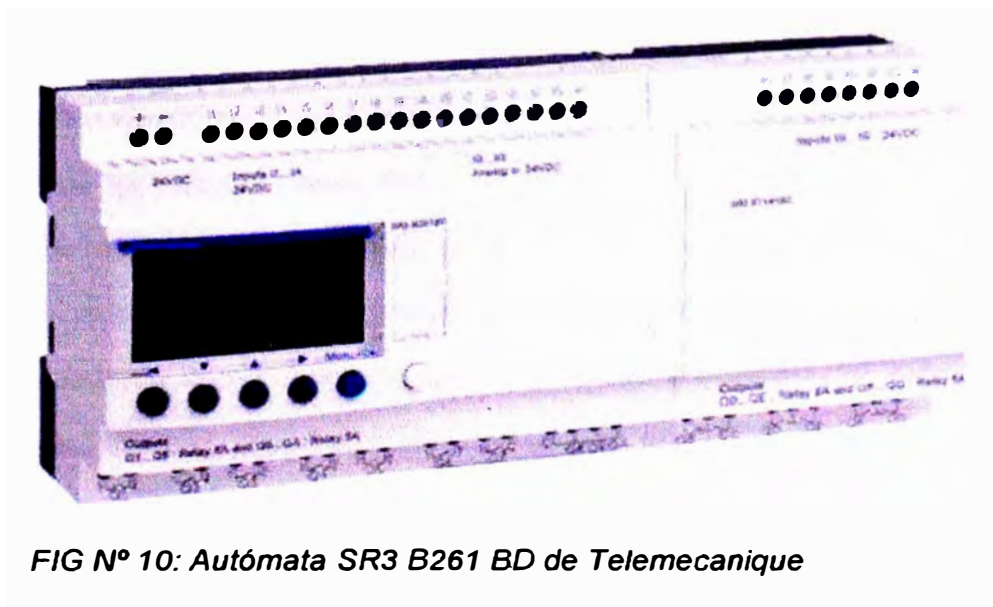


FIG N° 10: Autómatas SR3 B261 BD de Telemecanique

En la Teoría de los lenguajes formales, disciplina perteneciente a la informática, se describen tres tipos de autómatas que reconocen diferentes tipos de lenguajes: los autómatas finitos, los autómatas a pila y las máquinas de Turing. En el anexo del presente informe se detallan estos tres tipos de autómatas.

El autómata sea cuál sea su tipo; es la primera máquina con lenguaje, es decir, un calculador lógico cuyo juego de instrucciones se orienta hacia los sistemas de evolución secuencial. La aparición de los ordenadores a mediados de los 50's inauguró el campo de la lógica programada para el control de procesos industriales. No obstante, aunque estos ordenadores resolvían los inconvenientes de un sistema cableado o la llamada lógica cableada a base de contactores y relés, presentaban nuevos problemas:

- Mala adaptación al entorno industrial.
- Coste elevado de los equipos.
- Necesidad de personal informático para la realización de los programas.
- Necesidad de personal especializado para el mantenimiento.

Estos problemas se solucionarían con la aparición del API (autómata programable industrial) o PLC (Controlador Lógico Programable). El PLC es un aparato electrónico que sustituye los complejos circuitos auxiliares o de mando de los sistemas automáticos. A este controlador por un lado se le conectan los sensores o captadores como: finales de carrera, pulsadores, interruptores de presión y temperatura, etc., y por otro lado se le conectan los actuadores como: bobinas de contactores, solenoides de válvulas, lámparas, alarmas, etc. Las partes básicas de un autómata programable industrial o controlador lógico programable se detallan en el ítem 2.5.2

2.5.2 Partes de un autómata programable industrial.

Las partes de un autómata se ven en la FIG N° 11:

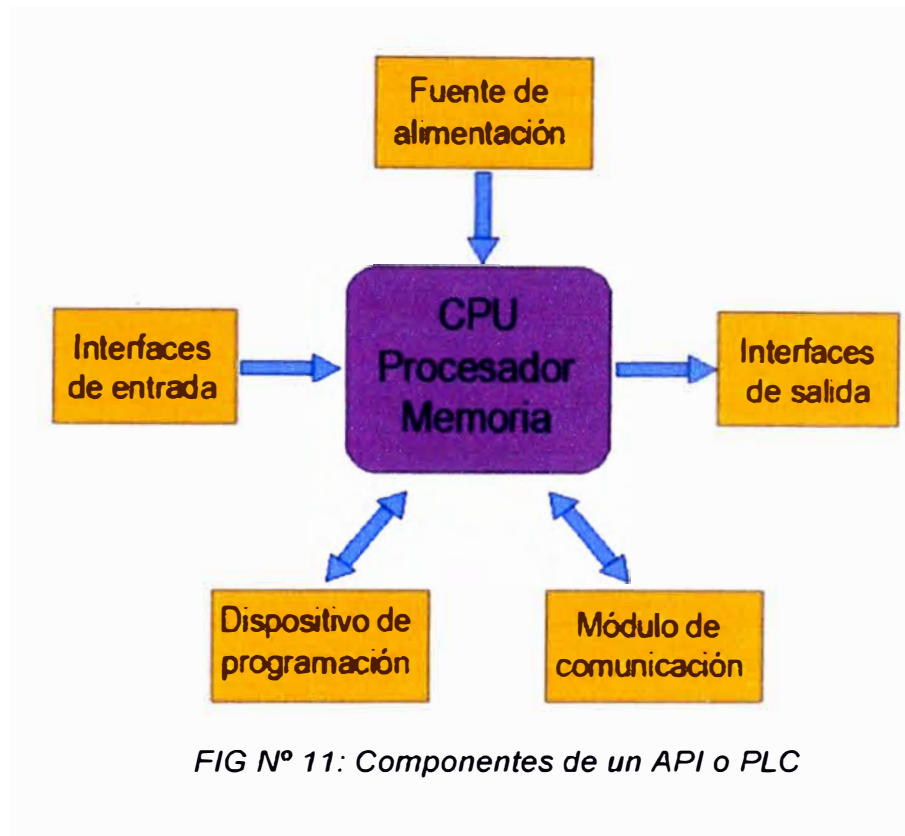


FIG N° 11: Componentes de un API o PLC

Como se observa en la FIG N° 11 un autómata cuenta con las siguientes partes:

- CPU (Unidad central de proceso).- Realiza operaciones lógicas.
- Fuente de Alimentación.- Suministra potencia a voltaje normalizado.
- Interfaz de entrada.- Recibe las señales enviadas de instrumentos.
- Interfaz de salida.- Envía señales de orden a los actuadores.
- Dispositivo de programación.- Es el medio para introducir el programa.
- Módulo de comunicación.- Es la interfaz para comunicarse con otro controlador u otro dispositivo que tenga el mismo protocolo.

Las partes de un autómata programable se verán con más detalle en el ítem 4.5.2 del presente informe.

2.5.3 Desarrollo histórico del control automático

La evolución histórica del control tiene los siguientes sucesos:

Siglo XIV a.C. se crearon relojes de agua o clepsydras en Egipto como la mostrada en la FIG N° 12, Platón ideó un despertador con reloj de agua el siglo IV a.C.

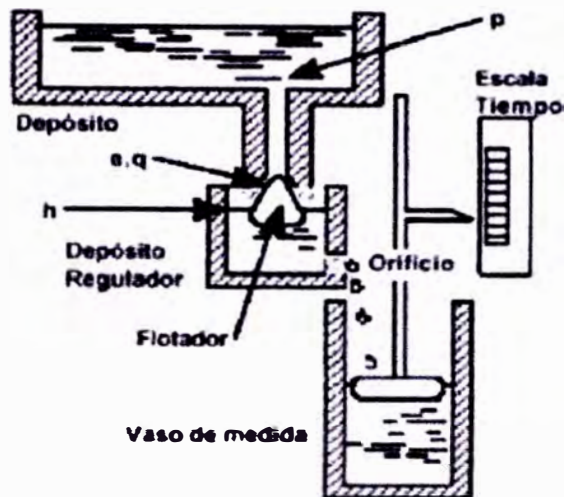


FIG N° 12: Reloj de agua (Clepsydra).

En 1624, J Kepler, desarrolla un sistema de control automático de temperaturas para un horno.

En 1681, D. Papin inventó una válvula de seguridad para una cocina de presión, y en 1707 la usó como un dispositivo de regulación de presión de su motor de vapor.

En 1746, W. Salmon publicó precios para reguladores de flotador usados para mantener el nivel de depósitos de agua en casas.

El concepto de control por realimentación no es nuevo, el primer lazo de control por realimentación fue utilizado por James Watt en 1774 para el control de la velocidad de una máquina de vapor, mostrado en la FIG N° 13.

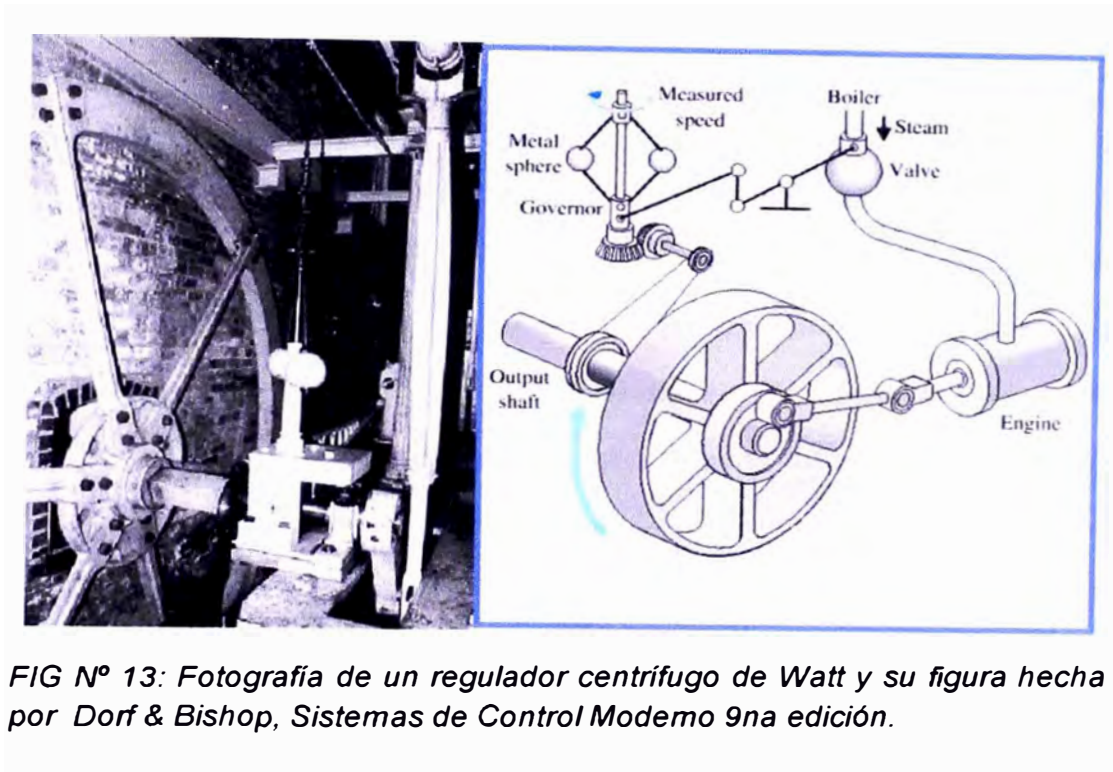


FIG Nº 13: Fotografía de un regulador centrífugo de Watt y su figura hecha por Dorf & Bishop, *Sistemas de Control Modemo 9na edición*.

En 1793, Abraham Breguet relojero modemo inventó un sistema con realimentación para sincronizar relojes de bolsillo.

En el siglo XIX, Maxwell, realiza estudios sobre la estabilidad.

En 1840, George Biddell Airy desarrolló un sistema de control de velocidad con realimentación para orientar un telescopio.

En 1846 W. Siemens patenta reguladores 'Govemors' los cuales sustituyeron la acción proporcional por integral.

En 1928, Harold Black inventa el amplificador retroalimentado.

En 1930, aparece el control PID.

En 1932, Harry Nyquist desarrolla la teoría de realimentación para el diseño de amplificadores estables.

En 1936, Hendrik Wade Bode, hace una representación gráfica de la relación amplitud / fase, para funciones de transferencia.

En 1940 se pone en el mercado el primer controlador PID marca Fulscope modelo 100, desarrollado por J.G. Ziegler y N.B. Nichols, quienes más tarde en 1942 introducen reglas para sintonizar PID's.

Durante la segunda guerra mundial se desarrollan sistemas de control sofisticados, Norbert Wiener desarrolla la teoría estocástica clásica al estudiar el problema de automatización de un cañón aéreo, años más tarde Wiener introduce el término Cibernética al establecer relación entre el control y comunicación en el animal y también en la máquina.

En 1948, R. Evans publica una serie de reglas que permiten graficar el lugar de las raíces de una función de transferencia a lazo abierto sin resolver la ecuación característica. Es una herramienta útil para analizar la estabilidad de sistemas lineales.

En la década del 50, la teoría de sistemas muestreados es llevada a cabo, por Balkar, Ragazzini, Zadeh y Salzer.

También en la década del 50 se desarrolla la teoría de control óptimo gracias a esfuerzos de científicos rusos y norteamericanos por explorar el sistema solar.

Posteriormente se desarrollan diversos métodos de control como: Control robusto, Control borroso, Control predictivo, etc.

A mediados de los años 60, General Motors, preocupada por los elevados costos de los sistemas de control a base de relés, de lógica cableada, comenzó a trabajar con Digital en el desarrollo de un sistema de control que evitara los inconvenientes de la lógica programada. El resultado de la colaboración fue un equipo programado, denominado PDP-14, cuyo

empleo no tardó en extenderse a otras industrias. En un principio, los autómatas programables sólo trabajaban con control discreto (Si o No), por lo que los problemas que requerían la manipulación de magnitudes analógicas se dejaron para los tradicionales sistemas de control distribuido.

Hacia la primera mitad de los años 70 los autómatas programables incorporan la tecnología de los microcontroladores, aumentando de este modo sus prestaciones:

- Realización de operaciones aritméticas.
- Comunicación con los ordenadores.
- Incremento de la capacidad de memoria.
- Mejoras en los lenguajes de programación.
- Posibilidad de entradas y salidas analógicas.
- Posibilidad de utilizar redes de comunicaciones.

La década de los años 80 se caracteriza por la incorporación de los microprocesadores, consiguiendo mejores técnicas de control y:

- Alta velocidad de respuesta.
- Reducción de las dimensiones.
- Mayor seguridad de funcionamiento.
- Gran capacidad de almacenamiento de datos.
- Lenguajes de programación más potentes: contactos, bloques funcionales, GRAFCET (GRAFica de Control de Etapa de Transición).

En la actualidad existen autómatas que permiten realizar control en todos los niveles, desde pequeños sistemas usando autómatas compactos, hasta sistemas sumamente complejos mediante la utilización de grandes redes de autómatas y avanzadas técnicas de control.

2.5.4 Control de procesos industriales, evolución y aplicaciones.

El principal uso y fin de los autómatas programables en la industria es controlar sistemas complejos sin intervención humana mediante un control flexible ya que tienen la posibilidad de reprogramación satisfaciendo mayor número de aplicaciones.

Los autómatas proporcionan alta confiabilidad en la industria por la utilización de componentes integrados y de estado sólido, por su memoria basada en microprocesadores que permite almacenar programas largos y gran cantidad de datos, los autómatas reducen el consumo de energía eléctrica y permiten detectar fallas por diagnóstico en el funcionamiento de las máquinas y procesos, puede operar con señales analógicas y digitales, su diseño modular permite la expansión de componentes, así como facilidad para las labores de mantenimiento y comunicación con microcomputadores y computadoras. Los lenguajes de programación usados son familiares y siguen las normas industriales (diagrama LADDER, comandos o Graf set).

El control automático, se basa en la teoría de la realimentación de información del proceso, para corregir los problemas existentes mediante una acción reguladora, y poder obtener en las salidas valores iguales o similares al valor de referencia fijado.

Los principales elementos de un sistema de control automático y su disposición se muestran en la FIG N° 14 y estos son:

Controlador

Elemento final de control

Proceso

Sensores

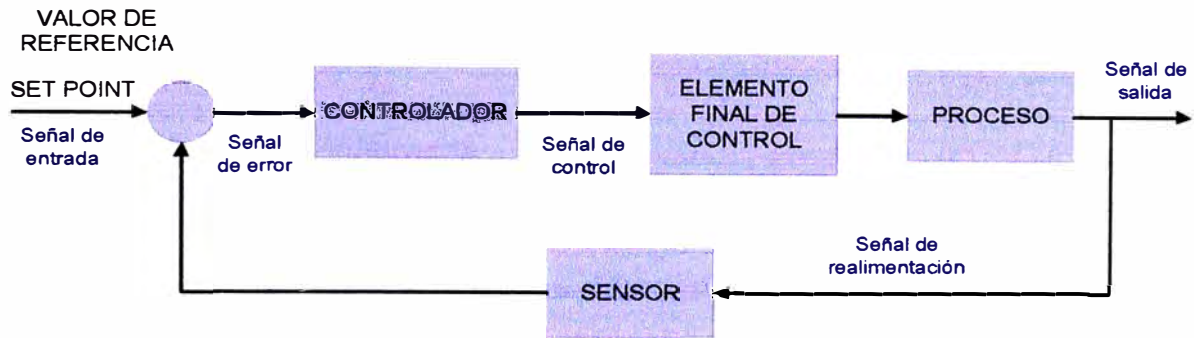


FIG N° 14: Componentes de un sistema de control automático

Las primeras aplicaciones de los autómatas programables se dieron en la industria automotriz para sustituir los complejos equipos basados en relés. Sin embargo, la disminución de tamaño y el menor costo han permitido que los autómatas sean utilizados en todos los sectores de la industria, además la gran capacidad de memoria y la elevada velocidad de proceso de los circuitos integrados abren una amplia gama de aplicaciones. Las aplicaciones rentables empiezan con diseños que precisan 10 ó más relés auxiliares. Algunos ejemplos de aplicación son:

- Control de recorrido
- Máquinas de montaje
- Distribución de energía
- Control de niveles de llenado
- Líneas de embotellamiento
- Fundiciones y refinerías industriales
- Controladores de temperatura
- Instalaciones de tratamiento de aguas

2.6. Sensores y actuadores para áreas peligrosas

2.6.1 Áreas Peligrosas

También llamadas "áreas clasificadas"; la IEC en su publicación IEC60079-10 de 1972, define "área peligrosa", en lo que respecta a ingeniería eléctrica, como: Una zona en la que hay, o donde puede haber, mezclas explosivas gaseosas en cantidades tales como para que los aparatos eléctricos empleados en ella requieran precauciones especiales". No todas las áreas son igual de peligrosas; además, en ciertas instalaciones al aire libre pueden darse mezclas explosivas si ocurren fugas accidentales.

La IEC ha subdividido las áreas peligrosas en tres zonas como lo muestra la TABLA N° 6, también vemos su equivalencia norteamericana.

TABLA N° 6: Clasificación de zonas con peligro de explosión

Atmósfera con peligro de explosión en la superficie	Tiempo de situación peligrosa al año	Clasificación Europea, según IEC / NEC505 / CEN / CENELEC		Clasificación Norte-Americana	
		Gas	Polvo	Clase I (gas)	Clase II (polvo)
Continuamente o frecuentemente	> 1000 h	Zona 0	Zona 20	División 1	
Es probable o puede ocurrir bajo condiciones normales de operación	[10 h - 1000 h]	Zona 1	Zona 21		
Es improbable que ocurra u ocurre por periodos cortos.	<10 h	Zona 2	Zona 22	División 2	

En cualquier instalación peligrosa, el primer objetivo debe ser el minimizar la posibilidad de que se produzca una atmósfera explosiva; no sólo por el riesgo de explosión, sino también por la toxicidad de muchas

sustancias, por ello entidades internacionales como el Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea dan la directiva 1999/92/CE (ATEX 137), transpuesta del real decreto R.D. 681/2003; orientada para cumplir con las disposiciones mínimas de seguridad para la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores que están expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas. El símbolo representativo ubicado en zonas clasificadas con riesgo de explosión es el mostrado en la FIG N° 15:



FIG N° 15: Símbolo de normativa ATEX 137

La IEC y otras organizaciones, señalan lo siguiente:

- En la zona 0, normalmente no es necesario instalar aparatos eléctricos, y solo se permitirán aquellos que sean "intrínsecamente seguros", es decir, diseñados de forma que toda chispa que se pueda producir sea incapaz de inflamar la atmósfera explosiva.
- En la zona 1, se permite una categoría 2 de aparatos intrínsecamente seguros, como los que pueden montarse en un "recinto anti-flama". En esta zona, también pueden "presurizarse" elementos individuales de aparatos eléctricos o incluso habitaciones enteras. Otros tipos menos usados son la "inmersión en aceite" y el "rellenado de arena (o polvo)".
- En la zona 2: por supuesto, pueden emplearse aparatos de los tipos de protección citados. Sin embargo normalmente se emplean aparatos industriales corrientes no chispeantes de buena calidad.

2.6.2 Sensores y actuadores a prueba de explosión

Los sensores y actuadores a prueba de explosión no son herméticos, está previsto que los gases ingresen al mismo y se inflamen si existe en el interior de éste una fuente de energía. El equipo debe contener la explosión sin deformarse, y permitiendo la salida de los gases calientes a través de juntas de tolerancias controladas de manera que estos se enfríen por debajo de su punto de ignición antes de alcanzar la atmósfera externa.

Existen varias normas que rigen el diseño, fabricación y ensayo de sensores y actuadores a prueba de explosión, siendo las emitidas por Underwriters Laboratories, Inc. (UL) de los Estados Unidos de gran difusión y aceptación a nivel mundial. En Europa el Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea dan la directiva 94/9/CE (ATEX 100) actualmente conocida como ATEX 95, transpuesta del real decreto R.D. 400/1996; orientada a los requisitos esenciales de seguridad que han de cumplir los productos y equipos eléctricos y no eléctricos que van emplazados en atmósferas potencialmente explosivas. El símbolo que distingue equipos aptos para zonas clasificadas según ATEX es el mostrado en la FIG N° 16.



FIG N° 16: Símbolo de normativa ATEX 95

Por ello los sensores y actuadores a utilizarse en la automatización que se desarrolla en el presente informe, deberán tener la identificación de mercado estándar, que llevan los aparatos protegidos contra la explosión.

También hay un símbolo (letras) que indica el tipo de protección con que cuentan los sensores y actuadores, esto se muestra en la TABLA Nº 7.

TABLA Nº 7: Tipos de protección para atmósferas explosivas

IT	TIPO DE PROTECCIÓN	SÍMBOLO	OBSERVACIÓN
1	Seguridad intrínseca	ia	para uso en Zona 0
2	Seguridad intrínseca	ib	para uso en Zona 1
3	A prueba de llama	d	
4	Seguridad incrementada	e	
5	Presurizado	p	
6	En baño de aceite	o	
7	Relleno de arena	q	

La temperatura juega un papel importante, por ello la IEC marca los dispositivos con símbolos: T1, T2, T3, T4, T5, T6 para temperaturas desde 450 °C hasta 85 °C, los dispositivos también se marcan con una notación determinada como la mostrada en la FIG Nº 17.



FIG Nº 17: Símbolo de normativa ATEX 137

También se deben tomar precauciones especiales como: la puesta a tierra tanto de los equipos como de las estructuras, protección de cables con una tubería o blindaje, etc.

2.7. Protocolo de comunicación industrial PROFIBUS-DP

PROFIBUS es un estándar de comunicaciones para buses de campo. Deriva de las palabras PROcess Field BUS. La versión más utilizada es Profibus DP de acuerdo a IEC 61158 / EN 50170 esquematizado en la FIG N° 18, las iniciales DP son por su significado "Periferia Distribuida", y fue desarrollada en 1993, para un rápido intercambio cíclico de datos con los dispositivos de campo.

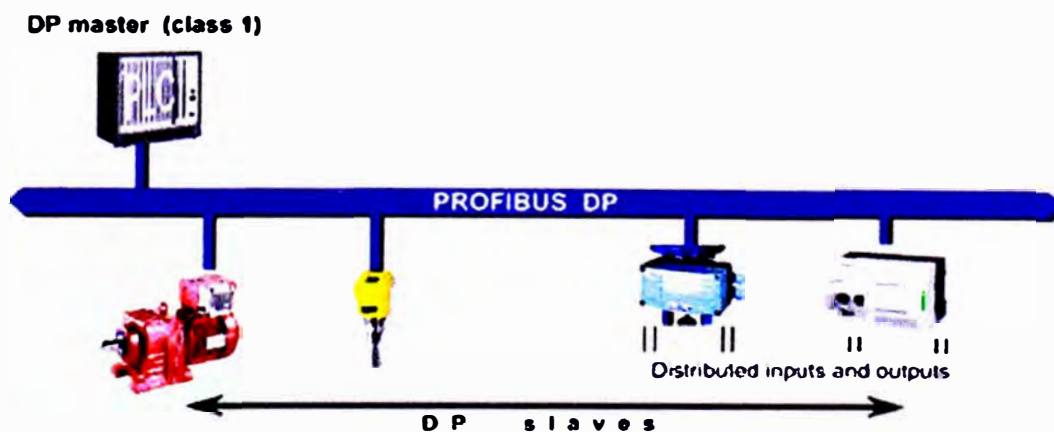


FIG N° 18: Esquema de red Profibus DP

2.7.1 Tecnologías de transmisión

PROFIBUS tiene, conforme al estándar, cinco diferentes tecnologías de transmisión, 4 de las primeras son de transmisión vía cables y la última de transmisión óptica, los tipos de cables usados se ven en la FIG N° 19.

A) RS-485

Utiliza un par de cobre trenzado apantallado, y permite velocidades entre 9.6 kbps y 12 Mbps. Hasta 32 estaciones, o más si se utilizan repetidores.

B) RS-485 IS

Es una versión intrínsecamente segura, utilizada en zonas clasificadas como áreas peligrosas con riesgo de explosión.

C) MBP

Es la sigla de Manchester Coding y Bus Powered; es transmisión sincrónica con una velocidad fija de 31.25 Kbps.

D) MBP IS

Es una versión intrínsecamente segura, utilizada en zonas clasificadas, como áreas peligrosas con riesgo de explosión.

E) Fibra óptica

Incluye versiones de fibra de vidrio multi-modo y mono-modo, fibra plástica y fibra HCS.

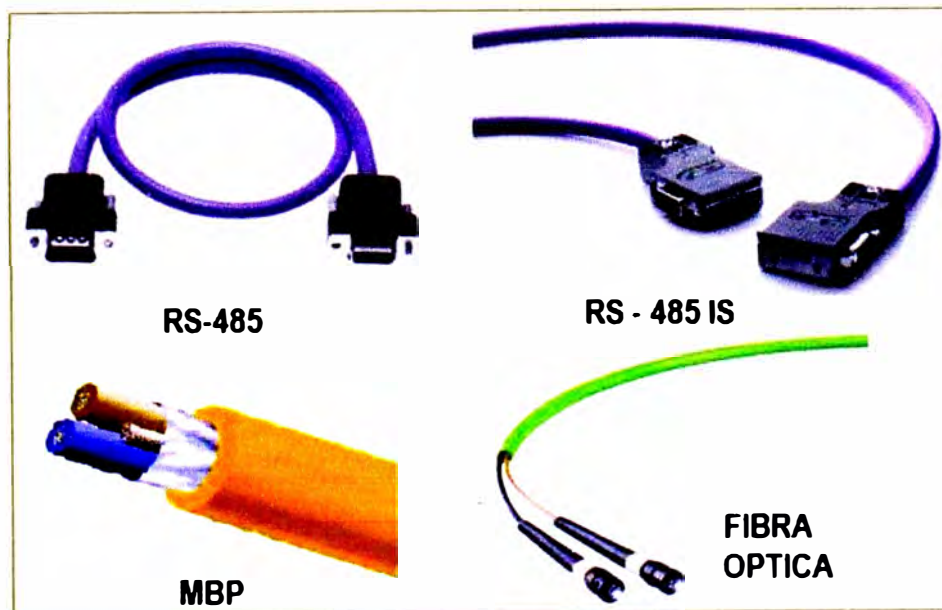


FIG N° 19: Cables para PROFIBUS DP

2.7.2 Tecnologías de comunicación

PROFIBUS DP está actualmente disponible en tres **versiones**:

A) DP-V0

Provee las funcionalidades básicas incluyendo transferencia cíclica de datos, diagnóstico de estaciones, módulos y canales; además soporte de interrupciones.

B) DP-V1

Agrega la comunicación acíclica de datos, orientada a transferencia de parámetros, operación y visualización.

C) DP-V2

Permite comunicaciones entre esclavos. Está orientada a tecnología de drives, permitiendo alta velocidad para sincronización entre ejes en aplicaciones complejas. DP-V2 también tiene otras funciones, como comunicación isocrónica, control de reloj, carga y descarga de datos.

Desde el punto de vista del **control** de las comunicaciones, el protocolo PROFIBUS es maestro-esclavo, pero permite:

A) Aplicaciones mono-maestro

Un sólo maestro está activo en el bus, usualmente un PLC. Los demás dispositivos son esclavos. Este esquema es el que permite los ciclos de lectura más cortos.

B) Aplicaciones multi-maestro

Permite más de un maestro. Pueden ser aplicaciones de sistemas independientes, en que cada maestro tenga sus propios esclavos u otro tipo de configuraciones con dispositivos de diagnóstico y otros. En un ambiente multi-maestro, puede haber dos tipos de maestros como se muestra en la FIG N° 20, estos tipos de maestros son:

B.1 DPM1. DP Master Class 1.- Es un controlador central que intercambia información con sus esclavos en forma cíclica. Típicamente un PLC.

B.2 DPM2. DP Master Class 2. Son estaciones de operación, configuración o ingeniería. Tienen acceso activo al bus, pero su conexión no es necesariamente permanente.

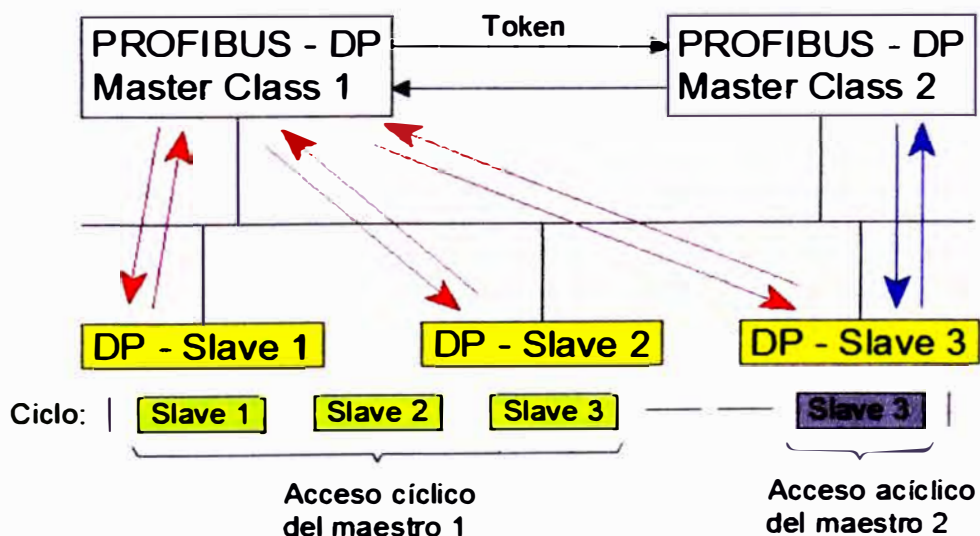


FIG N° 20: Tipos de accesos entre maestros y esclavos

Analicemos primeramente la situación más simple. Un solo maestro DPM1 y usando DP-V0. Este proceso pasa por tres fases: parametrización, configuración y transferencia de datos. Durante los dos primeros se define la forma en que se hará la comunicación, y esto es verificado por errores y consistencia, para luego pasar a la fase de transmisión.

Adicional a los comandos a una estación, el DPM1 puede enviar comandos a un grupo o a todos los esclavos. Estos se conocen como comandos multi-caste, y son utilizados para funciones de sincronización.

DP-V1 por otro lado, agrega las transferencias acíclicas. Estas son realizadas en paralelo a la comunicación cíclica, pero en un esquema de menor prioridad como la mostrada en FIG N° 20 entre DPM-2 y DP-S3.

DP-V2 permite a su vez comunicaciones esclavo-esclavo. Uno de los esclavos se define como **emisor** (*Publisher*) y uno o más esclavos como **suscriptores**. El emisor envía un mensaje, que es recibido directamente por todos los suscriptores, sin necesidad de pasar por el maestro como se muestra en la FIG N° 21.

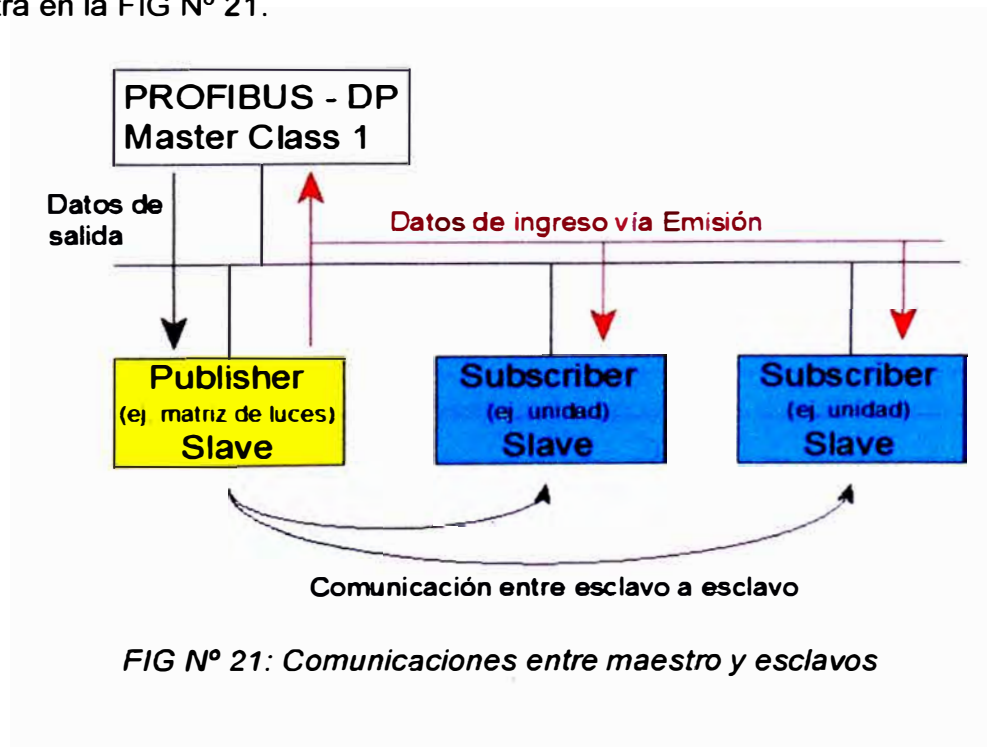


FIG N° 21: Comunicaciones entre maestro y esclavos

2.8. Giro de la automatización en el Perú

Actualmente en el Perú se están creando nuevas plantas industriales, se están ampliando otras plantas para satisfacer las necesidades de sus clientes y las medianas y pequeñas empresas buscan disminuir sus tiempos de producción y ser más competitivos; en un artículo publicado por el Ing. Humberto Chong R. sobre el estado actual de la automatización en el Perú dice:

Los términos “control automático” y “automatización” son términos muy importantes en la industria actual. Automatización es sinónimo de optimización de procesos, reducción de costos y mejora de la productividad de una industria.

En el Perú la automatización aún está en un proceso de desarrollo. El pequeño y mediano empresario aún piensa que automatizar es una técnica reservada para las grandes empresas. Es tarea de las instituciones educativas en coordinación con el sector industrial, difundir y capacitar a empresarios, técnicos, estudiantes y profesionales en las técnicas de instrumentación, control y automatización para lograr que a mediano plazo nuestra industria alcance el desarrollo tecnológico requerido para convertirnos en un País altamente competitivo a nivel internacional.

Importantes sectores industriales del Perú vienen desarrollando grandes inversiones en la modernización de sus plantas, implementando nuevos sistemas de medición y control para automatizar sus procesos de manufactura y producción. El uso intensivo de redes industriales permite un manejo de la información precisa dentro de un sistema productivo, logrando

un significativo ahorro económico, calidad del producto y un nivel de eficiencia altamente competitivo.

Términos como SCADA, DCS, Telemetría, Telecontrol, PLC, Fieldbus, Hart, Modbus, Wireless, etc. son cada vez más difundidos en la industria, lo cual hace necesario que nuestros centros educativos de nivel medio y superior actualicen los contenidos de sus programas curriculares acorde a la realidad actual del país, formando los técnicos y profesionales que nuestra industria requiere para su desarrollo. La Automatización Industrial es la herramienta que necesita el Perú para continuar con su proceso de crecimiento y convertirnos en un país líder de la región.

Con la necesidad de automatizar procesos las grandes industrias sin embargo no confían en profesionales nacionales y entregan las obras a empresas extranjeras que al venir subcontratan pequeñas empresas que por disminuir costos pagan salarios reducidos sin beneficios, y la empresa extranjera se lleva las mejores utilidades. Con la automatización se logra mejor nivel de vida en las personas y depende de los profesionales encargados de las diversas áreas productivas confiar en profesionales peruanos para lograr el avance deseado que nos conducirá a tener el mismo nivel de adelanto que tiene otros países que ya empujan el coche de la automatización ya que esta es la escalera que nos llevará a poder competir en otros mercados internacionales, y no solo ello sino que también nos llevará a exportar productos con valor agregado tendiendo así mayores plazas de empleo en el Perú.

CAPITULO III

OPERACIÓN DE LA PLANTA Y NECESIDAD DE CRECIMIENTO

3.1. La empresa y su producto

EXSA S.A. es la empresa que ocupa el mayor sector de venta de explosivos en Perú y que cuenta con mayor extensión de terreno, así mismo a lo largo de sus 50 años ha desarrollado diversos productos los cuales se dividen en 5 grandes grupos como lo mostraremos a continuación en las TABLAS N° 8,9,10,11 y 12.

TABLA N° 8: Grupo 1

DINAMITAS	
Gelatinas	Gelatina especial 90 – 80 – 75
Semigelatinas	Semexa 80 – 60 – 45
Amoniacaes	Exadit 65 – 60 – 45
Otros	Exacorte Geodit – Geodit 1 – Geodit 4

TABLA N° 9: Grupo 2

EMULSIONES ENCARTUCHADAS	
Sensibles al detonador	Emulex Exagel E 80 – E 65 Semexsa E 80 – E 65 Primagel – E
Otros	Deminex Plastex – E

TABLA N° 10: Grupo 3

ANFO	
Anfo Granulado	Examon "V" – Examon "P" – "Solanfo"
Anfo Pesado	Slurrex AP 80 – AP 60

TABLA N° 11: Grupo 4

EMULSION A GRANEL	
	Slurrex MA

TABLA N° 12: Grupo 5

ACCESORIOS DE VOLADURA	
Cordón Detonante	
Detonador Eléctrico	Detonador Eléctrico
Detonador No Eléctrico	Detonador No Eléctrico de Retardo Conector Unidireccional para Dual Detonador No Eléctrico Dual
Detonador Ensamblado	Detonador Ensamblado C/C Detonador Ensamblado S/C
Mechas	Mechas de seguridad Mecha rápida
Pentolita	Booster
	Retardo para cordón detonante Bidireccional
Otros	Fulminante simple Conector de Ignición

Sin embargo, debido al constante intercambio de inquietudes y experiencias entre la empresa, clientes, usuarios y técnicos se han desarrollado nuevos productos adecuados a las reales condiciones de trabajo en el país. Estos nuevos productos se prueban en el centro de investigación y desarrollo de la empresa.

Las definiciones de los productos de las tablas mostradas anteriormente se encuentran en el ANEXO del presente informe.

3.2. Capacidad de producción de emulsión explosiva

Antes de conocer, específicamente la capacidad de producción de emulsión explosiva, presentamos en la TABLA N° 13, la capacidad instalada para los turnos indicados, según los últimos cinco años, considerando las plantas de Lurín, Trujillo y Tacna.

TABLA N° 13: Capacidad total instalada

		Capacidad Anual en 3 turnos de trabajo		Capacidad Anual en 1 turno de trabajo		
Tipo de Producto	Dimensión	2010	2009	2008	2007	2006
Accesorios de voladura	unidades	38405000	38405000	7308000	7200000	7200000
TOTAL	unidades	38405000	38405000	7308000	7200000	7200000
Dinamitas y otros explosivos encartuchados	toneladas	46400	46400	18330	16500	16500
Emulsiones a granel y otros agentes de voladura	toneladas	150700	150700	48000	48000	48000
TOTAL	toneladas	197100	197100	66330	64500	64500

En la tabla N° 14, mostramos las capacidades de producción instaladas, para la producción de emulsiones a granel y otros agentes de voladura en cada una de las tres plantas, en el caso de la planta de Lurín, esta contempla la producción de Anfo y se incrementó del 2008 al 2010.

TABLA N° 14: Capacidad instalada en cada Planta.

Planta dedicada a la producción de emulsión a granel y otros agentes de voladura	Dimensión	Capacidad Anual en 3 turnos de trabajo		Capacidad Anual en 1 turno de trabajo	
		2010	2009	2008	2007
Planta de Trujillo	toneladas	36000	36000	12000	12000
Planta de Tacna	toneladas	36000	36000	12000	12000
Planta de Lurín	toneladas	78700	78700	24000	24000
TOTAL	toneladas	150700	150700	48000	48000

De la TABLA N° 14 se observa que la capacidad instalada en la Planta de Lurín se incrementó en 6700 t los últimos años para trabajo en tres turnos; y según la memoria anual de la empresa publicada el 2010, la utilización de la capacidad instalada para emulsiones explosivas y otros agentes de voladura fue del 32.18%, es decir se produjeron alrededor de 48193 t de estos productos durante el 2010. En la memoria anual del 2010 también se publicó que la planta de Tacna estuvo inoperativa los primeros meses, reiniciando la producción el mes de octubre. En la TABLA N° 15 se observa la cantidad de producción por planta durante el 2010, las cantidades por trimestre varían de las reales pero el total final es el indicado.

TABLA N° 15: Producción de cada planta durante el 2010.

Planta dedicada a la producción de emulsión a granel y otros agentes de voladura	Dimensión	Producción Trimestral 2010				Totales
		1er	2do	3er	4to	Total 2010
Planta de Trujillo	toneladas	3150.00	3150.00	3150.00	3150.00	12600.00
Planta de Tacna	toneladas	0	0	0	5200.00	5200.00
Planta de Lurín	toneladas	7673.25	7673.25	7673.25	7673.25	30693.00
TOTAL	toneladas					48493.00

De la TABLA N° 15 tenemos que la producción en la planta de Lurín fue de 30693 t, sin embargo esta cantidad se refiere a la suma de los agentes de voladura (ANFO) y las emulsiones, lo que nos lleva a la TABLA N° 16 donde observamos la cantidad de emulsión producida el 2010.

TABLA N° 16: Producción de ANFO y emulsión explosiva.

	Dimensión	ANFO y otros	Emulsión	TOTAL
Producción 2010	toneladas	10231	20462	30693

El 2010 se trabajó dos turnos en el área de emulsión, cinco días a la semana; el primer turno era desde las 07:00 hrs. hasta las 17:00 hrs y el segundo turno era desde las 21:00 hrs hasta las 07:00 hrs, llegando así a trabajar 20 horas diarias. De la TABLA N° 16 podemos hallar la producción obtenida por turno de trabajo de la siguiente forma:

Producción total = 20462 t al año; 1 año = 299 días útiles;

1 día útil = 2 turnos.

Luego realizamos divisiones y hallamos la producción por turno:

$$Prtr = ((20462 \text{ t} / 299) / 2) = 34.2174 \text{ t}$$

En un turno de producción del 2010 se obtenía en promedio **34.22 t**.

El principal limitante en la producción de emulsión explosiva u otros explosivos a parte de los tiempos muertos de operación y la vigilancia de los parámetros en campo es también el reglamento para almacenar o acumular el producto explosivo, el cual dicta que para 'Q' kilogramos de producto explosivo debe existir una distancia de influencia 'D' metros hasta el límite de la distancia de influencia del siguiente almacén temporal o permanente de producto explosivo. Esta distancia se halla mediante la siguiente fórmula:

$$D = k * \sqrt[3]{Q}$$

Donde:

Q Cantidad de TNT 60% en kilogramos o su equivalente si se trata de otro explosivo.

D Distancia en metros a la zona de influencia del almacén de explosivos más cercano.

k Es una constante que depende del tipo de suelo y almacenaje, sus valores se muestran en la TABLA N° 17

TABLA N° 17: Valores de la constante k

Valor de la constante	Clase de depósito de almacenaje de explosivos
k = 1.4	Para depósitos subterráneos, excavados en arenisca o rocas similares.
k = 1.7	Para depósitos subterráneos, excavados en caliza o rocas similares.
k = 2.0	Para depósitos subterráneos, excavados en granitos o rocas similares.
k = 1.7	Para polvorines superficiales sin defensa
k = 1.5	Para polvorines superficiales con defensa
k = 1.0	Para polvorín semienterrado

En el caso de la ampliación se colocarán dos tolvas de 400 kilogramos cada una y adicionando los dos módulos de emulsión, que también tienen 400 kilogramos, tenemos 4 cargas que deben estar separadas una cierta distancia una de otra; estas se encuentran en lugares superficiales con defensa por lo que se utilizará el coeficiente $k = 1.5$ para los cálculos. Procedemos a calcular las distancias seguras para las cargas de 400 kg; como todas pesan igual solo haremos un cálculo.

$$D = k \times \sqrt[3]{Q} = 1.5 \times \sqrt[3]{400} = 11.05 \text{ m}$$


De lo hallado, deducimos que entre los centros de cada carga de emulsión, debe haber como mínimo una distancia igual a 2 veces D; lo que nos da 22.1 m como mínima distancia segura. Debido a ello, si se desea incrementar la producción, necesariamente se debe construir otra planta de producción que guarde las distancias seguras entre cargas explosivas, o hacer fluir la emulsión producida con mayor rapidez, que es la opción que se logrará con la automatización presentada en este informe.

3.3. Tipos de emulsión explosiva y agentes de voladura producidos

La variedad de tipos de emulsión producida en la planta se debe a las distintas combinaciones que realiza su departamento de investigación y desarrollo. La emulsión explosiva como lo indicamos en el ítem 2.3 de este informe básicamente se logra a partir de la combinación de: Nitrato de Amonio, Nitrato de Sodio, Agua, Aceites, Petróleo, y otros ingredientes en menor proporción, la variación de las cantidades de estos ingredientes y la adición de otros, hacen posible que existan los diversos tipos de emulsión, cada uno con propiedades particulares. Entre los tipos de emulsión explosiva producidos nombramos los siguientes:

A) Semexa-E 80 y 65.- Emulsión sensibilizada encartuchada en papel parafinado. Vemos sus propiedades en la TABLA N° 18:

TABLA N° 18: Especificaciones Técnicas del Semexa-E 80 65

 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	UNIDADES	SEMEXSA-E 80	SEMEXSA-E 65
Densidad	g/cm ³	1.18 ± 3%	1.12 ± 3%
Velocidad de detonación sin confinar	m/s	4800	5000
Velocidad de detonación confinado Ø 1½"	m/s	5300	5400
Presión de detonación	kbar	83	82
Energía	kcal/kg	1200	1100
Volumen normal de gases	l/kg	830	900
Potencia relativa por peso (Anfo=100)	%	132	121
Potencia relativa por volumen (Anfo=100)	%	192	167
Resistencia al agua (N.T.P)	hora	72	72
Categoría de humos		1	1
Vida útil	meses	12	12

B) Emulex 80 65 y 45.- Emulsión sensibilizada encartuchada en lámina plástica. Vemos sus propiedades en la TABLA N° 19:

TABLA N° 19: Especificaciones Técnicas del Emulex 80 65 45

 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	UNIDADES	EMULEX 80	EMULEX 65	EMULEX 45
Densidad	g/cm ³	1.14 ± 3%	1.12 ± 3%	1.00 ± 3%
Velocidad de detonación sin confinar	m/s	5000	5000	4500
Velocidad de detonación confinado Ø 1½"	m/s	5500	5500	5000
Presión de detonación	kbar	87	85	63
Energía	kcal/kg	1200	1100	700
Volumen normal de gases	l/kg	830	910	930
Potencia relativa por peso (Anfo=100)	%	132	121	77
Potencia relativa por volumen (Anfo=100)	%	185	167	95
Resistencia al agua (N.T.P.)	hora	72	72	72
Categoría de humos		1	1	1
Vida útil	meses	12	12	12

C) Exagel-E 80 y 65.- Emulsión sensibilizada encartuchada en lámina plástica. Vemos sus propiedades en la TABLA N° 20:

TABLA N° 20: Especificaciones Técnicas del Exagel-E 80 y 65

 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	UNIDADES	EXAGEL - E 80	EXAGEL - E 65
Densidad	g/cm ³	1.14 ± 3%	1.12 ± 3%
Velocidad de detonación sin confinar	m/s	5300	5100
Velocidad de detonación confinado Ø 1½"	m/s	5500	5400
Presión de detonación	Kbar	86	82
Energía	kcal/kg	1200	1100
Volumen normal de gases	l/kg	827	904
Potencia relativa por peso (Anfo=100)	%	132	121
Potencia relativa por volumen (Anfo=100)	%	185	167
Resistencia al agua (N.T.P.)	Hora	72	72
Categoría de humos		1	1
Vida útil	meses	12	12

- D) Primagel-E.- Se encartucha en plástico, para ser aplicada como booster en voladura primaria con agentes de voladura, tanto en taladros secos como inundados. La TABLA N° 21 muestra sus propiedades.

TABLA N° 21: Especificaciones Técnicas del Primagel-E

CARACTERISTICAS	
Densidad en g/cm ³	1,18
Velocidad de detonación, en m/s (sin confinar)	5 500
Poder rompedor o brisance (Macro Hess) en mm	22
Presión de detonación en kbar	91
Energía en cal/g	955
Perforación de plancha de hierro de 1/2" (12,70 mm) de espesor, en cm	8,5
Resistencia al agua	excelente
Volumen normal de gases en l/kg	904
Potencia relativa por peso (Anfo = 100)	105
Potencia relativa por volumen (Anfo = 100)	154
Vida útil	6 meses



- E) Deminex.- Es un explosivo de alto poder rompedor, muy seguro en el transporte, almacenaje y manipulación; por tanto, dotado de una gran estabilidad al impacto, fricción y calor. Manufacturado con materias primas que al interactuar entre sí, no generan residuos sólidos ni gaseosos de carácter contaminante. En base a estas consideraciones, el Deminex ha sido calificado como el explosivo más adecuado para la destrucción de minas antipersonales en el marco del Tratado de Ottawa, conforme se demostró en operaciones que realizó el Perú, bajo supervisión de observaciones internacionales. El Deminex se presenta en formato de 6 y 9 kg, en consistentes cajas de cartón corrugado tipo "pizza". La FIG N° 22 muestra su presentación.



FIG N° 22: Deminex

F) Plastex-E.- Alternativa eficiente y económica para la voladura secundaria por plasteo. Proporciona una alta energía, elevado poder rompedor y perfecto acoplamiento a la roca en toda posición, para lograr una óptima fragmentación por ende minimiza costos. Se usa directamente sobre la roca como plastas en voladura secundaria de pedrones, desatoro de echaderos u orepasses, parrillas, etc. Su presentación a granel en cajas de cartón de 25 kg, su consistencia plástica, así como su carácter inocuo le confieren la máxima flexibilidad para su aplicación. Plastex-E es inodoro y limpio, lo que representa una ventaja para su uso manipuleo. La FIG N° 23 muestra su presentación.



FIG N° 23: Plastex-E

G) Exsaline.- Emulsión encartuchada de pequeño diámetro sensible al detonador, resistente al agua, diseñada para trabajos de pre corte en operaciones a cielo abierto. La TABLA N° 22 muestra sus propiedades.

TABLA N° 22: Especificaciones Técnicas del Exsaline

 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	UNIDADES	EXSALINE
Densidad	g/cm ³	1.12 - 1,14
Velocidad de detonación	m/s	5000 - 5300
Poder rompedor o brisance (Hess)	mm	20 - 24
Presión de detonación	kbar	70 - 85
Energía	kcal/kg	935
Absolute Bulk Strength	kcal/lt	1050
Potencia relativa por peso (Anfo=100)	%	103
Potencia relativa por volumen (Anfo=100)	%	143
Resistencia al agua (Norma Técnica Peruana)	hora	96
Categoría de humos		1
Vida útil	meses	12


H) Slurrex MA.- Emulsión a base de nitrato de amonio, es el insumo principal para la preparación in situ del anfo pesado. En la FIG N° 24 se muestra su forma de despacho.



FIG N° 24: Emulsión a granel


- I) Examon P y V.- ANFOs, agentes de voladura granulados con alto nivel energético. La TABLA N° 23 muestra sus propiedades.

TABLA N° 23: Especificaciones Técnicas del Examon P y V

 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	UNIDADES	EXAMON V	EXAMON P
Densidad (1)	g/cm ³	0.85 ± 3%	0.84 ± 3%
Velocidad de detonación (2)	m/s	2900 - 4600	2800 - 4400
Presión de detonación	kbar	34	32
Energía	kcal/kg	1140	1003
Volumen normal de gases	l/kg	920	976
Potencia relativa por peso (Anfo=100)	%	125	110
Potencia relativa por volumen (Anfo=100)	%	131	114
Resistencia al agua (Norma Técnica Peruana)		Nula	Nula
Categoría de humos (3)		2	2
Vida útil	meses	12	12

- J) Slurrex AP80 - AP60.- Los Slurrex-AP son ANFOs Pesados de alto nivel de energía. Se aplican como carga de fondo y/o de columna en taladros en tajos abiertos y canteras. La TABLA N° 24 muestra sus propiedades.

TABLA N° 24: Especificaciones Técnicas del Slurrex AP

 SLURREX-AP	SLURREX-AP 80	SLURREX-AP 60
Densidad, en g/cm ³	1,26	1,28
Velocidad de detonación, en m/s (confinado)	5 600	5 400
Presión de detonación, en kbar	99	93
Energía, en cal/g	717	744
Resistencia al agua	excelente	excelente
Categoría de humos	2da.	2da.
Volumen normal de gases, en l/kg	1 008	1 003
Potencia relativa por peso (Anfo=100)	79	85
Potencia relativa por volumen (Anfo=100)	123	134
Vida útil	6 meses	6 meses

3.4. El crecimiento económico impulsado por la penetración en otros mercados



FIG N° 25: Ampliación del canal de Panamá, permitirá el acceso de naves Post Panamax, se inaugurará en el centenario del canal.

Actualmente la empresa ENAEX del Grupo Sigdo Koppers que era la principal suministradora de productos explosivos en Sudamérica y que incluso está expandiéndose no se abastece lo suficiente para la cantidad de obras que se están ejecutando en este continente, es así que EXSA S.A. viene exportando su producto y ya cuenta con sucursales de venta en países como Bolivia, Ecuador, Chile en Sudamérica; por el Norte abastece a una zona de los Estados Unidos y Canadá; y actualmente debido a que se realizará la construcción de la segunda etapa del canal de Panamá, mostrado en la FIG N° 25, que es un proyecto colosal, la empresa ha logrado ingresar a ese mercado centroamericano y vender su producto para realizar parte de las obras de dicha construcción.

A la velocidad con la cual se inventan nuevas máquinas, nuevos procesos de trabajo, nuevos materiales, los países también crecen y se

desarrollan aún más, proyectos que antes se realizarían en muchos años ahora se realizan en meses, todo gracias al avance tecnológico que ha dado un giro esperado pero sin embargo para el cual no estábamos bien preparados, todo esto influye en que en diversos países la ejecución de proyectos se haya incrementado en un 80%, en los años del 2009, 2010 y 2011 luego de la llamada crisis mundial, este crecimiento económico, industrial, comercial trae como consecuencias el desarrollo de nuevas empresas y la expansión de otras, también impulsa a buscar nuevos mercados que es a lo que EXSA S.A. se proyecta.

Por otro lado añadiendo un comentario, este crecimiento económico, industrial, comercial es bueno ya que contribuye directa o indirectamente al progreso de un porcentaje (%) de habitantes del país; sin embargo el otro lado de la moneda es que las leyes para el cuidado medioambiental se van quedando cada vez más cortas o ya no son suficientes contra el incremento de la contaminación y esto nos afecta al 100% de las personas que habitamos este territorio, es por ello que llamo a la reflexión de todo mis colegas que están involucrados en la industrialización que no solo tomemos conciencia sino que actuemos hasta donde nuestra responsabilidad esfuerzos e influencia lo permitan y mitigemos la contaminación.

3.5. El crecimiento económico impulsado por la inversión

Se refiere al crecimiento que se logra a través de la adopción de tecnologías globales a la producción local y gran parte de ello se debe a la inversión extranjera directa (IED), las alianzas estratégicas y los acuerdos de subcontratación que a su vez ayudan a integrar la economía nacional en

sistemas de producción internacional, mejorando las tecnologías que impulsan al crecimiento económico. En la organización industrial, existen compañías con industrias locales que se encuentran subordinadas a empresas trasnacionales y son subcontratadas por organizaciones empresariales extranjeras las cuales controlan desde el eslabón del diseño e innovación el de comercialización y marketing. En consecuencia, las empresas adquieren tecnología a través de importaciones, especialmente vía la IED. Exsa S.A. no es ajena a este tipo de manejo transnacional, ya que los accionistas a través de los años han realizado una serie de compras y ventas de acciones, asociándose de este modo a empresas con mayor visión y solidez, estableciendo relaciones estratégicas importantes y bien pensadas que llevaron a la empresa al crecimiento que aún sigue teniendo.

El Grupo Brescia tiene una larga historia de inversión en la industria química. Fue en 1987 cuando la norteamericana The Marmon Group, dueña del 32,32 % de Explosivos S.A., la más importante productora de explosivos para la minería y con la división de soldaduras Oerlikon, vende su participación a los hermanos Baertl, entonces principales accionistas de Milpo, y a los hermanos Brescia. Pedro y Mario Brescia Cafferata ingresan al Directorio en 1987 y Mario ocupa la Vicepresidencia. En 1994, el grupo Brescia compra el 35,96 % de Explosivos S.A. a los grupos Baertl, Montori, Wiese y otros, con los que llega a ser dueño del 60% del capital social, mientras que Valores Lurín, subsidiaria de Explosivos S.A., compró el 9% de su matriz. Pedro Brescia asume la presidencia del Directorio, renuncian 9 directores e ingresa la nueva generación de la familia, además que la empresa cambia su razón social a Exsa S.A. En 1999, Exsa participa con el 49% del capital social de ALW Pacífico S.A., que comercializa en la región

occidental de Sudamérica implementos de soldadura Oerlikon. Esta empresa abre una subsidiaria en Chile el 2000, llamada ALW Chile S.A., dedicada a la comercialización de las soldaduras Oerlikon y explosivos que fabrica Exsa. Para el 2002, Exsa llega a tener el 97,67% de esta empresa en Chile. El 2007, Exsa decide fusionar su subsidiaria Valores Lurín con su División de Soldaduras, creando una nueva subsidiaria con el nombre de Soldexa S.A. para la venta de soldaduras. En octubre del 2001, Exsa gestionó un préstamo con el Banco Continental, en donde el Grupo Brescia lo controla mediante un joint venture con el BBVA, a 6 años para cancelar en abril del 2002 la obligación que mantenía en el Banco de Crédito del Perú, pues con ese banco gestionó un préstamo en octubre del 2000 por US\$ 12 millones a 7 años para reestructurar los pasivos financieros de la empresa.

A consecuencia del boom minero, Exsa tuvo un extraordinario crecimiento por las ventas de explosivos y soldaduras marcas Oerlikon y Fontargen, exportando a Chile, Canadá y Estados Unidos. Desde fines del siglo pasado, el grupo Brescia había pensado en instalar una planta de nitrato de amonio, insumo que se utiliza para la fabricación de explosivos, que en su mayoría es importado, pero recién en el 2002 lo llevó a etapa de proyecto debido al boom minero. Para esto, Exsa creó una subsidiaria llamada Nitrocorp S.A.C., que realizaba el estudio y promoción para instalar la planta utilizando gas de Camisea, con una inversión estimada de más de US\$ 100 millones, buscando un socio estratégico que aporte tecnología y know how. En estos últimos años, Brescia siguió comprando acciones de Exsa para tener el control total. Revisando las actas de la Junta General de Accionistas, en el 2001 Brescia tenía el 62,65 % y el 2005 ya tenía el 70,70

% En setiembre del 2005, Juan Miranda Costa vende el 11,80 % de Exsa a Brescia en S/.15,4 millones, llegando Brescia a tener el 88,85 %, que sumado al 9,18 % que tenía una de sus subsidiarias, se puede decir que Brescia ya tenía el control total de la empresa. Actualmente el Grupo Brescia y el Grupo Sigdo Koppers de Chile invertirán US\$ 650 millones en los próximos años para la construcción de una planta petroquímica en nuestro país para la producción de nitrato de amonio y amoniaco, teniendo Sigdo Koppers la mayoría de las acciones. Es así como la inversión genera el crecimiento económico de la empresa y del país.

3.6. Planteamiento del problema

Debido a la posibilidad de crecimiento por la inversión y por la penetración a nuevos mercados, como lo mencionamos en los ítems 3.4 y 3.5, y en vista que Exsa fue adjudicada para el suministro de explosivos para la ampliación del canal de Panamá, operación que ya está iniciando, se presentan las siguientes preguntas: ¿Podrá EXSA S.A. abastecer la creciente demanda de explosivos en Perú y otros países?; ¿Necesitará realizar cambios sustanciales en sus instalaciones?; ¿Se incrementarán los esfuerzos humanos laborales para reducir gastos de producción?.

Para la pregunta anterior, la respuesta inmediata es la ampliación de la planta de emulsión encartuchada que se está realizando y que ya se encuentra en las fases finales; esta ampliación permitirá a EXSA S.A. incrementar su capacidad instalada para producir emulsión explosiva y otros agentes de voladura en un 60%.

Sin embargo en los últimos 10 años cuando la producción se hacía en un turno ha llegado a ser como máximo el 53% de la capacidad instalada y cuando se producía en tres turnos ha llegado a ser como máximo el 32% de la capacidad instalada. De lo anterior se puede proyectar que al ampliar la capacidad instalada en 60% y al duplicarse las ventas, el porcentaje de producción no llegará a cubrir la totalidad de la capacidad instalada, pero si requerirá que todos los equipos se encuentren operando según lo demanden los tiempos de entrega de los productos vendidos.

Al tener las plantas produciendo de la manera que lo hacen actualmente, el costo de producción también se eleva y el consumo pico de energía eléctrica puede llegar a duplicarse; y si las ventas se incrementan aún más, también se incrementarán los turnos de trabajo por ende la exposición del personal a los riesgos que el trabajo implica también se incrementará, ya que hay procesos manuales que lo acercan a la zona de producción y por lo tanto a la zona de mayor riesgo; estos procesos comprenden desde el momento en que se inicia la preparación de la solución oxidante en los tanques de solución TKS1, TKS2 y TKS3 hasta el momento en el que se realiza la mezcla con los combustibles en el tanque pre-mix de capacidad de 100 kg. Esta parte del proceso es solo la mitad del proceso total sin embargo el 2010 ha presentado accidentes por suerte no lamentables.

Al ampliarse la planta, también se incrementan los riesgos, tanto de seguridad como de producción, y lo que buscan los interesados del proyecto de ampliación es minimizar estos riesgos sin incumplir con el abastecimiento solicitado por los clientes.

Después de citar los sucesos anteriores entonces podemos resumir la problemática en tres temas:

- A) Se necesita optimizar la producción para tener mayor flujo de producto en menor tiempo, con menores imprevistos y brindar de ese modo tranquilidad a los clientes internos y externos de la empresa.

- B) Se requiere mitigar la exposición a riesgos, de todo el personal del área de producción de emulsión explosiva, sin afectar el volumen producido ni el desempeño del trabajador, lo que implica tener mayor flujo de producción en menor tiempo.

- C) El trabajador desarrolla estrés debido a la ampliación de horas laborales y/o cambios de turno semanales, lo cual puede afectar su seguridad.

CAPITULO IV

DISEÑO DE LA LINEA DE PRODUCCIÓN AUTOMATIZADA

4.1. Operaciones humanas en la producción de emulsión

Tanto en la planta antigua como en la planta ampliada las operaciones humanas están presentes a lo largo de todo el proceso, siendo básicamente las siguientes:

- A) Operaciones humanas en la producción de solución oxidante:
 - Manejo de montacargas para traslado del nitrato de amonio desde el almacén hacia los tanques de solución oxidante.
 - Agregado manual de nitrato de amonio, nitrato de sodio y otros compuestos.
 - Apertura y cerradura de válvulas de bola de diversos tamaños, para llenado de agua, transporte de solución, limpieza e ingreso de vapor.
 - Medición de temperatura con el uso de pirómetros.
 - Toma de lecturas de la presión en diversos puntos del recorrido de la mezcla observando los manómetros.
 - Extracción de muestras para medición del pH de las soluciones.
 - Encendido y apagado manual de motores para agitar las soluciones y para bombeo de estas.
 - Control de llenado de tanques por inspección visual de las balanzas

B) Operaciones humanas en la producción de solución combustible:

- Llenado de petróleo por inspección visual de los medidores.
- Traslado de aceites combustibles y parafinas, conexión y bombeo neumático hacia los tanques fusores TKF1, TKF2, TKF3 y TKF4.
- Encendido y apagado manual de motores para agitar las soluciones y para bombeo de estas.

C) Operaciones humanas en la mezcla de ambas soluciones:

- Traslado de cajas contenedoras de micro-esferas.
- Encendido de la bomba de vacío y sujeción de la manguera de extracción.
- Traslado de bolsas de poliuretano y aluminio para agregar estos insumos al proceso.

Estos son alguno de los procesos más repetitivos realizados por personal operario de la planta, estas actividades hacen que el personal se encuentre constantemente trasladándose de un lugar a otro, agachándose, levantándose, subiendo y bajando escaleras, cargando peso, tomando posturas inadecuadas agotándolos, dejando de considerar los principios de la ergonomía lo cuál en un futuro lo llevará a diversos efectos negativos que en general se expresan en: lesiones, enfermedad profesional, o deterioros de productividad y eficiencia. También el estar trasladándose por la zona de producción de manera constante aumenta la probabilidad de accidentarse.

Sería óptimo poder reducir todas las operaciones a procesos automáticos, sin embargo en el presente informe solo tocaremos los procesos detallados en el alcance del presente trabajo. En la FIG N° 26 se aprecia un esquema del proceso que abarca este tramo de producción, este esquema es similar al mostrado en la FIG N° 8.

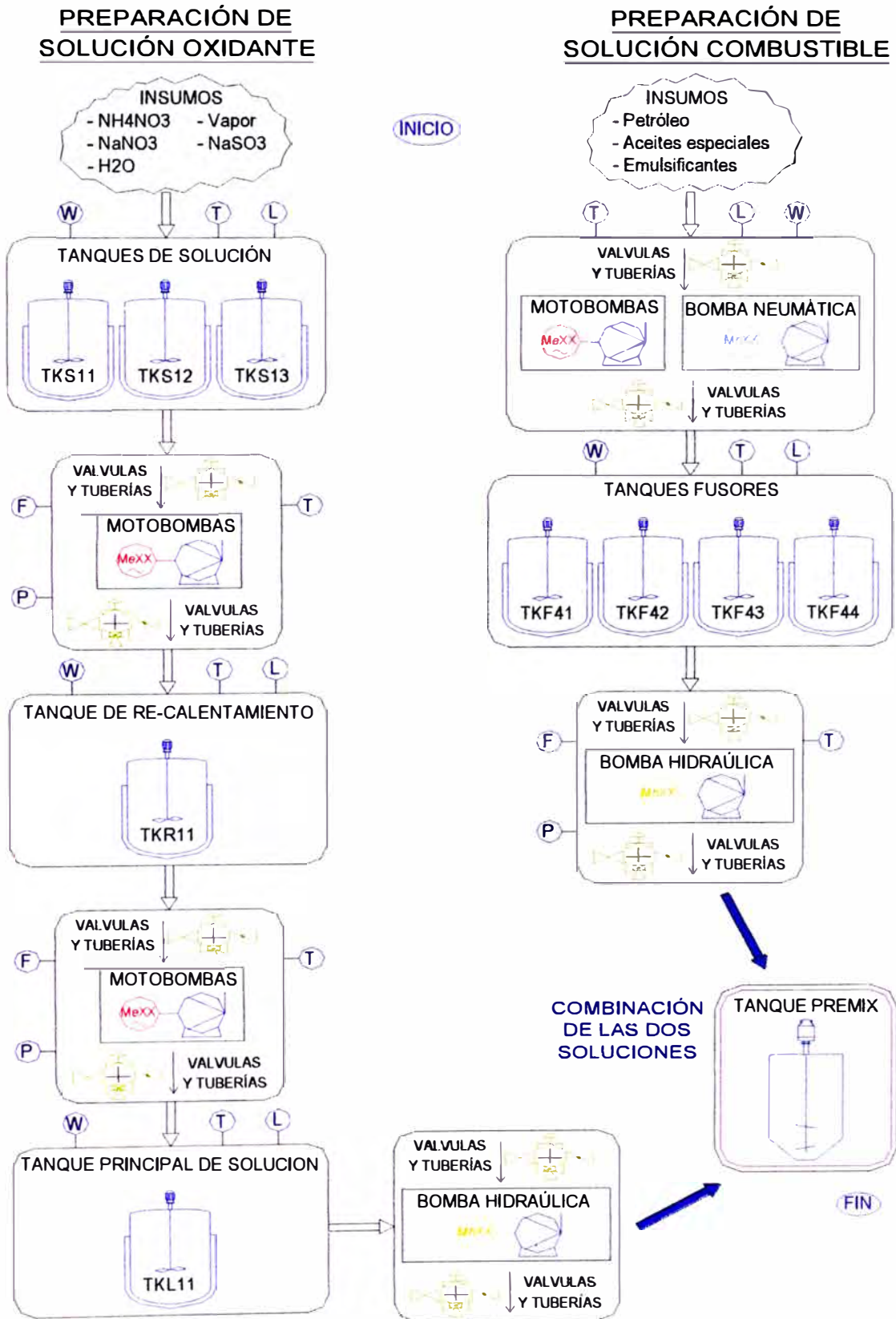


FIG Nº 26: Esquema de la línea de producción a automatizarse

4.2. Modificaciones de las estructuras para facilitar el manipuleo

Al observar el proceso de producción he observado que no solo se requiere automatizar ciertas operaciones humanas; sino que también se requiere modificar algunas estructuras e instalar nuevas redes de tuberías, con lo cual se agilizaría más el proceso.

4.2.1 Modificación del tanque reservorio de agua.

Existen tres tanques de solución los cuales tienen una capacidad de 4.5 toneladas cada uno, y para la producción normalmente se requiere el uso de dos de ellos simultáneamente, sabiendo que los tanques son llenados con agua en una cantidad en masa entre (3.8 ton. y 4.2 ton.), utilizamos el valor más alto que en este caso es 4.2 para realizar la modificación a la estructura y al reservorio actual de modo que el llenado demore menor tiempo.

El reservorio actual utilizado tiene forma cilíndrica de diámetro = 1.2 m y altura = 1.5 m, el nivel es controlado mediante el uso de una válvula de cerradura mecánica mediante un flotador (boya), este tanque es suministrado con agua desde la cisterna principal mediante una tubería de 1 ¼" y a la presión regulada de 2.5 bar, y se descarga hacia los tanques de solución por gravedad mediante una tubería de 2" que se ramifica en otras tuberías de 1 ½". Con estos valores calculamos el tiempo de llenado de dos tanques de solución (TKS) calculando el tiempo de vaciado del reservorio actual utilizando la ecuación siguiente cuya obtención se detalla en los anexos.

$$v_2(t) = \sqrt{2 \times g \times h(t)}$$

Dónde:

- $v_2(t)$ = velocidad de salida en función del tiempo.
- $h(t)$ = altura del fluido en función del tiempo.
- g = gravedad (9.8 m/s²)

Para hallar el tiempo más favorable del reservorio actual consideramos que la altura ($h(t)$) del fluido se mantiene constante ya que siempre ingresa agua a la presión de 2.5 bar de modo que mantiene el tanque en su máximo nivel.

Si la altura de fluido es constante, entonces la velocidad de descarga ($v_2(t)$) también será constante, por lo tanto reemplazamos valores obtenemos:

$$v_2 = \sqrt{2 \times g \times H} = \sqrt{2 \times 9.8 \times 1.4} = 5.24 \text{ m/s}$$

Ahora utilizando la fórmula del caudal:

$$Q = A \times v$$

Dónde:

- Q = Caudal en (m³/s).
- A = Área de conducción de la tubería(m)
- v = velocidad del fluido (m/s)

Reemplazando valores:

$$Q = 0.00230722 \text{ m}^2 \times 5.24 \text{ m/s} = 0.012089833 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ahora para llenar los dos tanques que equivalen a 8.4 m³ utilizamos la siguiente fórmula:

$$V = Q \times t$$

Dónde:

- Q = Caudal en (m³/s).

- V = Volumen en (m^3).
- t = tiempo en (s)

Despejamos t y hallamos:

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{8.4 \text{ m}^3}{0.012089833 \text{ m}^3/\text{s}} = 694.8 \text{ s} = 11 \text{ min } 35 \text{ s}$$

Por otro lado si cambiamos el reservorio para cubrir la capacidad total de dos tanques sin necesidad de llenado continuo desde la cisterna, tendríamos un recipiente como el mostrado en la FIG N° 27 de diámetro $D = 1.35 \text{ m}$ y altura $H = 1.6 \text{ m}$, con altura de fluido $H = 1.5 \text{ m}$. De este modo también se prevendría cualquier eventualidad o falla en el abastecimiento de agua desde la cisterna al reservorio. El diámetro de salida sería = 3".

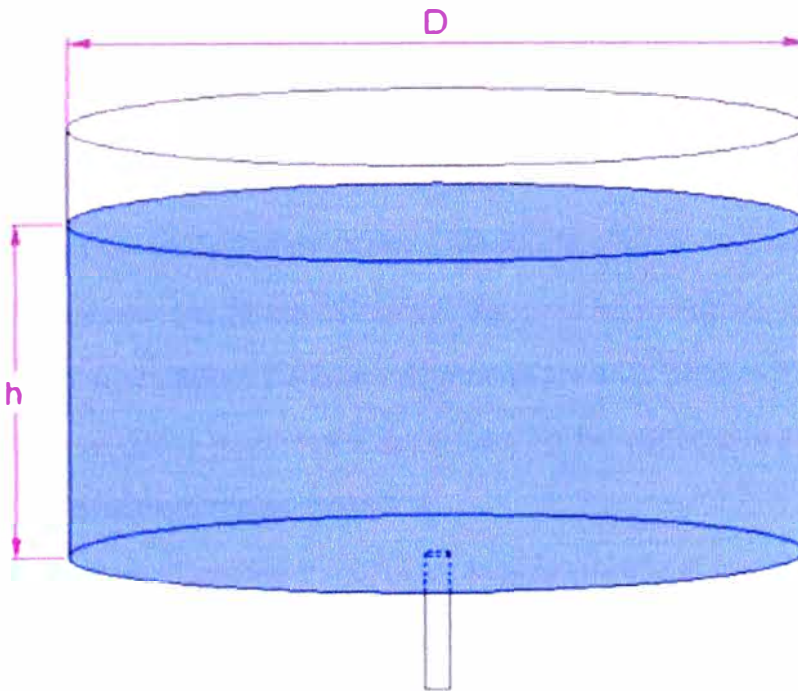


FIG N° 27: Nuevo tanque del proceso

Podemos utilizar la siguiente ecuación para calcular el tiempo de vaciado:

$$t = \frac{A_1}{A_2} \times \sqrt{\frac{2 \times H}{g}}$$

Dónde:

- t = tiempo de vaciado.
- $A1$ = área de la base del reservorio.
- $A2$ = área de conducción de tubería de salida.
- H = altura del fluido.
- g = gravedad (9.8 m/s^2)

Reemplazando valores en la ecuación anterior tenemos que el tanque

$$t = \frac{5.6 \text{ m}^2}{00503912 \text{ m}^2} \times \sqrt{\frac{2 \times 1.5 \text{ m}}{9.8 \text{ m/s}^2}} = 340.2 \text{ s} = 5 \text{ min. } 40 \text{ s}$$

Concluimos que el tiempo para llenado de ambos tanques de solución se reduce sustancialmente en un 50%.

4.2.2 Instalación de tuberías para bombeo de aceites y parafinas.

Actualmente en la planta el agregado de aceites y parafinas para la formación de la solución combustible se realiza del siguiente modo:

Los depósitos de aceites (de forma cúbica, de material plástico) y los de parafinas (de forma cilíndrica, de material metálico), se trasladan con el montacargas sobre parihuelas hacia la zona de producción, estos depósitos tienen agujeros roscados a los cuales se les conectan válvulas de 1 ½" con sus respectivos niples roscados.

Seguidamente también se traslada desde el depósito dos mangueras de caucho de 10 m y 15 m de longitud; una de las cuales se conecta por un lado a una válvula que se encuentra en la tubería de salida de los tanques fusores; y por el otro lado se conecta a la salida de la bomba neumática. La otra manguera se conecta por un lado al ingreso de la bomba neumática y

por el otro a la válvula colocada en el depósito de aceite o a la del depósito de parafina, dependiendo del compuesto que se requiere bombear.

Luego se procede a conectar a la bomba neumática la manguera de alimentación de aire proveniente de la compresora; una vez hecho esto se abren las válvulas de los depósitos y también la válvula de ingreso de aire para realizar el bombeo.

Una vez terminado el proceso de bombeado se devuelven los depósitos y mangueras a sus lugares, pero en caso se tenga que agregar más aceite o parafina se procede a realizar los pasos anteriores nuevamente.

El traslado de la bomba neumática y manguera implica el uso del montacargas, por lo tanto es consumo adicional de combustible; ahora en lo que son tiempos de operación, tanto el traslado y conexiones realizadas toman 35 minutos en promedio para su realización.


















Para agilizar estas acciones se realizará la instalación de tuberías de fierro negro (FeNe) de 1 ½" de diámetro desde el depósito temporal de aceites y parafinas hasta el ingreso a los tanques fusores. Este depósito temporal de los aceites y parafinas debe estar en una zona más elevada que los tanques fusores, por ello se ubica a 0.5m sobre la cima de los tanques.


Al añadir las tuberías para llenado de aceite y parafina, se obviará el traslado e instalación de la bomba neumática y manguera de conexión, además se disminuirá el tiempo de conexión de los depósitos a las tuberías, esta operación que antes duraba 35 minutos se realizará en 10 minutos.

4.3. Monitoreo de los valores del proceso

Como se muestra en la FIG N° 29 y como detallamos a continuación en la TABLA N° 25, son principalmente 6 valores los que se deben monitorizar en todo el proceso para llevar a cabo la automatización.

TABLA N° 25: Valores principales del Proceso

Valores	Interruptores	Sensores
 Presión Pressure	 Interruptor de peso	 Sensor de peso
 Flujo Flow	 Interruptor de presión	 Sensor de presión
 Peso Weight	 Interruptor de temperatura	 Sensor de temperatura
 Temperatura Temperature	 Interruptor de nivel	 Sensor de nivel
 Nivel Level	 Interruptor de flujo	 Sensor de flujo
	 Interruptor de fin de carrera	 Sensor de velocidad

En el ítem 2.6 de este informe se comentó acerca de los sensores e interruptores para áreas con riesgo de explosión, los sensores e interruptores que instalaremos en el proceso estarán en una zona con ese riesgo por lo tanto deben cumplir las condiciones de los dispositivos a prueba de explosión .

A lo largo del proceso monitorearemos los valores indicados en la TABLA N° 25; para disminuir costos no se utilizarán sensores para todo los valores del proceso, si no se utilizarán también interruptores (limit switches); es por ello que no todo los parámetros tendrán un valor de incremento o decremento proporcional sino que sólo mostrarán el estado on y estado off.

A continuación en la TABLA N° 26 mostramos la lista de sensores que se instalarán en el proceso para monitorear los valores, y en los anexos se tiene la mayor información sobre cada sensor.

TABLA N° 26: (1ra) Sensores e interruptores principales del proceso

IT	DESCRIPCIÓN DE SENSORES O INTERRUPTORES	TAG EN P&ID		CANT	UND	TIPO
		COD.	TAG			
1	Sensor de Peso de Tanque Solución 1	WS	S11	1	kit	Celdas de carga (4)+s
2	Sensor de Peso de Tanque Solución 2	WS	S12	1	kit	Celdas de carga (4)+s
3	Sensor de Peso de Tanque Solución 3	WS	S13	1	kit	Celdas de carga (4)+s
4	Sensor de Peso de Tanque de Recalentamiento 1	WS	R21	1	kit	Celdas de carga (4)+s
5	Sensor de Peso de Tanque Solución Oxidante 1	WS	L31	1	kit	Celdas de carga (4)+s
6	Sensor de Peso de Tanque Fusor 1	WS	F41	1	kit	Celdas de carga (4)+s
7	Sensor de Peso de Tanque Fusor 2	WS	F42	1	kit	Celdas de carga (4)+s
8	Sensor de Peso de Tanque Fusor 3	WS	F43	1	kit	Celdas de carga (4)+s
9	Sensor de Peso de Tanque Fusor 4	WS	F44	1	kit	Celdas de carga (4)+s
10	Interruptor de Fin de Carrera de Tanque Solución 1	FCI	S11	1	und	Contacto - Pulsador
11	Interruptor de Fin de Carrera de Tanque Solución 2	FCI	S12	1	und	Contacto - Pulsador
12	Interruptor de Fin de Carrera de Tanque Solución 3	FCI	S13	1	und	Contacto - Pulsador
13	Interruptor de Fin de Carrera de Tanque de Recalentamiento 1	FCI	R21	1	und	Contacto - Pulsador
14	Interruptor de Fin de Carrera de Tanque de Solución Oxidante 1	FCI	L31	1	und	Contacto - Pulsador
15	Interruptor de Fin de Carrera de Tanque Fusor 1	FCI	F41	1	und	Contacto - Pulsador
16	Interruptor de Fin de Carrera de Tanque Fusor 2	FCI	F42	1	und	Contacto - Pulsador
17	Interruptor de Fin de Carrera de Tanque Fusor 3	FCI	F43	1	und	Contacto - Pulsador
18	Interruptor de Fin de Carrera de Tanque Fusor 4	FCI	F44	1	und	Contacto - Pulsador
19	Sensor de Temperatura de Tanque Solución 1	TS	S11	1	jgo	Resistencia pt100
20	Sensor de Temperatura de Tanque Solución 2	TS	S12	1	jgo	Resistencia pt100
21	Sensor de Temperatura de Tanque Solución 3	TS	S13	1	jgo	Resistencia pt100
22	Sensor de Temperatura de Tanque de Recalentamiento 1	TS	R21	1	jgo	Resistencia pt100
23	Sensor de Temperatura de Tanque de Solución Oxidante 1	TS	L31	1	jgo	Resistencia pt100
24	Sensor de Temperatura de Tanque Fusor 1	TS	F41	1	jgo	Resistencia pt100
25	Sensor de Temperatura de Tanque Fusor 2	TS	F42	1	jgo	Resistencia pt100
26	Sensor de Temperatura de Tanque Fusor 3	TS	F43	1	jgo	Resistencia pt100
27	Sensor de Temperatura de Tanque Fusor 4	TS	F44	1	jgo	Resistencia pt100

TABLA N° 26: (2da) Sensores e interruptores principales del proceso

IT	DESCRIPCIÓN DE SENSORES O INTERRUPTORES	TAG EN P&ID		CANT	UND	TIPO
		COD.	TAG			
28	Interruptor de Nivel Alto de Tanque Solución 1	LI	AS11	1	und	Capacitivo
29	Interruptor de Nivel Alto de Tanque Solución 2	LI	AS12	1	und	Capacitivo
30	Interruptor de Nivel Alto de Tanque Solución 3	LI	AS13	1	und	Capacitivo
31	Interruptor de Nivel Alto de Tanque de Recalentamiento 1	LI	AR21	1	und	Capacitivo
32	Interruptor de Nivel Alto de Tanque de Solución Oxidante 1	LI	AL31	1	und	Capacitivo
33	Interruptor de Nivel Alto de Tanque Fusor 1	LI	AF41	1	und	Capacitivo
34	Interruptor de Nivel Alto de Tanque Fusor 2	LI	AF42	1	und	Capacitivo
35	Interruptor de Nivel Alto de Tanque Fusor 3	LI	AF43	1	und	Capacitivo
36	Interruptor de Nivel Alto de Tanque Fusor 4	LI	AF44	1	und	Capacitivo
37	Interruptor de Nivel Bajo de Tanque Solución 1	LI	BS11	1	und	Capacitivo
38	Interruptor de Nivel Bajo de Tanque Solución 2	LI	BS12	1	und	Capacitivo
39	Interruptor de Nivel Bajo de Tanque Solución 3	LI	BS13	1	und	Capacitivo
40	Interruptor de Nivel Bajo de Tanque de Recalentamiento 1	LI	BR21	1	und	Capacitivo
41	Interruptor de Nivel Bajo de Tanque de Solución Oxidante 1	LI	BL31	1	und	Capacitivo
42	Interruptor de Nivel Bajo de Tanque Fusor 1	LI	BF41	1	und	Capacitivo
43	Interruptor de Nivel Bajo de Tanque Fusor 2	LI	BF42	1	und	Capacitivo
44	Interruptor de Nivel Bajo de Tanque Fusor 3	LI	BF43	1	und	Capacitivo
45	Interruptor de Nivel Bajo de Tanque Fusor 4	LI	BF44	1	und	Capacitivo
46	Interruptor de Nivel Alto de Tanque de Agua	LI	AA01	1	und	Capacitivo
47	Interruptor de Nivel Bajo de Tanque de Agua	LI	BA01	1	und	Capacitivo
48	Interruptor de Nivel Alto de Tanque de Agua Caliente	LI	AC01	1	und	Capacitivo
49	Interruptor de Nivel Bajo de Tanque de Agua Caliente	LI	BC01	1	und	Capacitivo
50	Interruptor de Nivel Alto de Tanque de Petróleo	LI	AP01	1	und	Capacitivo
51	Interruptor de Nivel Bajo de Tanque de Petróleo	LI	BP01	1	und	Capacitivo
52	Interruptor de Nivel Bajo de Tanque Precapa	LI	BC01	1	und	Capacitivo
53	Interruptor de flujo hacia bomba de emulsión 1	FI	BE01	1	und	Mecánico de paleta
54	Interruptor de flujo hacia bomba de emulsión 2	FI	BE02	1	und	Mecánico de paleta
55	Interruptor de flujo hacia bomba de emulsión 3	FI	BE03	1	und	Mecánico de paleta
56	Interruptor de flujo hacia bomba de petróleo	FI	BP01	1	und	Mecánico de paleta
57	Interruptor de flujo hacia bomba de aceite	FI	BO01	1	und	Mecánico de paleta
58	Sensor de Presión en la succión de la bomba de emulsión 1	PS	IBE01	1	und	Pelic. fina/ Piezoelec.
59	Sensor de Presión en la succión de la bomba de emulsión 2	PS	IBE02	1	und	Pelic. fina/ Piezoelec.
60	Sensor de Presión en la succión de la bomba de emulsión 3	PS	IBE03	1	und	Pelic. fina/ Piezoelec.
61	Sensor de Presión en la salida de la bomba de emulsión 1	PS	OBE01	1	und	Pelic. fina/ Piezoelec.
62	Sensor de Presión en la salida de la bomba de emulsión 2	PS	OBE02	1	und	Pelic. fina/ Piezoelec.
63	Sensor de Presión en la salida de la bomba de emulsión 3	PS	OBE03	1	und	Pelic. fina/ Piezoelec.
64	Sensor de Presión en la línea principal de aire	PS	A01	1	und	Pelic. fina/ Piezoelec.
65	Sensor de Presión en el manifold de vapor	PS	V01	1	und	Pelic. fina/ Piezoelec.
66	Sensor de Presión en la salida de la bomba de petróleo	PS	OBP01	1	und	Pelic. fina/ Piezoelec.
67	Sensor de Presión en la salida de la bomba de agua caliente	PS	OBO01	1	und	Pelic. fina/ Piezoelec.

Los sensores actualmente tienen diversos protocolos de comunicación siendo el más versátil el Ethernet.

4.4. Instalación de actuadores en la línea de proceso

En el proceso químico de producción de emulsión observamos que estamos tratando con fluidos, salvo el inicio del proceso en el cual agregamos sólidos granulados como el Nitrato de Amonio y Nitrato de Sodio; esta operación de agregado de estos compuestos se realiza de modo manual mediante el manejo de un montacargas, ya que si deseamos automatizarlo se requeriría construir un transportador adicional, lo cual no sería rentable ya que siempre se tendrán que trasladar los nitratos con el equipo montacargas por permanecer estos almacenados en una zona aislada debido al elevado poder de encendido del Nitrato de Amonio.

Al ser fluido lo que transportamos utilizamos, agitadores, bombas eléctricas, bombas hidráulicas y bombas neumáticas; también se manipulan constantemente válvulas de tipo bola de diversos diámetros las cuales se encuentran ubicadas en distintas partes de la planta de emulsión, este manipuleo junto con la lectura de parámetros genera la mayor pérdida de tiempo y esfuerzo en la producción.

Para automatizar la línea de producción de emulsión explosiva requerimos automatizar las válvulas existentes en el proceso, es decir cambiar las válvulas manuales actuales por válvulas de mando eléctrico o neumático. Instalar válvulas de mando eléctrico sería menos costoso pero incrementa el riesgo de chispa por causa eléctrica; por lo tanto optamos por las válvulas de mando neumático. Para instalar las válvulas de accionamiento neumático también requerimos otras válvulas de mando eléctrico que dejen pasar el aire a presión, estas válvulas se instalarán en una zona aislada de las posibles atmósferas explosivas existentes.

En la TABLA N° 27 mostramos la lista de actuadores para el proceso.

TABLA N° 27: (1ra) Actuadores principales del proceso

IT	DESCRIPCIÓN DE ACTUADORES	TAG EN PID		CANT	UND	TIPO
		COD.	TAG			
1	Válvula de ϕ 2", on-off, mando neumático, para ingreso de agua a tanque de solución 1	VI	W11	1	und	Esférico WOG - AC
2	Válvula de ϕ 2", on-off, mando neumático, para ingreso de agua a tanque de solución 2	VI	W12	1	und	Esférico WOG - AC
3	Válvula de ϕ 2", on-off, mando neumático, para ingreso de agua a tanque de solución 3	VI	W13	1	und	Esférico WOG - AC
4	Válvula de ϕ 1 1/4", on-off, mando neumático, para ingreso de agua caliente a tanque de solución 1	VI	HW11	1	und	Esférico WOG - AC
5	Válvula de ϕ 1 1/4", on-off, mando neumático, para ingreso de agua caliente a tanque de solución 2	VI	HW12	1	und	Esférico WOG - AC
6	Válvula de ϕ 1 1/4", on-off, mando neumático, para ingreso de agua caliente a tanque de solución 3	VI	HW13	1	und	Esférico WOG - AC
7	Válvula de ϕ 1 1/2", on-off, mando neumático, para ingreso de vapor a tanque de solución 1	VI	V11	1	und	Esférico WOG - AC
8	Válvula de ϕ 1 1/2", on-off, mando neumático, para ingreso de vapor a tanque de solución 2	VI	V12	1	und	Esférico WOG - AC
9	Válvula de ϕ 1 1/2", on-off, mando neumático, para ingreso de vapor a tanque de solución 3	VI	V13	1	und	Esférico WOG - AC
10	Válvula de ϕ 2", on-off, mando neumático, para salida de producto de tanque de solución 1	VS	S11	1	und	Esférico WOG - AC
11	Válvula de ϕ 2", on-off, mando neumático, para salida de producto de tanque de solución 2	VS	S12	1	und	Esférico WOG - AC
12	Válvula de ϕ 2", on-off, mando neumático, para salida de producto de tanque de solución 3	VS	S13	1	und	Esférico WOG - AC
13	Válvula de ϕ 2", on-off, mando neumático, para ingreso de producto a bomba de solución 1	VI	B-A1	1	und	Esférico WOG - AC
14	Válvula de ϕ 2", on-off, mando neumático, para ingreso de producto a bomba de solución 2	VI	B-A2	1	und	Esférico WOG - AC
15	Válvula de ϕ 2", on-off, mando neumático, para recirculación de producto a bomba de solución 1	VI	B-B1	1	und	Esférico WOG - AC
16	Válvula de ϕ 2", on-off, mando neumático, para recirculación de producto a bomba de solución 2	VI	B-B2	1	und	Esférico WOG - AC
17	Válvula de ϕ 2", on-off, mando neumático, para ingreso 1 de producto a tanque de recalentamiento 1	VI	R211	1	und	Esférico WOG - AC
18	Válvula de ϕ 2", on-off, mando neumático, para ingreso 2 de producto a tanque de recalentamiento 1	VI	R212	1	und	Esférico WOG - AC
19	Válvula de ϕ 1 1/2", on-off, mando neumático, para ingreso de vapor a tanque de recalentamiento 1	VI	V21	1	und	Esférico WOG - AC
20	Válvula de ϕ 2", on-off, mando neumático, para salida de producto de tanque de recalentamiento 1	VS	R21	1	und	Esférico WOG - AC

TABLA N° 27: (2da) Actuadores principales del proceso

IT	DESCRIPCIÓN DE ACTUADORES	TAG EN PID		CANT	UND	TIPO
		COD.	TAG			
21	Válvula de Ø 2", para salida de producto de tanque precapa	VS	C21	1	und	Esférico WOG - AC
22	Válvula de Ø 2", para ingreso de producto a tanque precapa	VI	C21	1	und	Esférico WOG - AC
23	Válvula de Ø 2", on-off, mando neumático, para ingreso de producto a tanque de solución oxidante 1	VI	L31	1	und	Esférico WOG - AC
24	Válvula de Ø 1 1/2", on-off, mando neumático, para ingreso de vapor a tanque de solución oxidante 1	VI	V31	1	und	Esférico WOG - AC
25	Válvula de Ø 2", on-off, mando neumático, para salida de producto de tanque de solución oxidante 1	VS	L31	1	und	Esférico WOG - AC
26	Válvula de Ø 1", on-off, mando neumático, para ingreso de petróleo a tanque fusor 1	VI	P41	1	und	Esférico WOG - AC
27	Válvula de Ø 1", on-off, mando neumático, para ingreso de petróleo a tanque fusor 2	VI	P42	1	und	Esférico WOG - AC
28	Válvula de Ø 1", on-off, mando neumático, para ingreso de petróleo a tanque fusor 3	VI	P43	1	und	Esférico WOG - AC
29	Válvula de Ø 1", on-off, mando neumático, para ingreso de petróleo a tanque fusor 4	VI	P44	1	und	Esférico WOG - AC
30	Válvula de Ø 1", on-off, mando neumático, para ingreso de aceite a tanque fusor 1	VI	O41	1	und	Esférico WOG - AC
31	Válvula de Ø 1", on-off, mando neumático, para ingreso de aceite a tanque fusor 2	VI	O42	1	und	Esférico WOG - AC
32	Válvula de Ø 1", on-off, mando neumático, para ingreso de aceite a tanque fusor 3	VI	O43	1	und	Esférico WOG - AC
33	Válvula de Ø 1", on-off, mando neumático, para ingreso de aceite a tanque fusor 4	VI	O44	1	und	Esférico WOG - AC
34	Válvula de Ø 1 1/2", on-off, mando neumático, para ingreso de vapor a tanque fusor 1	VI	V41	1	und	Esférico WOG - AC
35	Válvula de Ø 1 1/2", on-off, mando neumático, para ingreso de vapor a tanque fusor 2	VI	V42	1	und	Esférico WOG - AC
36	Válvula de Ø 1 1/2", on-off, mando neumático, para ingreso de vapor a tanque fusor 3	VI	V43	1	und	Esférico WOG - AC
37	Válvula de Ø 1 1/2", on-off, mando neumático, para ingreso de vapor a tanque fusor 4	VI	V44	1	und	Esférico WOG - AC
38	Válvula de Ø 1 1/2", on-off, mando neumático, para salida de producto de tanque fusor 1	VS	F41	1	und	Esférico WOG - AC
39	Válvula de Ø 1 1/2", on-off, mando neumático, para salida de producto de tanque fusor 2	VS	F42	1	und	Esférico WOG - AC
40	Válvula de Ø 1 1/2", on-off, mando neumático, para salida de producto de tanque fusor 3	VS	F43	1	und	Esférico WOG - AC
41	Válvula de Ø 1 1/2", on-off, mando neumático, para salida de producto de tanque fusor 4	VS	F44	1	und	Esférico WOG - AC

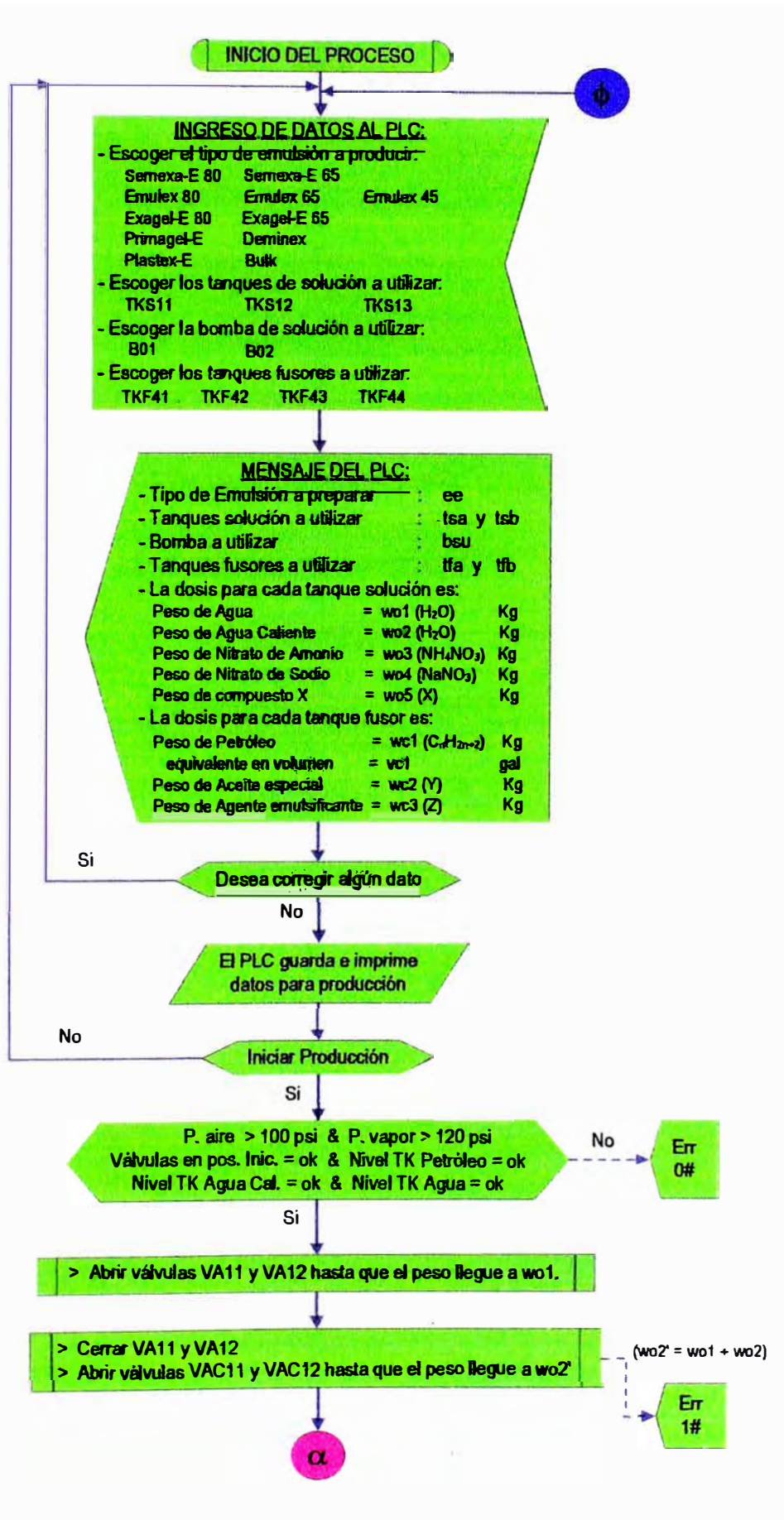
TABLA N° 27: (3ra) Actuadores principales del proceso

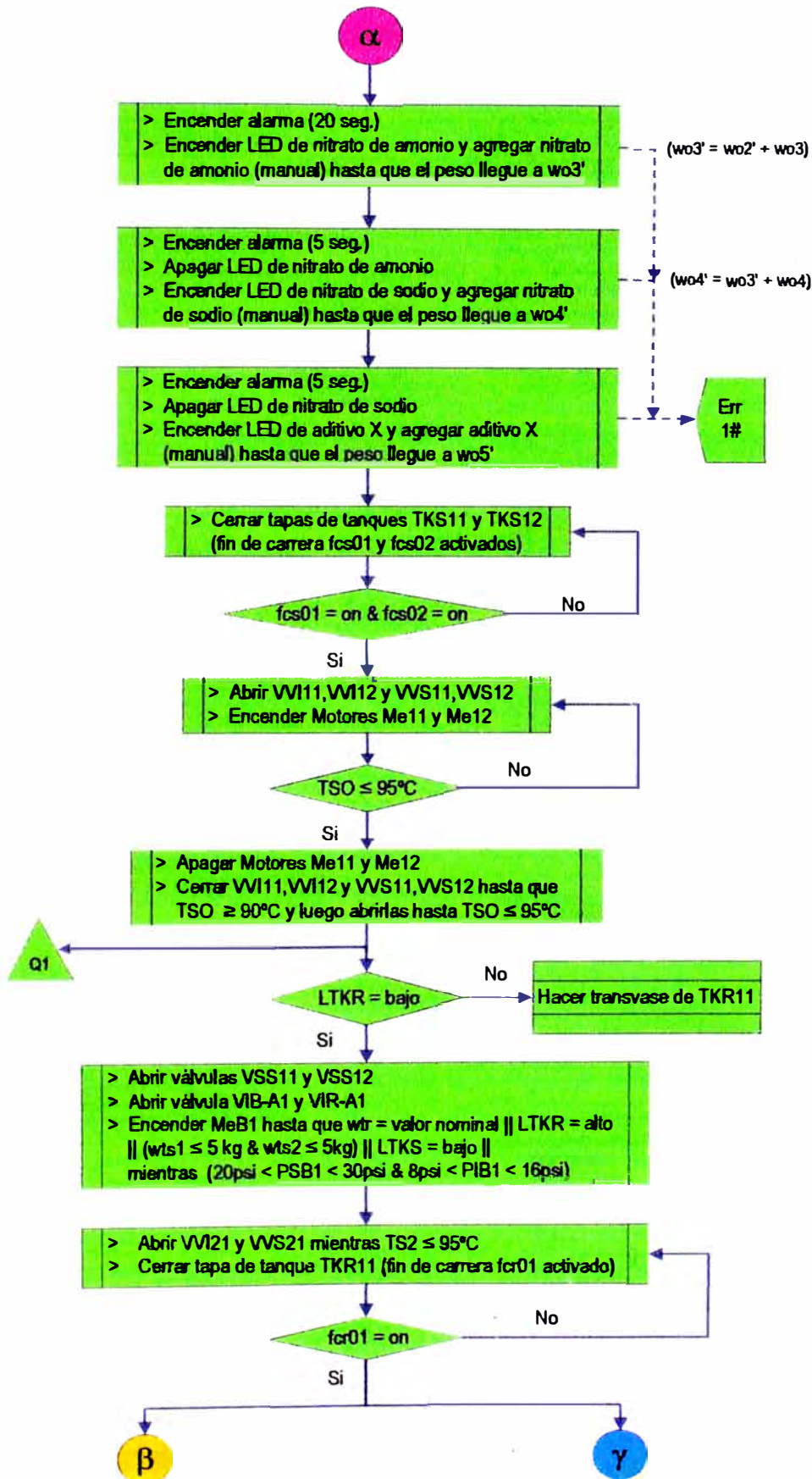
IT	DESCRIPCIÓN DE ACTUADORES	TAG EN PID		CANT	UND	TIPO
		COD.	TAG			
42	Válvula de Ø 1 1/2", de tres vías, mando neumático, para ingreso a bomba neumática de aceite ó parafina	V	BOP01	1	und	Esférico WOG - AC
43	Válvula de Ø 3/8", para ingreso de aire a bomba neumática	V	mn1	1	und	Esférico WOG - AC
44	Islote de 32 electroválvulas para dejar pasar aire a presión hacia 32 actuadores neumáticos	IS	01	1	und	--
45	Islote de 32 electroválvulas para dejar pasar aire a presión hacia 16 actuadores neumáticos	IS	02	1	und	--
46	PLC de control de apertura y cerradura de electroválvulas de islotes	CAC	01	1	und	--

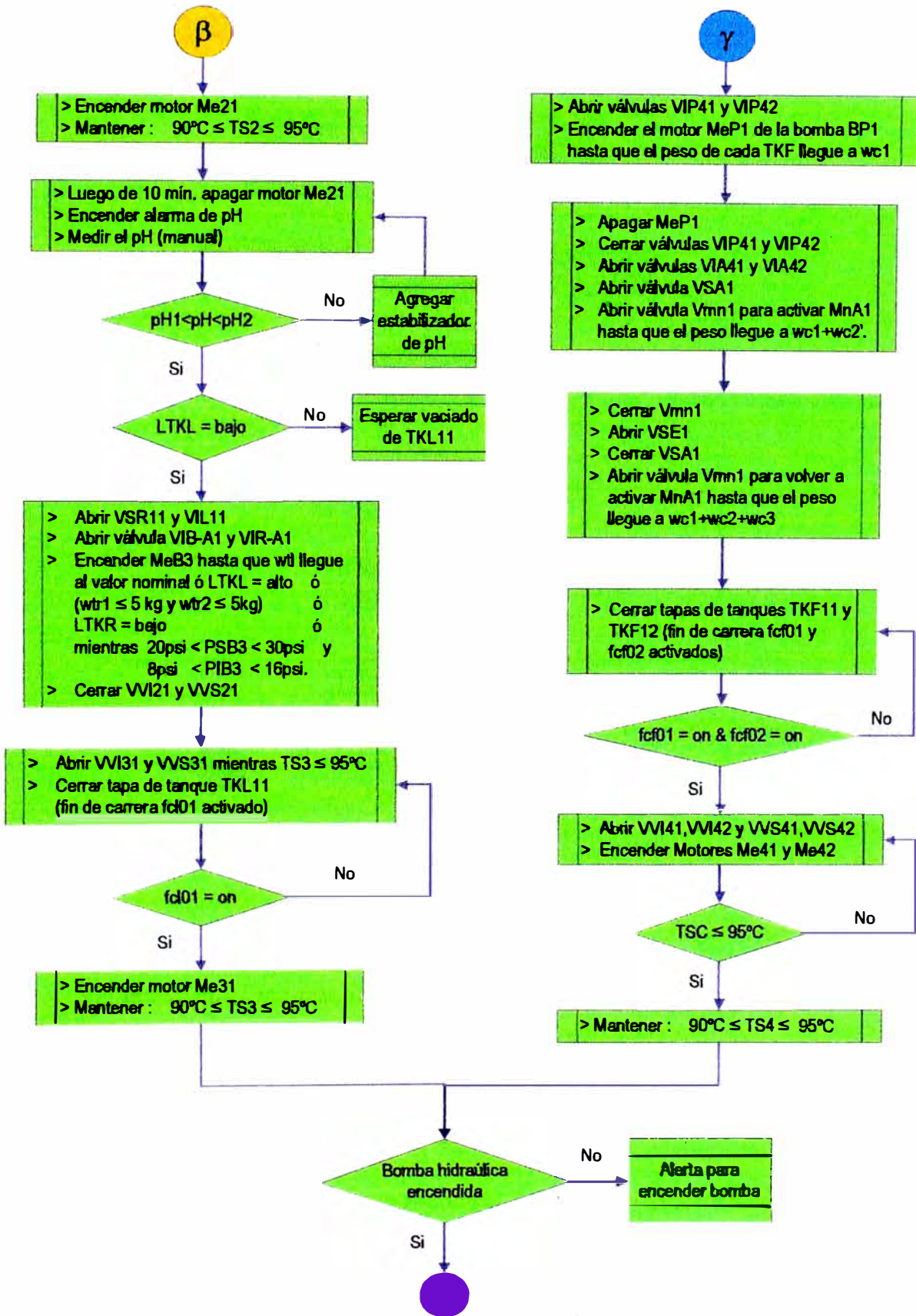
4.5. Diseño de la lógica de control del proceso

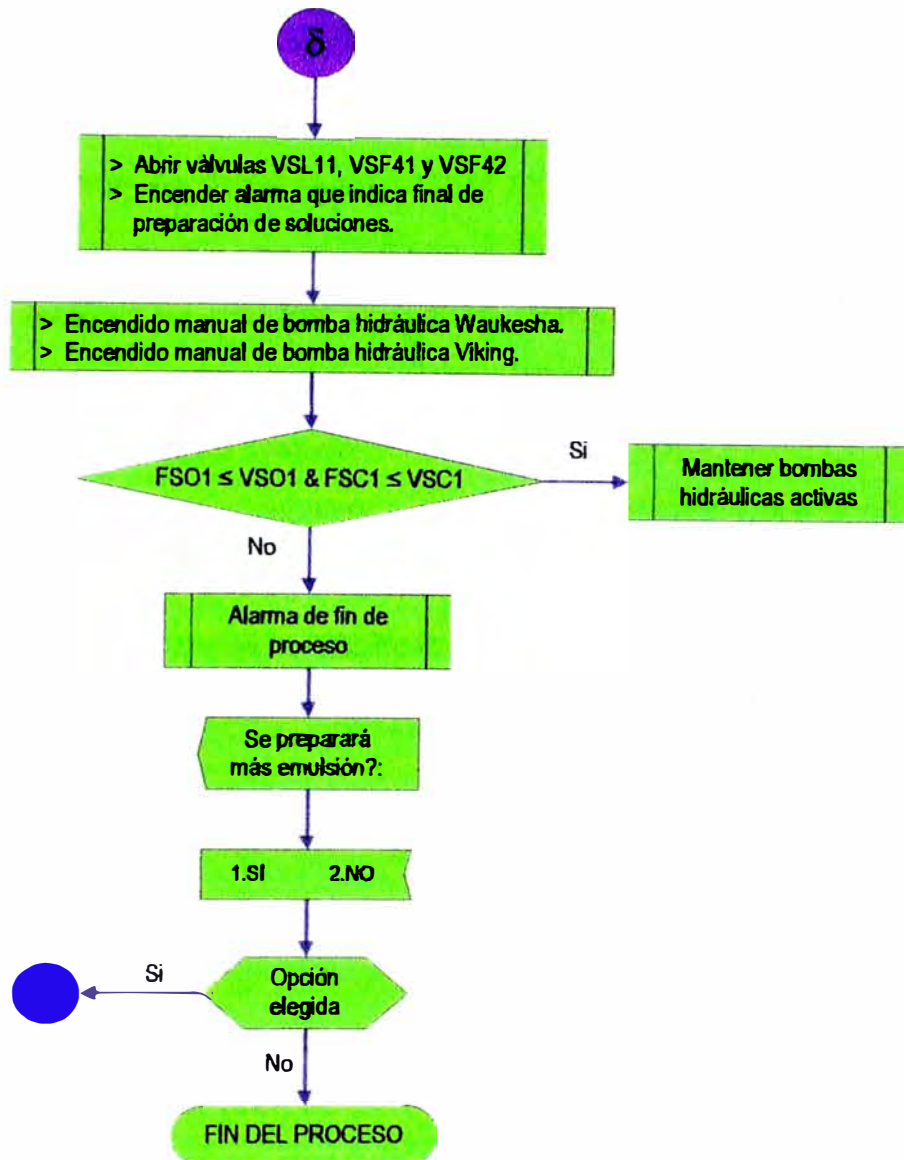
4.5.1 Diagrama de Flujo del Proceso

Para desarrollar la lógica de control secuencial del proceso presentaremos un diagrama de flujo del proceso y para ello a continuación mostramos una TABLA N° 28 con indicaciones del significado de las abreviaturas, todas las abreviaturas del presente informe también se presentan en el anexo con sus respectivos significados.









Tenemos que traducir el diagrama de flujo mostrado al lenguaje que sea entendido por el PLC S7-300, ya sea en Statement List (STL), o lenguajes gráficos como: Function Block Diagram (FBD) and Ladder Diagram (LAD), una aplicación para ello es el S7-GRAPH; para realizar la programación unimos las señales captadas por los sensores mostrados en el ítem 4.3 y las señales enviadas a los actuadores mostrados en el ítem 4.4 que son las señales de entrada y salida del PLC y les asignamos operadores absolutos y

simbólicos para realizar el algoritmo de control secuencial del proceso, así mismo debemos conocer el tipo de PLC a utilizar para realizar su programación, por ello en el ítem 4.5.2 mostramos los equipos a utilizar.

El tiempo de duración de todo el proceso con las modificaciones realizadas dura de 150 min. a 190 min. para producir 17 ton. de emulsión con dos tanques de solución, lo cual se realizaba anteriormente en 240 minutos. Esta reducción de tiempo de 50 a 90 min da lugar a que se pueda realizar el lavado de los tanques de solución antes del ingreso al refrigerio, lo cual permitirá que el siguiente turno inicie las labores y pueda producir utilizando dos tanques de solución adicionales llenados entre 50% a 75% lo que corresponde a emulsión adicional entre 4.5 a 6.75 ton. dependiendo del trabajo del área de encartuchado.

4.5.2 PLC y componentes a utilizar para controlar el proceso.

Para controlar el proceso de producción de emulsión se utilizará un dispositivo compatible con la mayoría de instrumentos, en este caso elegí el S7-300, que cuenta con las siguientes homologaciones:

UL 508 (Equipos de control industrial)

CSA C22.2 N° 142 (Equipos de control de procesos)

UL 1604 (Áreas peligrosas)

CSA-213 (Áreas peligrosas)

También cuenta con aprobación para uso en áreas de clase I, división 2, grupos A,B,C,D, Tx; y áreas de clase I, zona 2, grupos IIC Tx

A) CPU (Unidad central de proceso)

La CPU que es el "cerebro" del PLC, procesa la información que recibe del exterior a través de la interfaz de entrada y de acuerdo

con el programa, activa una salida a través de la correspondiente interfaz de salida. El funcionamiento de la CPU es simple; al iniciar el ciclo, la CPU lee el estado de las entradas; a continuación ejecuta la aplicación empleando el último estado leído. Una vez completado el programa, la CPU ejecuta tareas internas de diagnóstico y comunicación. Al final del ciclo se actualizan las salidas. El tiempo de ciclo depende del tamaño del programa, del número de E/S y de la cantidad de comunicación requerida. En la FIG N° 28 se ve el ciclo de un PLC y la imagen de la CPU 315-2DP.

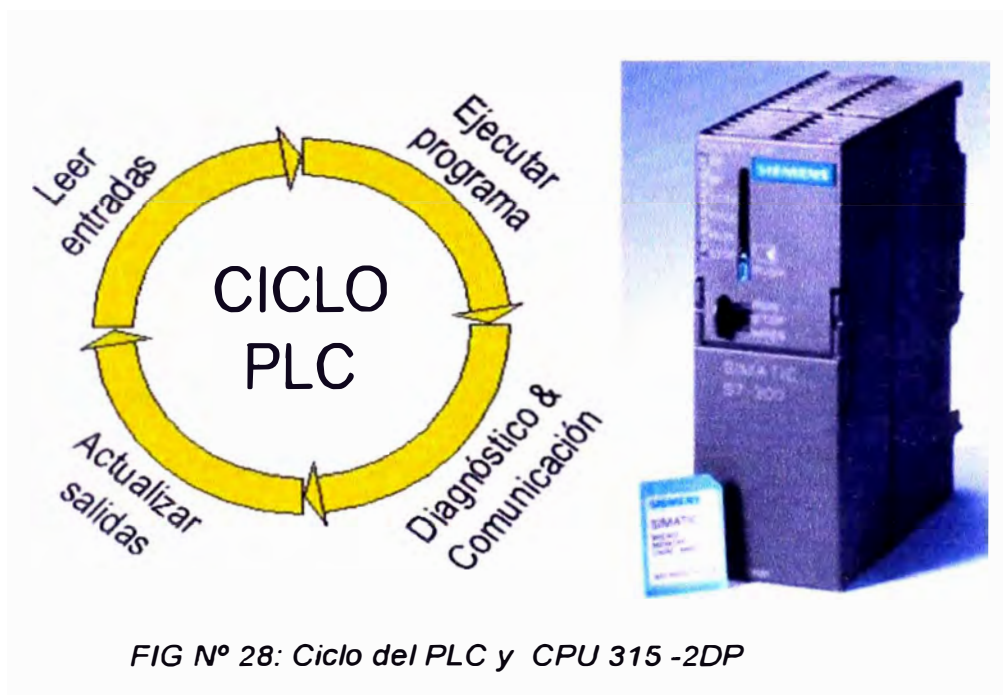


FIG N° 28: Ciclo del PLC y CPU 315 -2DP

B) Fuente de Alimentación

Es el dispositivo que suministra energía eléctrica estabilizada para el funcionamiento y procesamiento de la CPU. Por ésta razón, los módulos o fuentes de alimentación transforman la tensión de alimentación de 110/220 VAC a 24 VDC.

Las fuentes normalmente se montan a la izquierda de la CPU como se ve en la FIG N° 29.

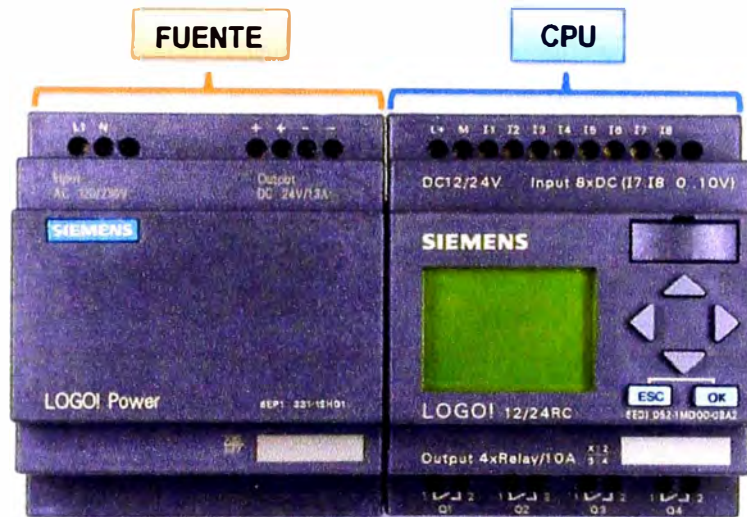


FIG N° 29. Fuente de poder y CPU del LOGO

C) Interfaz de entrada

Recibe las señales (de sensores o interruptores) procedentes del proceso a controlar ya sean de tipo analógicas o digitales.

C.1 MODULOS DE ENTRADA DIGITALES.- Los módulos de entradas digitales convierten las señales digitales externas del proceso al nivel interno del autómatas. Existen módulos para diversas tensiones continuas o altermas, se elige de acuerdo al proceso.

C.1 MODULOS DE ENTRADA ANALÓGICOS.- Estos convierten las señales analógicas del proceso de diversos rangos de voltaje o corriente como las señales de los termopares y termoresistencias en señales digitales que autómatas procesa internamente.

D) Interfaz de salida

Reparte las señales procesadas por el CPU hacia los actuadores del proceso, sean de activación analógica o digital.

D.1 MODULOS DE SALIDA DIGITALES.- Los módulos de salidas digitales convierten las señales internas del PLC en señales externas adaptadas al proceso, como señales en voltaje ya sea continuo o alterno, por ejemplo señales para activar electroválvulas, contactores, pequeños motores, lámparas, etc.

D.2 MODULOS DE SALIDA ANALÓGICOS.- Estos módulos convierte las señales digitales del PLC en señales analógicas para enviarlas al proceso. Es una herramienta indispensable para convertidores de frecuencias, regulaciones, etc. Además dispone de 2 ó 4 canales y tiene una resolución de 4 bits, con posibilidad de configuración para señales tipo tensión o corriente.

E) Dispositivo de programación

El usuario ingresa el programa a través de este dispositivo, el cual debe ser adecuado; puede ser un cargador de programa, una PC portátil o de sobremesa, o mediante un panel HMI, como los mostrados en la FIG N° 30.



FIG N° 30: Dispositivos de programación.

Los dispositivos de programación, requieren de un cable de comunicación serial que los conecte con la memoria de usuario del PLC, para poder ingresar las instrucciones, que componen al programa que realiza las acciones de control industrial; o para cargar el programa completo en caso este se haya hecho en una PC.

F) Módulo de comunicación

La mayoría de las aplicaciones hoy en día ya no pueden considerarse aplicaciones aisladas en el proceso global, más aún, es necesario supervisar y monitorear las distintas variables presentes en el proceso. Generalmente para la visualización o monitoreo de

variables en un PLC se puede optar por una pantalla de dialogo hombre-máquina o por la comunicación hacia un computador personal con software dedicado de desarrollo local o software de supervisión gráfica comercial. Cualquiera sea la alternativa elegida, cada una de ellas requiere apropiadas interfaces de comunicación para establecer la conexión entre los distintos dispositivos de campo.

Una de las alternativas es, la incorporación al PLC de módulos de comunicación individuales, para comunicación punto a punto, multi-punto o para la integración a una red de computadores.

Por ejemplo la FIG N° 31 muestra un módulo de comunicación para el sistema de bus PROFIBUS-DP.



FIG N° 31: Módulo de comunicación CP 342-5

4.6. Implementación de redes de comunicación industrial

Para tener un mejor control de la producción es necesario monitorear los parámetros del proceso constantemente, en ocasiones la jefatura desea estos valores para presentarse a reuniones de urgencia y para obtenerlos se

requiere ir a la zona del proceso donde los parámetros se recolectan mediante anotación manual. Para poder administrar estos datos en todo momento se puede enlazar el PLC de la planta con un ordenador mediante el protocolo de comunicación Ethernet como se muestra en la FIG N° 32, el cual no solo permite ver la lectura de los parámetros del proceso, sino que también permitirá guardar un registro de estos.

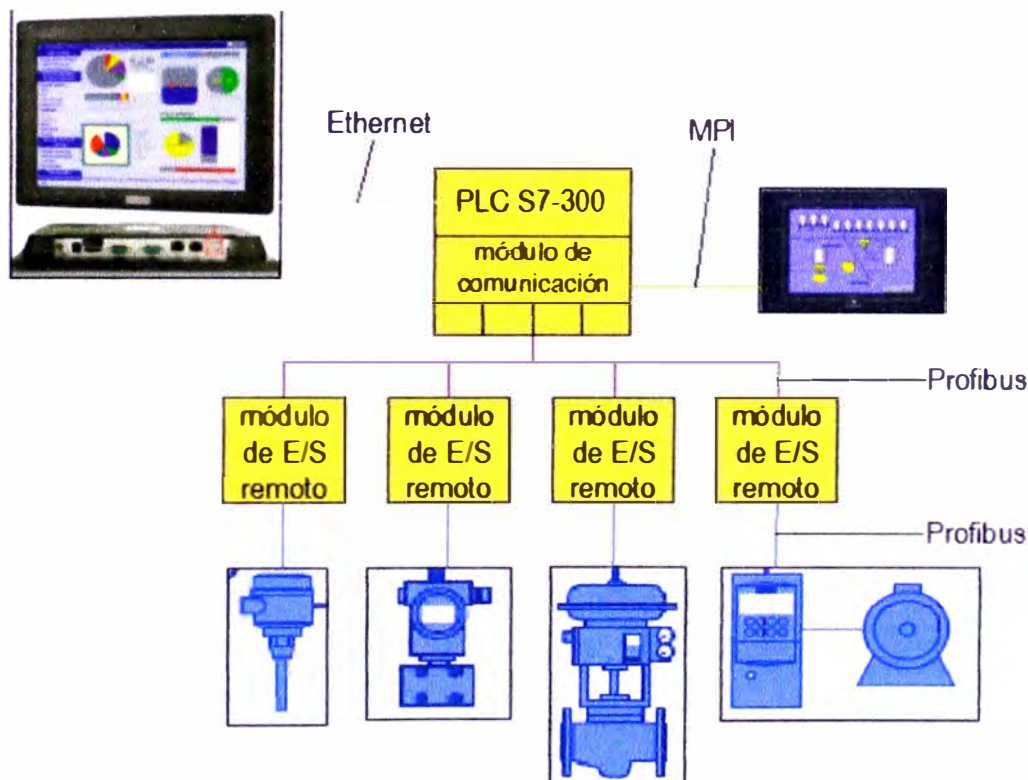


FIG N° 32: Arquitectura de comunicaciones

Para la comunicación entre dispositivos de campo y el controlador elegí el bus de campo homogéneo Profibus, el cuál gracias a su tecnología avanzada y asentada en normas internacionales se ha transformado en el líder mundial del mercado de los buses de campo. Esta tecnología se caracteriza por el uso de estándares abiertos, compatibilidad, aplicación universal, alta capacidad de ampliación y gran fiabilidad.

La comunicación se logrará mediante la instalación de los cables necesarios que soportan los diversos protocolos de los equipos, el sistema es completamente flexible e integrable, para transmitir datos sin uso de cables se puede utilizar un radio módem y antenas yagui de transmisión y recepción.

CAPITULO V

EJECUCIÓN DEL PROYECTO

5.1. Modificación de instalaciones mecánicas

La modificación de instalaciones mecánicas básicamente consiste en la fabricación de un nuevo tanque para agua e instalación de tuberías para aceites y parafinas. A continuación se muestran esquemas del tanque modificado y de sus accesorios, como también el esquema unifilar de las tuberías para aceites o parafinas.

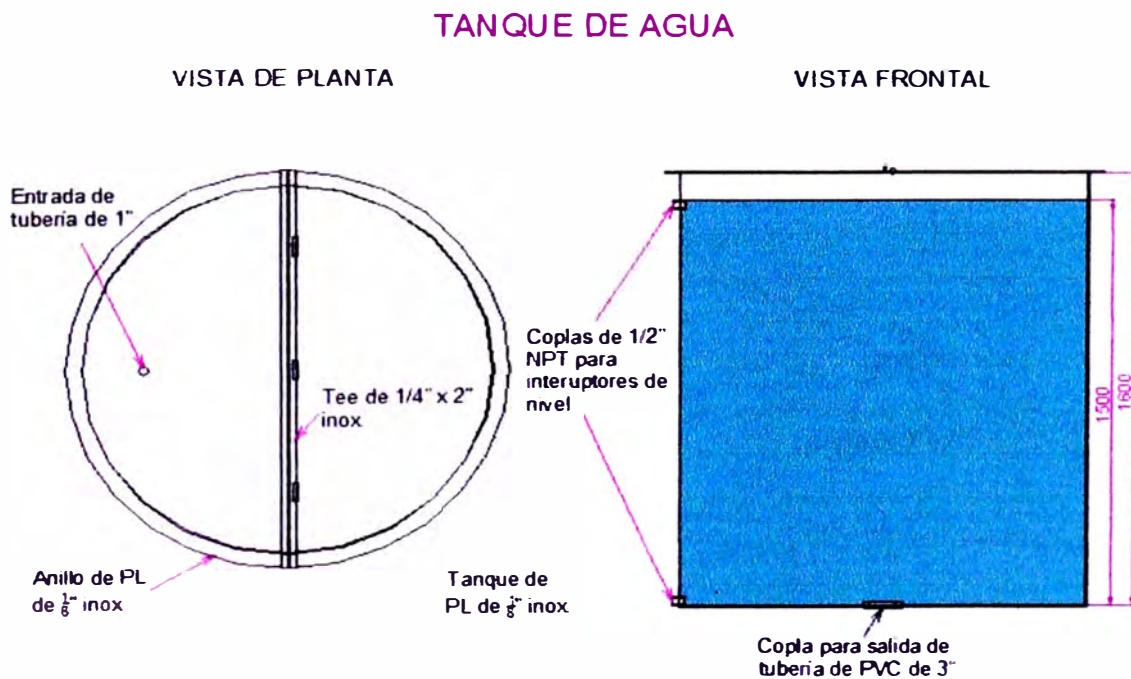


FIG N° 33: Tanque modificado para agua

SOPORTE DE TANQUE DE AGUA

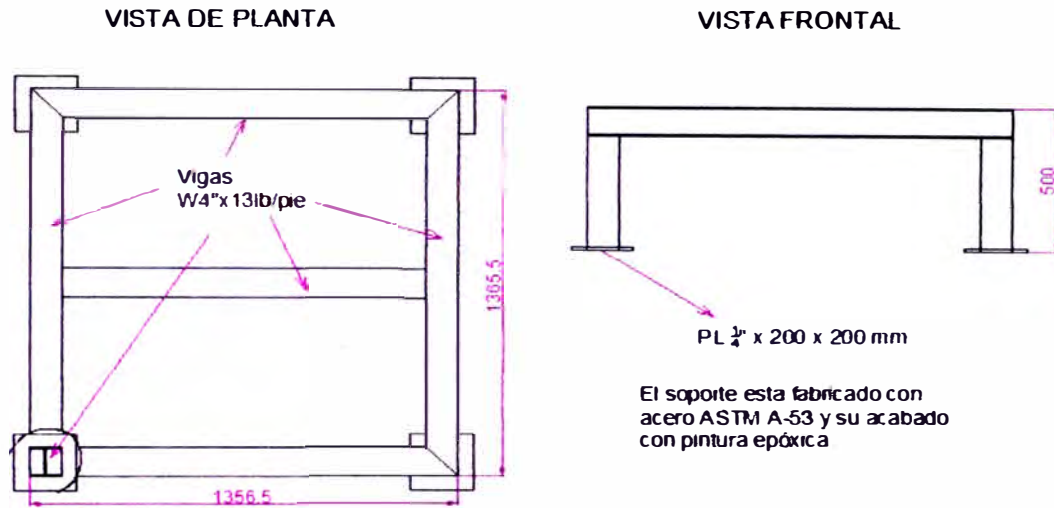


FIG N° 34: Soporte para tanque de agua

DIAGRAMA UNIFILAR DE TUBERIAS A LA DE SALIDA DEL TANQUE DE AGUA

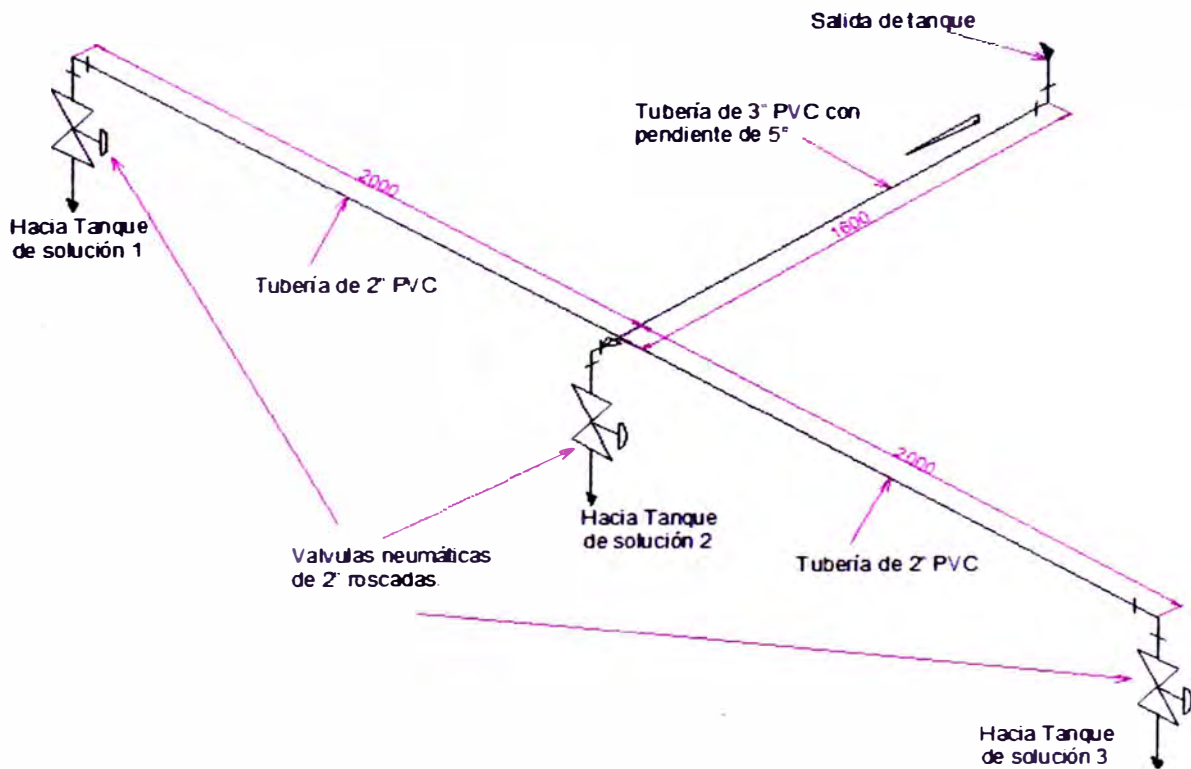


FIG N° 35: Unifilar de tuberías para agua fría

TENDIDO DE TUBERIAS DE 1" PARA ACEITE Y PARAFINA

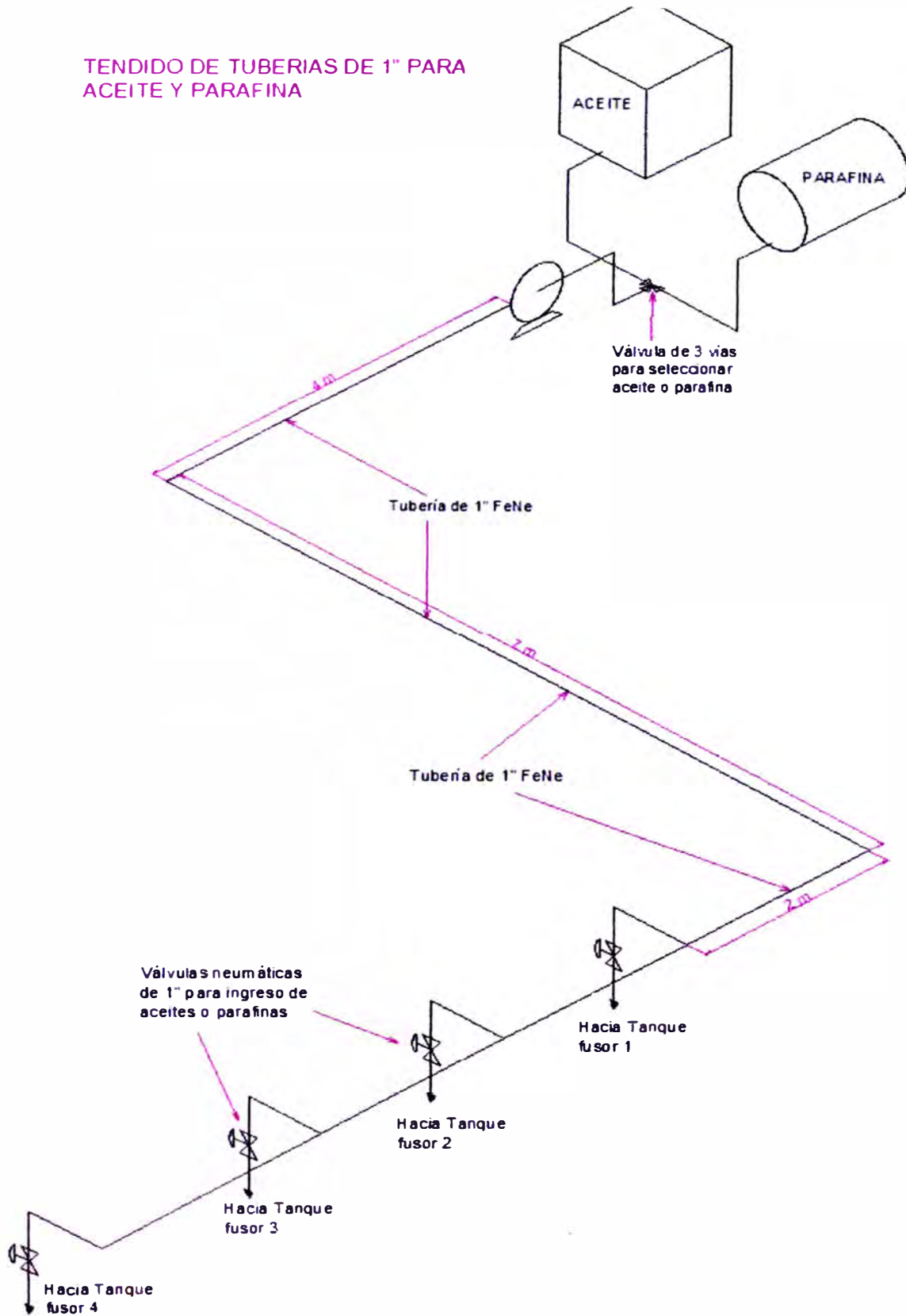
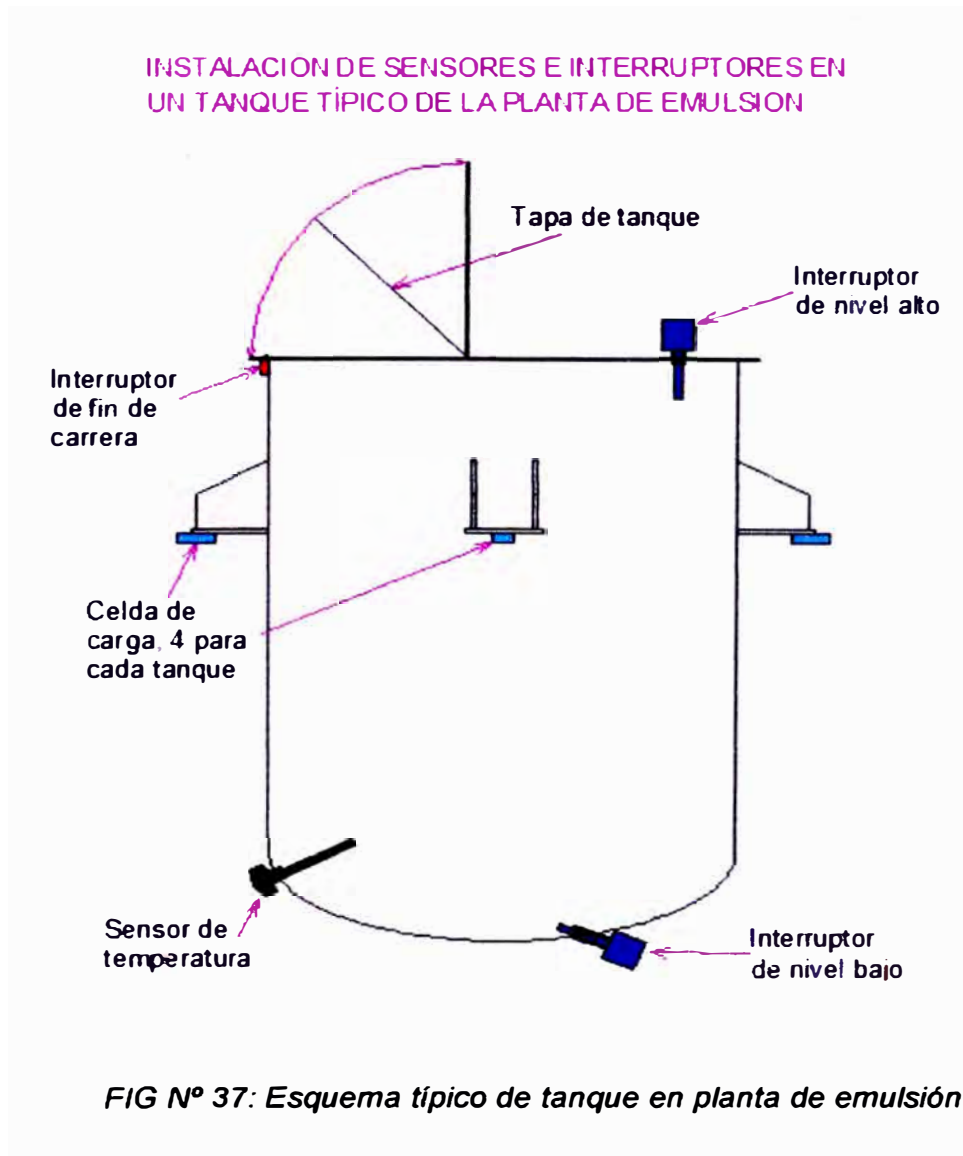


FIG Nº 36: Unifilar de tuberías para aceite o parafina

5.2. Instalación de sensores e interruptores

Para la instalación de sensores e interruptores se muestra el esquema típico de un tanque y la ubicación de los dispositivos sensores o interruptores en este.



También tenemos el esquema típico de una bomba y la ubicación de los dispositivos sensores o interruptores en la tubería de succión y descarga de esta.

INSTALACIÓN DE SENSORES E INTERRUPTORES
AL INGRESO Y SALIDA DE UNA BOMBA

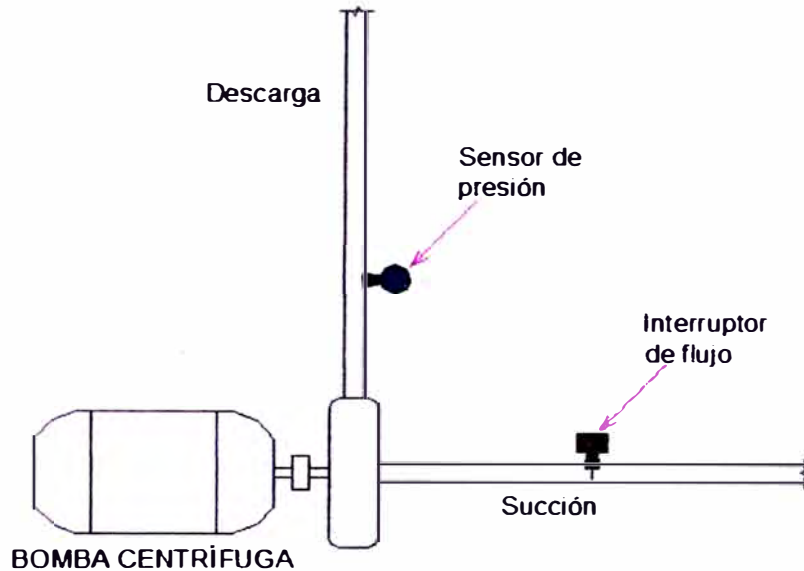


FIG N° 38: Esquema típico de la succión y descarga de una bomba

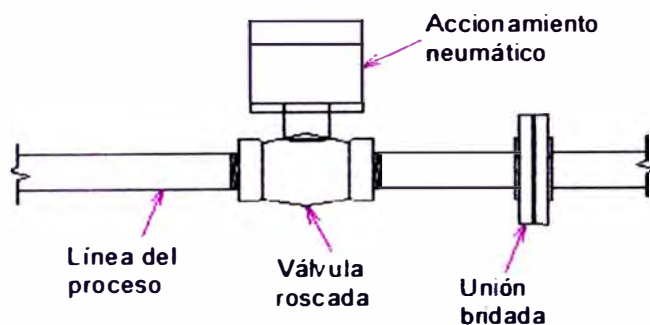
El cableado de los sensores se realiza según su ubicación en campo, en algunos casos se tendrá que cablear hacia un tablero de módulo de entradas y salidas remoto, y luego se transmitirá al tablero principal, en otros casos se cableará directamente hacia el tablero principal. El cable a utilizar en la mayoría de los casos será el cable de control multi-filar THW/THHW que cumpla el estándar ICEA S-73-532 NEMA WC57, de cualquier marca. Para ciertos sensores o interruptores, se utilizará cables UTP cat 6.

La conexión de los instrumentos, se realizará siguiendo un diagrama de conexionado, cuyo dibujo no se realiza en el presente informe. Sin embargo en el CD se incluyen catálogos y manuales para la conexión de los instrumentos.

5.3. Instalación de actuadores

Los actuadores que se instalarán son únicamente válvulas de tipo ON-OFF accionadas neumáticamente, estas válvulas son de diámetros: 3/8", 1", 1 1/2" y 2"; su forma de conexión a la línea de proceso es mediante unión roscada o bridada según las zonas en las cuales se instalará, a continuación mostramos un esquema típico de válvulas.

ESQUEMA TÍPICO DE VÁLVULA ROSCADA



ESQUEMA TÍPICO DE VÁLVULA BRIDADA

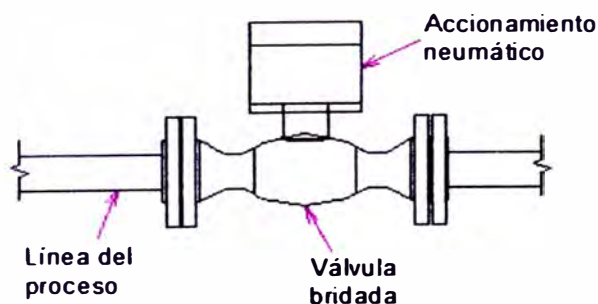


FIG N° 39: Esquema típico de instalación de válvulas

La alimentación del accionamiento neumático se realiza con aire comprimido a 45 psi mediante mangueras flexibles de diámetro 1/4" ID.

5.4. Armado de tablero de control

Previo al armado del tablero de control, se realiza un listado de las señales involucradas, luego se arma el tablero siguiendo un plano típico cuyo dibujo no se realiza en el presente informe, en este informe mostraré un esquema típico de tablero de control, con las partes generales que lo componen.

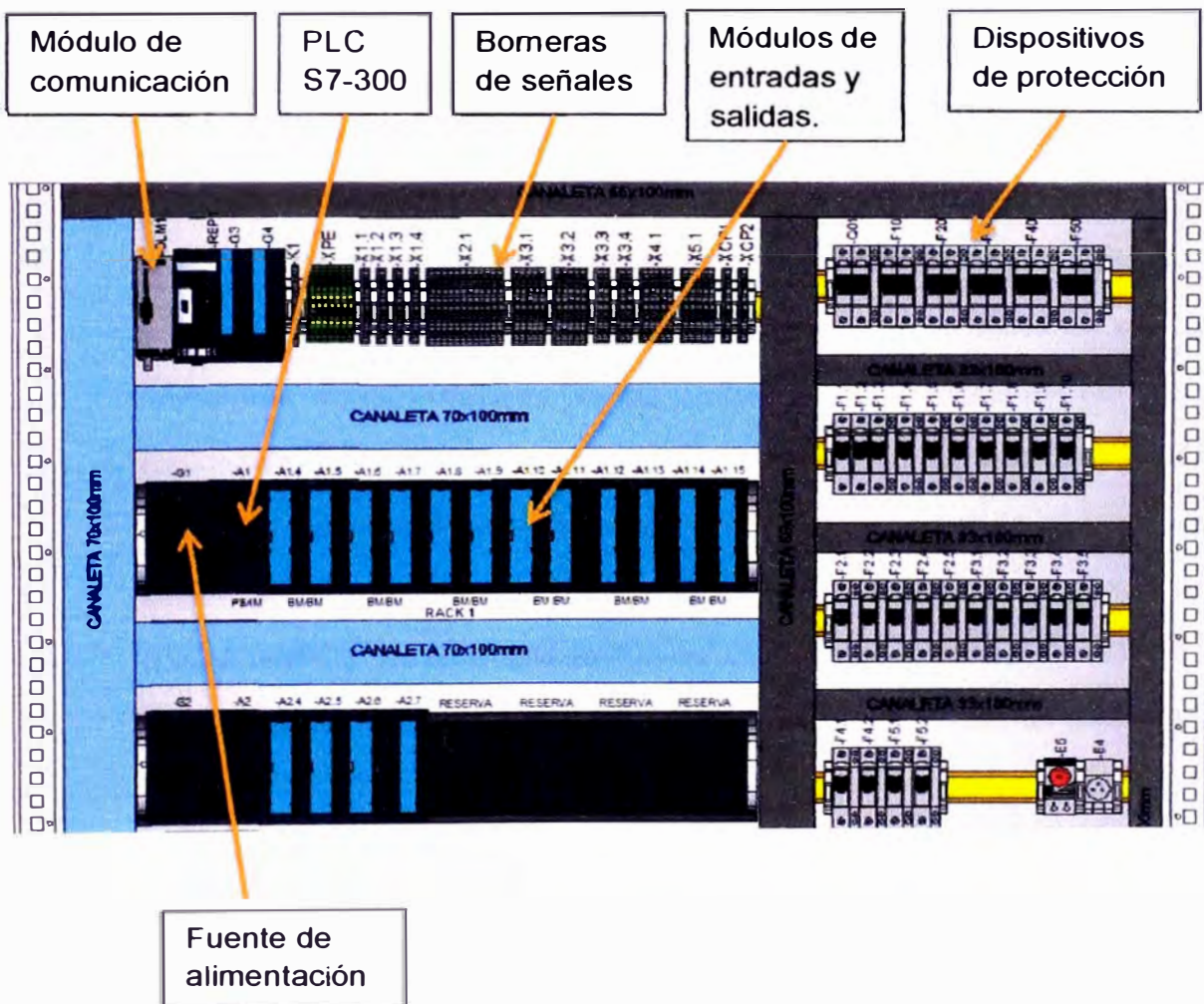


FIG N° 40: Esquema típico de tablero de control

CAPITULO VI

ESTUDIO ECONÓMICO Y FINANCIERO

6.1. Datos económicos de la empresa

El negocio de los explosivos juega un papel muy importante en la economía del país, ya que repercute de manera directa y en un porcentaje apreciable en las siguientes actividades:

Minería que es la fuente de mayores ingresos en el Perú.

Construcción, que es vital para la comunicación entre todos.

Fuerzas Armadas, indispensable para proteger la soberanía.

Es debido a esto y también al peligro que representa que la fabricación, venta y traslado de los explosivos están regulados por leyes nacionales y extranjeras, EXSA S.A. cuenta con la autorización del Ministerio del Interior a través de la Dirección de Control de Servicios de Seguridad, Control de Armas, Municiones y Explosivos de Uso Civil (DICSCAMEC), para su funcionamiento; tiene certificaciones ISO, OSHAS y BASC; está asociada a SAFEX-International, ISEE. Las acciones comunes y las acciones de inversión de la empresa se cotizan en la bolsa de valores de Lima. Para conocer el flujo financiero de la empresa en el negocio de los explosivos presentaremos diversos cuadros y al final daremos énfasis a los datos económicos de la producción de emulsión explosiva, la cual actualmente se totaliza incluyendo la producción en Tacna y Trujillo, sin embargo para el estudio económico del presente informe se tomarán solo

los datos de lo que produce la planta de Lurín que es la principal. Estos datos que mostraremos en las tablas a continuación fueron extraídos de las memorias anuales que publica la empresa en su página web.

A continuación detallamos la producción de productos para voladura de la sociedad los últimos cinco años.

TABLA N° 28: Producción de los últimos años

Tipo de Producto	Dimensión	Cantidad Anual				
		2010	2009	2008	2007	2006
Accesorios de voladura	unidades	6832428	6111000	9705200	10157645	6478835
TOTAL	unidades	6832428	6111000	9705200	10157645	6478835
Dinamitas y otros explosivos encartuchados	toneladas	18234	13600	16688	15879	14291
Emulsiones explosivas y otros agentes de voladura	toneladas	48493	42544	25274	21648	18141
TOTAL	toneladas	66727	56144	41962	37527	32432

A continuación presentamos un resumen de ganancias y pérdidas por los últimos cinco años terminados el 31 de diciembre.

TABLA N° 29: Estado de ganancias y pérdidas

Estado de Ganancias y Pérdidas (Valores en Miles de Nuevos Soles)	Cantidad Anual (Valores + y (-))				
	2010	2009	2008	2007	2006
Ventas Netas	285706	250671	250589	304793	255495
Costo de Ventas	-193051	-190313	-160395	-199781	-159093
Utilidad Bruta	92655	60358	90194	105012	96402
Gastos administrativos, de ventas, financieros, etc.	-57583	-56192	-62377	-59440	-58398
Participación de los trabajadores	-3592	-769	-5176	-4813	-4165
Impuesto a la Renta	-9697	-2076	-13974	-12997	-11245
Utilidad Neta Operaciones Continuas	21783	1321	8667	27762	22594
Utilidad Neta Operaciones Discontinuas	0	638	15975	0	
Utilidad Neta	21783	1959	24642	27762	22594

6.2. Análisis de costos unitarios de la automatización

6.2.1 Costos directos de automatización

Para obtener los costos directos se consideró la siguiente tabla:

TABLA Nº 30: (1ra) Costos Directos

COSTOS DIRECTOS							
ITP	ITS	DESCRIPCIÓN	U.M.	CANT.	VAL. PAR (Mat) US\$	VAL. PAR MO+H(US\$)	VALOR TOTAL (US\$)
1.0		INGENIERÍA CONCEPTUAL					
1.1		Planos eléctricos					6846.94
	1.1.1	Diagrama de tableros de fuerza	und	1	0.00	864.68	864.68
	1.1.2	Diagrama de tableros de control	und	1	0.00	1069.04	1069.04
	1.1.3	Diagrama de tableros de mando automático/manual	und	2	0.00	619.30	1238.60
	1.1.4	Diagrama de conex ionado	und	3	0.00	977.24	2931.72
	1.1.5	Diagrama de sistema de puesta a tierra	und	2	0.00	371.45	742.90
1.2		Planos y documentos de control					4147.09
	1.2.1	Diagrama de lazo	und	1	0.00	977.24	977.24
	1.2.2	Lista de señales	und	1	0.00	864.68	864.68
	1.2.3	Lista de instrumentos	und	1	0.00	864.68	864.68
	1.2.4	Algoritmo de programa	und	1	0.00	1069.04	1069.04
	1.2.5	Lógica de comunicaciones	und	1	0.00	371.45	371.45
1.3		Planos y documentos de ruta de canalizaciones					2819.16
	1.3.1	Listado de cables	und	1	0.00	864.68	864.68
	1.3.2	Planos de ruta de bandejas	und	1	0.00	977.24	977.24
	1.3.3	Planos de ruta de tuberías	und	1	0.00	977.24	977.24
2.0		INSTALACIONES MECÁNICAS					
2.1		Modificación de tanques					2942.44
	2.1.1	Desmontaje de tanque anterior	und	1	0.00	203.67	203.67
	2.1.2	Fabricación y montaje de tanque nuevo	und	1	2100.00	638.77	2738.77
2.2		Instalación de tuberías de PVC					189.10
	2.2.1	Tendido de tuberías de PVC de 4"	m	2	6.70	5.24	23.88
	2.2.2	Tendido de tuberías de PVC de 2 1/2"	m	8	3.60	4.34	63.52
	2.2.3	Instalación de válvulas, accesorios y fittings de PVC	gib	1	10.00	91.70	101.70
2.3		Instalación de tuberías de acero al carbono					259.43
	2.3.1	Tendido de tuberías de AC de 1 1/2"	m	10	10.50	4.33	148.28
	2.3.2	Instalación de válvulas, accesorios y fittings de AC	gib	1	20.50	90.65	111.15
3.0		INSTALACIONES ELÉCTRICAS E INSTRUMENTACIÓN					
3.1		Instalación de Tablero de control					72805.88
	3.1.1	Fabricación de tablero de control y montaje	und	1	40570.00	1924.12	42494.12
	3.1.2	Fabricación de tablero de mando manual automático y montaje	und	1	11940.00	1877.20	13817.20
	3.1.3	Fabricación de tablero de periferia para control de actuadores neumáticos	und	2	6415.00	1832.28	16494.56
3.2		Canalizaciones para instrumentación, control y mando					1780.67
	3.2.1	Tendido de Bandejas de ac. gal. c/tapa de 100 mm x 50 mm	m	30	26.00	6.94	988.32
	3.2.2	Tendido de tubería conduit IMC (NTC-169); dia 1"	m	30	15.50	4.06	586.90
	3.2.3	Tendido de tuberías conduit flexibles de diámetro 1"	m	20	6.50	3.77	205.45
3.3		Cableado de instrumentación, control y mando					10312.90
	3.3.1	Tendido de cable de instrumentación (par trenzado) 18 AWG	m	400	4.00	2.46	2585.16
	3.3.2	Tendido de cable de control multipolar (12 hilos)	m	100	16.00	2.46	1846.29
	3.3.3	Tendido de cable chaqueta azul 14 AWG	m	100	7.00	2.46	946.29
	3.3.4	Tendido de cable profibus	m	100	11.00	2.46	1346.29
	3.3.5	Tendido de cable MPI	m	200	13.00	2.46	3092.58
	3.3.6	Tendido de cable fast ethernet	m	100	2.50	2.46	496.29

TABLA N° 30: (2da) Costos Directos

COSTOS DIRECTOS							
ITP	ITS	DESCRIPCIÓN	U.M.	CANT.	VAL. PAR (Mat) US\$	VAL. PAR MO+H(US\$)	VALOR TOTAL (US\$)
3.4		Instalación de instrumentos					112804.76
	3.4.1	Montaje y conexión de interruptores de fin de carrera	und	9	50.00	38.32	794.86
	3.4.2	Montaje y conexión de interruptores de nivel	und	9	780.00	38.32	7364.86
	3.4.3	Montaje y conexión de interruptores de presión	und	9	700.00	38.32	6644.86
	3.4.4	Montaje y conexión de interruptores de temperatura	und	9	280.00	38.32	2864.86
	3.4.5	Montaje y conexión de interruptores de flujo	und	9	650.00	38.32	6194.86
	3.4.6	Montaje y conexión de sensores de fin de carrera	und	9	1765.00	38.32	16229.86
	3.4.7	Montaje y conexión de sensores de presión	und	9	430.00	38.32	4214.86
	3.4.8	Montaje y conexión de sensores de temperatura	und	9	1200.00	38.32	11144.86
	3.4.9	Montaje y conexión de sensores de flujo	und	9	6334.00	38.32	57350.86
4.0		INSTALACIONES NEUMÁTICAS E INSTRUMENTACIÓN					
4.1		Instalación de actuadores					64113.28
	4.1.1	Montaje y conexión de islote de 32 salidas de aire	und	2	1900.00	78.52	3957.03
	4.1.2	Montaje y conexión de válvulas neumáticas de 2 1/2"	und	5	5000.00	81.88	25409.38
	4.1.3	Montaje y conexión de válvulas neumáticas de 2"	und	5	1890.00	81.88	9859.38
	4.1.4	Montaje y conexión de válvulas neumáticas de 1 1/2"	und	5	1540.00	81.88	8109.38
	4.1.5	Montaje y conexión de válvulas neumáticas de 1"	und	5	1180.00	81.88	6309.38
	4.1.6	Montaje y conexión de válvulas neumáticas de 3/4"	und	5	1050.00	81.88	5659.38
	4.1.7	Montaje y conexión de válvulas neumáticas de 1/2"	und	5	880.00	81.88	4809.38
4.2		Tendido de tuberías de acero galvanizado					1343.39
	4.2.1	Tendido de tuberías de AG de 3/4"	m	120	3.50	3.60	851.81
	4.2.2	Tendido de tuberías de AG de 1/2"	m	40	2.70	3.60	251.94
	4.2.3	Instalación de válvulas, accesorios y fittings de AG	gib	1	157.00	82.65	239.65
4.3		Tendido de tubing flexible de PVC para instrumentación					764.01
	4.3.1	Tendido de tubing flexible de 1/4" OD para aire a instrumentos	m	50	8.00	3.37	568.67
	4.3.2	Instalación de accesorios para conexión de tubing 1/4" OD	gib	1	80.00	115.34	195.34
5.0		SISTEMA DE PUESTA A TIERRA					
5.1		Sistema de puesta a tierra					1121.86
	5.1.1	Tendido de cable de SPT de 4 mm2 a gabinetes	m	60	11.10	2.28	802.72
	5.1.2	Tendido de cable de SPT de 2.5 mm2 a barra electrónica	m	40	5.70	2.28	319.14
6.0		PROGRAMACIÓN DE CONTROLADORES					
6.1		Programación de controladores e interfaz HMI					19152.64
	6.1.1	Programación de controlador principal y configuración de periféricos	und	1	5000.00	1593.40	6593.40
	6.1.2	Programación de interfaz HMI	und	1	4500.00	1424.02	5924.02
	6.1.3	Programación de controladores locales	und	2	2000.00	393.46	4786.92
	6.1.4	Configuración de módulos de comunicación y remotos	und	2	800.00	124.15	1848.30
6.2		Pruebas y simulaciones					962.38
	6.2.1	Simulación de funcionamiento de programa	gib	1	0.00	252.90	252.90
	6.2.2	Pruebas de comunicación entre instrumentos de campo y controladores	gib	1	0.00	335.92	335.92
	6.2.3	Pruebas de respuesta de actuadores a programa en campo	gib	1	0.00	373.56	373.56
7.0		PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO					
7.1		Pruebas SAT					771.84
	7.1.1	Pruebas de secuencia de controles sin producto (manual)	gib	1	50.00	335.92	385.92
	7.1.2	Pruebas de secuencia de controles con producto (automático)	gib	1	50.00	335.92	385.92

El detalle de los costos unitarios por materiales, mano de obra y herramientas lo observamos en el Anexo D del presente informe. Los valores de los materiales fueron cotizados en dispositivos de diversas marcas compatibles con el protocolo de comunicación profibus, y se escogió los de mayor robustez para los procesos actuales.

6.2.2 Costos indirectos de automatización

Para obtener los costos indirectos se consideró la siguiente tabla:

TABLA N° 31: Costos Indirectos

COSTOS INDIRECTOS				
8.0	GASTOS GENERALES			
8.1	Personal Profesional, auxiliar y administrativo			25200.00
8.1.1	Superintendente de obra	mes	3	1800.00 5400.00
8.1.1	Residente de obra	mes	3	1800.00 5400.00
8.1.1	Ayudante del residente de obra	mes	3	1800.00 5400.00
8.1.1	Secretaria del Suplte. de obra	mes	3	1200.00 3600.00
8.1.1	Velador	mes	3	650.00 1950.00
8.1.1	Almacenista	mes	3	600.00 1800.00
8.1.1	Chofer	mes	3	550.00 1650.00
8.2	Comunicaciones y fletes			1400.00
8.2.1	Equipos de comunicación	gto	1	300.00 300.00
8.2.2	Fletes de accesorios	gto	1	1100.00 1100.00
8.3	Servicios			5900.00
8.3.1	Depreciación de equipos	gto	1	200.00 200.00
8.3.2	Equipos de transporte	mes	3	900.00 2700.00
8.3.3	Servicios Higienicos	mes	3	1000.00 3000.00
8.4	Personal operario adicional			41700.00
8.4.1	Capacitación al personal	und	1	300.00 300.00
8.4.2	Remuneración del nuevo grupo de personal mensual	mes	18	2300.00 41400.00

6.2.3 Planilla principal del costo total de automatización

Para obtener el costo total se consideró la siguiente tabla:

TABLA N° 32: Presupuesto de automatización

		FORMATO FIG-OP-PU				Version	V01
		PRESUPUESTO EMULSIONES				Fecha	26/09/2011
						N°	0001
						Página	01 de 04
CLIENTE		EXSA					
PROYECTO		AMPLIACIÓN DE LA PLANTA DE EMULSIÓN EXPLOSIVA Y LINEA DE ENCARTUCHADO					
PRESUP.		AUTOMATIZACIÓN DE LA LINEA DE PRODUCCIÓN DE EMULSIÓN EXPLOSIVA					
ITP	ITS	DESCRIPCIÓN					VALOR TOTAL (US\$)
COSTOS DIRECTOS							190333.01
1.0		INGENIERÍA CONCEPTUAL					13813.19
1.1		Planos eléctricos					6846.94
1.2		Planos y documentos de control					4147.09
1.3		Planos y documentos de ruta de canalizaciones					2819.16
2.0		INSTALACIONES MECÁNICAS					3390.97
2.1		Modificación de tanques					2942.44
2.2		Instalación de tuberías de PVC					189.10
2.3		Instalación de tuberías de acero al carbono					259.43
3.0		INSTALACIONES ELÉCTRICAS E INSTRUMENTACIÓN					84899.45
3.1		Instalación de Tablero de control					72805.88
3.2		Canalizaciones para instrumentación, control y mando					1780.67
3.3		Cableado de instrumentación, control y mando					10312.90
3.4		Instalación de instrumentos					112804.76
4.0		INSTALACIONES NEUMÁTICAS E INSTRUMENTACIÓN					66220.68
4.1		Instalación de actuadores					64113.28
4.2		Tendido de tuberías de acero galvanizado					1343.39
4.3		Tendido de tubing flexible de PVC para instrumentación					764.01
5.0		SISTEMA DE PUESTA A TIERRA					1121.86
5.1		Sistema de puesta a tierra					1121.86
6.0		PROGRAMACIÓN DE CONTROLADORES					20115.02
6.1		Programación de controladores e interfaz HMI					19152.64
6.2		Pruebas y simulaciones					962.38
7.0		PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO					771.84
7.1		Pruebas SAT					771.84
COSTOS INDIRECTOS							74200.00
8.0		GASTOS GENERALES					74200.00
8.1		Personal Profesional, auxiliar y administrativo					25200.00
8.2		Comunicaciones y fletes					1400.00
8.3		Servicios					5900.00
8.4		Personal operario adicional					41700.00
						SUBTOTAL (US\$)	264533.01
						UTILIDAD (US\$)	26453.30
						TOTAL (US\$)	290986.31

En esta planilla observa que el costo de automatización es US\$ 290896.31

6.3. Evaluación de inversión y tiempo de recuperación

Debido a que el presente informe solo se refiere a una parte del proyecto principal llamado: "Proyecto de Ampliación de la Planta de Emulsión y de la Línea de Encartuchado en un 200%". Realizaremos el estudio de inversión y tiempo de recuperación solo para el tema que implica la automatización de la línea de producción de emulsión explosiva, que no fue considerada en el proyecto principal y que es la detallada en el alcance del presente trabajo.

La automatización de una pequeña parte del proceso influirá significativamente en la reducción de tiempos de producción y facilitará las operaciones humanas en este proceso brindando mayor ergonomía y mayores ingresos.

La inversión en la ampliación de la planta en un 100% llega a la suma de S/. 4 000 000 proyectada para un tiempo de ejecución y pruebas de 2 años, es decir se realizarían desembolsos de S/. 500 000 trimestrales adecuándose al cronograma de pago escogido y a partir del segundo año de iniciada la ejecución del proyecto se tendría el doble de capacidad de producción es decir se duplicarían los ingresos si las dos plantas produjeran tal cual lo hacía una sola.

Si a esto le agregamos disminución de tiempos de operación, reducción de esfuerzos de operación, incremento de seguridad de operación e información de la producción en línea, no solo incrementáramos la producción sino que tendríamos personal obrero más a gusto con su trabajo, datos de producción más exactos en tiempo real y una planta que no envíe a las extranjeras en cuanto al tema de monitoreo y control se refiere.

Ya que en los estados financieros se muestran cifras que engloban tanto a las plantas de Lurín, Trujillo y Tacna, separamos los gastos y utilidades que sólo competen a la planta de Lurín, los cuales son confidenciales por lo que nos valdremos de datos muy aproximados para la sección que deseamos automatizar. Para ello nos basamos en los datos presentados anteriormente en la TABLA N° 33, de la cual sacamos valores aproximados de las cifras en soles obtenidas el 2010, que son valores de ganancia y pérdida de la Planta de emulsión en Lurín antes de su ampliación al 200%.

TABLA N° 33: Estado de ganancias y pérdidas

	Totales de la empresa el 2010 en S/. (Empresa total)	Factor de participación de emulsión explosiva	Totales en S/. (Solo Emulsión Lurín) (antes de automatización)
Ventas netas	285706000	45%	128567700
Costo de ventas	-193051000	52%	-100386520
Gastos Administrativos	-57583000	30%	-17274900
Part. Trabajadores	-3592000	7%	-251440
Sub-Total	31480000	—	10654840
Impuestos	-9697000	aprox. al monto total	-4363650
Utilidad	21783000		6291190

Del ítem 5.2.3 tengo que el valor de inversión para la automatización sería US\$ 290896.31 lo que equivale a S/. 799964.85 que es aproximadamente el 20% de la inversión en la ampliación de toda la planta en un 200%, sin embargo esta no fue considerada.

Para hacer viable el proyecto se plantea un financiamiento mediante préstamo bancario, el cual tendrá un cronograma de pago mensual con un interés al 8.5 % anual en el Scotiabank.

Se requiere que en 18 meses como máximo la automatización haya sido auto-sostenible. El banco plantea el interés mostrado a continuación en la TABLA N° 34 y el cronograma mostrado en la TABLA N° 35.

TABLA N° 34: Interes y monto total a pagar.

PRESTAMO (S/.)	INTERES ANUAL	INTERES A PAGAR EN 18 MESES	TOTAL A PAGAR
799964.85	8.50%	101995.52	901960.37

TABLA N° 35: Cronograma mensual de pagos.

CUOTAS DE PAGO EN SOLES					
N° CUOTA	FECHA PAGO	AMORTIZACION	INTERES	COMISION	TOTAL A PAGAR
==>	01/01/2012	fecha de préstamo			
1	01/02/2012	44442.49	5666.42	5.5	50114.41
2	01/03/2012	44442.49	5666.42	5.5	50114.41
3	01/04/2012	44442.49	5666.42	5.5	50114.41
4	01/05/2012	44442.49	5666.42	5.5	50114.41
5	01/06/2012	44442.49	5666.42	5.5	50114.41
6	01/07/2012	44442.49	5666.42	5.5	50114.41
7	01/08/2012	44442.49	5666.42	5.5	50114.41
8	01/09/2012	44442.49	5666.42	5.5	50114.41
9	01/10/2012	44442.49	5666.42	5.5	50114.41
10	01/11/2012	44442.49	5666.42	5.5	50114.41
11	01/12/2012	44442.49	5666.42	5.5	50114.41
12	01/01/2013	44442.49	5666.42	5.5	50114.41
13	01/02/2013	44442.49	5666.42	5.5	50114.41
14	01/03/2013	44442.49	5666.42	5.5	50114.41
15	01/04/2013	44442.49	5666.42	5.5	50114.41
16	01/05/2013	44442.49	5666.42	5.5	50114.41
17	01/06/2013	44442.49	5666.42	5.5	50114.41
18	01/07/2013	44442.49	5666.42	5.5	50114.41
TOTAL A PAGAR =					902059.37

De acuerdo a la TABLA N° 33, la utilidad anual del 2010 fue de S/. 6291190 sólo por la planta de emulsión de Lurín. Considerando que la producción de ese año tuvo un promedio de 34.22 ton. por turno, y que con la automatización se llega a producir 34.22 ton. + 5.63 ton. = 39.85 ton. por turno (el valor 5.63 es promedio entre 4.5 ton. y 6.45 ton. que es lo adicional que se puede producir.), lo que refleja un incremento de 16 % de emulsión y que proporcionalmente se traduce en S/. 1006590.4 anuales.

A su vez si las ventas se mantienen en la misma proporción cada mes, la utilidad mensual sería = $1006590.4 / 12 = S/. 83882.5$.

Con base en estos datos y considerando que el proyecto de implementación de la automatización tomará 3 meses realizamos el cuadro de flujo de inversión y ventas mostrado en la TABLA N° 36.

TABLA N° 36 Cuadro de flujos de pagos y utilidades

	Tiempo	Gastos por automatización	Gastos por mantenimiento	Pago al banco	Utilidad excedente	Balance mensual	Acumulado
proyecto	oct	299964.8					0
proyecto	nov	350000		50114.41		-50114.41	-50114.41
proyecto	dic	150000		50114.41		-50114.41	-100228.82
puesta en marcha	ene		9500	50114.41	83882.5	24268.09	-75960.73
operación	feb		9500	50114.41	83882.5	24268.09	-51692.64
operación	mar		9500	50114.41	83882.5	24268.09	-27424.55
operación	abr		9500	50114.41	83882.5	24268.09	-3156.46
operación	may		9500	50114.41	83882.5	24268.09	21111.63
operación	jun		9500	50114.41	83882.5	24268.09	45379.72
operación	jul		9500	50114.41	83882.5	24268.09	69647.81
operación	ago		15000	50114.41	83882.5	18768.09	88415.9
operación	sep		9500	50114.41	83882.5	24268.09	112683.99
operación	oct		9500	50114.41	83882.5	24268.09	136952.08
operación	nov		9500	50114.41	83882.5	24268.09	161220.17
operación	dic		9500	50114.41	83882.5	24268.09	185488.26
operación	ene		15000	50114.41	83882.5	18768.09	204256.35
operación	feb		9500	50114.41	83882.5	24268.09	228524.44
operación	mar		9500	50114.41	83882.5	24268.09	252792.53
operación	abr		9500	50114.41	83882.5	24268.09	277060.62
operación	may		9500		83882.5	74382.5	351443.12
operación	jun		9500		83882.5	74382.5	425825.62
operación	jul		9500		83882.5	74382.5	500208.12
operación	ago		15000		83882.5	68882.5	569090.62

CONCLUSIONES

Se ha implementado un sistema de control secuencial para automatizar el proceso de producción de la emulsión, mediante el uso de un controlador lógico programable y con la instalación de sensores y actuadores.

El tiempo de producción de 17.11 ton. de emulsión explosiva se redujo en un turno, de 240 min. a 190 min. lo que representa una reducción de tiempo en 21% que está dentro del rango del objetivo.

Gracias a reducir el tiempo de producción los operadores cuentan con minutos para realizar trabajos de preparación de equipos para el siguiente bloque de producción lo que a su vez permite incrementar la producción diaria.

Diariamente la producción antes de la automatización llegaba a un promedio de 34.22 ton. y con la automatización se logra incrementar 5.63 ton. como promedio, lo que equivale a 16.4%.

En la actualidad con el avance vertiginoso de la tecnología la reducción de costos de instalación de instrumentos es considerable, ya que se utilizan protocolos de comunicación que permiten transmitir datos con confiabilidad y utilizando una menor cantidad de cableado y de menor calibre.

RECOMENDACIONES

Las empresas pequeñas de origen nacional con miras a expandirse deben incluir en su equipo necesariamente un staff de profesionales que estén actualizados con el avance de la tecnología e invertir en un centro de desarrollo de innovación de procesos y servicios.

Al preparar un proyecto ya sea de automatización, electrónico o de telecomunicaciones los profesionales debemos tener presente que es nuestra obligación elegir equipos que produzcan la menor contaminación electromagnética posible.

BIBLIOGRAFIA

Ayudantía Sistema de Explosivos – UTEM Universidad Tecnológica Metropolitana – Ingeniería de Prevención de riesgos al medio ambiente. – Carlos García Pacheco.

América Latina Frente al Reto de la Competitividad: Crecimiento con Innovación – René Villareal.

Bolsa de Valores de Lima. 1987-2000. Vademecum Bursátil. Varios números.

Control Automático 1 – UNQ Universidad Nacional de Quilmes – Automatización y Control – Julio Braslavsky.

Control Automático: Evolución Histórica - Curso de Verano de Control de Procesos: De la teoría a la práctica - Dpto. de Informática y Automática – UNED - Sebastián Dormido Bencomo - Julio, 1995.

Directivo del Capítulo de Ingeniería Electrónica 2010/2011 - Consejo Departamental de Lima - Colegio de Ingenieros del Perú - Humberto Chong R. - Ingeniero Electrónico C.I.P 28801

El Poder Económico en el Perú - Tomo III - Lima - Carlos Malpica - 1992.

Estrategias del Poder: Grupos económicos en el Perú – Enrique Vásquez – 2002.

Evolutions in Automatic Control - Journal of Dynamic Systems - Measurement and Control. ASME Transactions - Auslander D.E. - Marzo, 1969.

**Explosives Engineering – New York: Wiley VCH - Universidad de los Andes -
Facultad de Ingeniería Departamento de Vías Geotecnia – Paul W. Cooper – 1996.**

<http://www.exsa.com.pe/informacion-financiera/>

<http://automata.cps.unizar.es/Historia/Webs/IntroduccionI.htm>

Las 5389 Empresas Líderes – Lima - Editorial Síntesis – Boris Romero - 1998.

**Memorias Anuales y Nctas a los Estados Financieros Consolidados – Exsa S.A.
2003-2010.**

**Página Web de la Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Córdoba –
Sistemas inteligentes – Ing. Industrial.**

The History of The Machine. Sigvard Strandh: Bracken Books.1989.

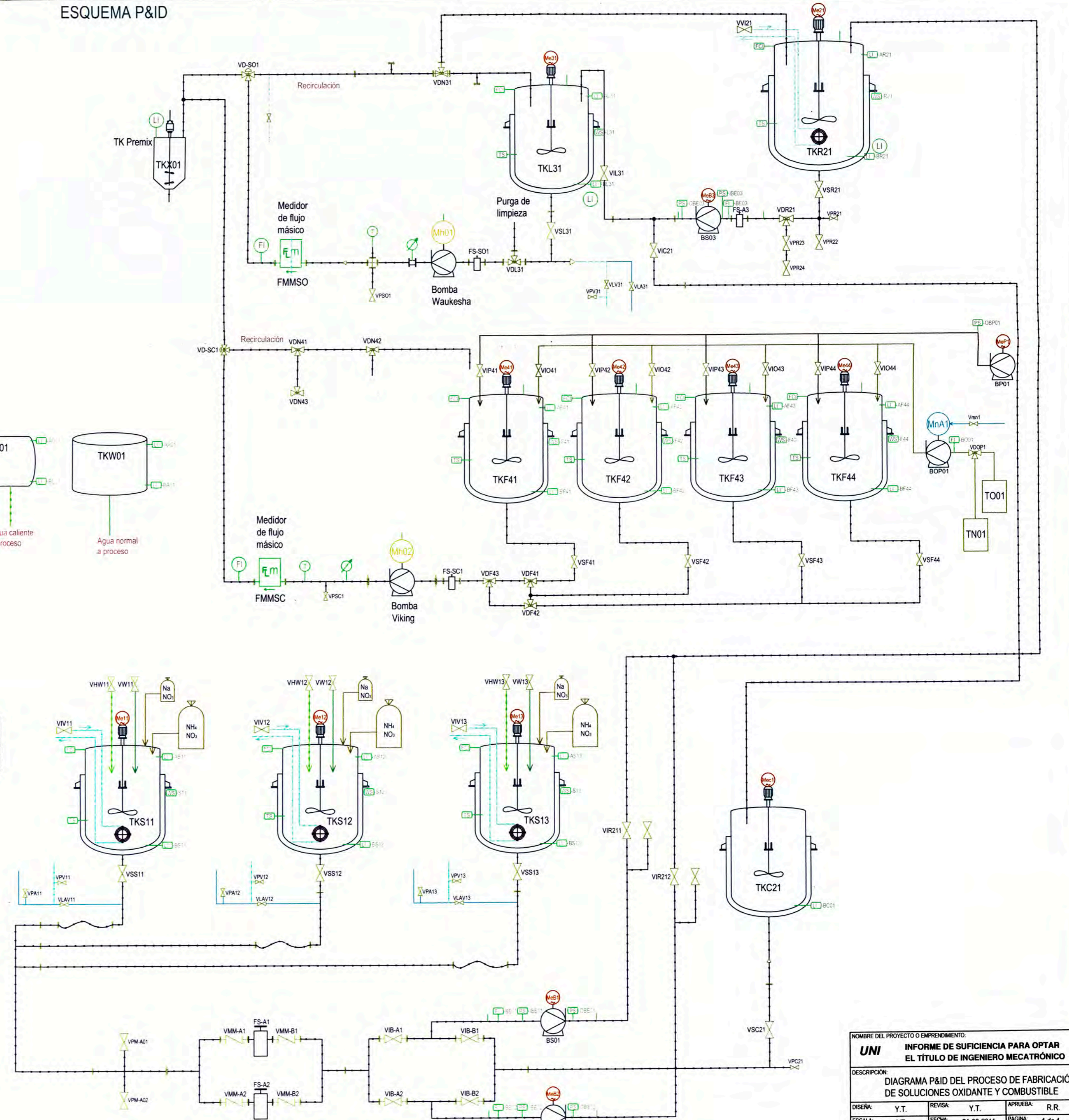
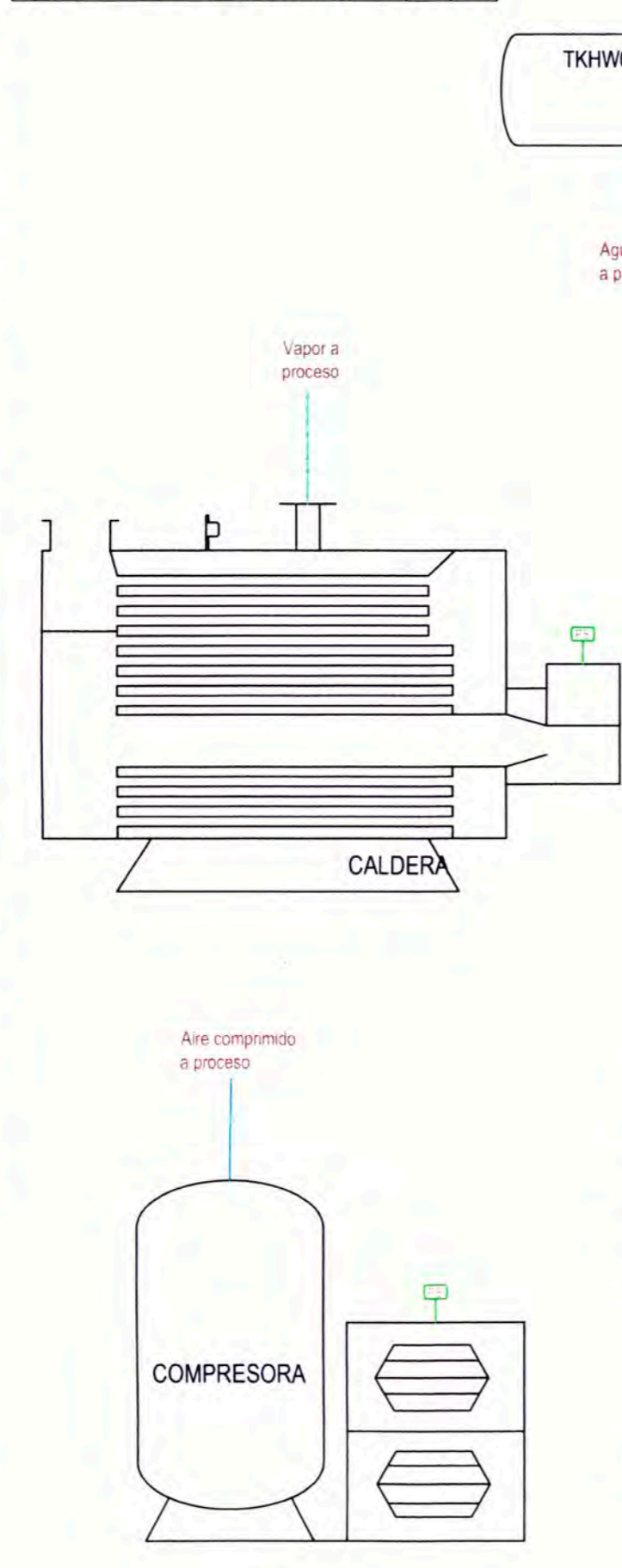
PLANO Y CRONOGRAMA

ESQUEMA P&ID

IT	DESCRIPCIÓN DE ACTUADORES	TAG EN PID	TAG
1	Valvula de 2", on-off, mando neumático, para ingreso de agua a tanque de solución 1	VI	W11
2	Valvula de 2", on-off, mando neumático, para ingreso de agua a tanque de solución 2	VI	W12
3	Valvula de 2", on-off, mando neumático, para ingreso de agua a tanque de solución 3	VI	W13
4	Valvula de 1 1/4", on-off, mando neumático, para ingreso de agua caliente a tanque de solución 1	VI	HW11
5	Valvula de 1 1/4", on-off, mando neumático, para ingreso de agua caliente a tanque de solución 2	VI	HW12
6	Valvula de 1 1/4", on-off, mando neumático, para ingreso de agua caliente a tanque de solución 3	VI	HW13
7	Valvula de 1 1/2", on-off, mando neumático, para ingreso de vapor a tanque de solución 1	VI	V11
8	Valvula de 1 1/2", on-off, mando neumático, para ingreso de vapor a tanque de solución 2	VI	V12
9	Valvula de 1 1/2", on-off, mando neumático, para ingreso de vapor a tanque de solución 3	VI	V13
10	Valvula de 2", on-off, mando neumático, para salida de producto de tanque de solución 1	VS	S11
11	Valvula de 2", on-off, mando neumático, para salida de producto de tanque de solución 2	VS	S12
12	Valvula de 2", on-off, mando neumático, para salida de producto de tanque de solución 3	VS	S13
13	Valvula de 2", on-off, mando neumático, para ingreso de producto a bomba de solución 1	VI	B-A1
14	Valvula de 2", on-off, mando neumático, para ingreso de producto a bomba de solución 2	VI	B-A2
15	Valvula de 2", on-off, mando neumático, para recirculación de producto a bomba de solución 1	VI	B-B1
16	Valvula de 2", on-off, mando neumático, para recirculación de producto a bomba de solución 2	VI	B-B2
17	Valvula de 2", on-off, mando neumático, para ingreso 1 de producto a tanque de recalentamiento 1	VI	R211
18	Valvula de 2", on-off, mando neumático, para ingreso 2 de producto a tanque de recalentamiento 1	VI	R212
19	Valvula de 1 1/2", on-off, mando neumático, para ingreso de vapor a tanque de recalentamiento 1	VI	V21
20	Valvula de 2", on-off, mando neumático, para salida de producto de tanque de recalentamiento 1	VS	R21
21	Valvula de 2", para salida de producto de tanque precapa	VS	C21
22	Valvula de 2", para ingreso de producto a tanque precapa	VI	C21
23	Valvula de 2", on-off, mando neumático, para ingreso de producto a tanque de solución oxidante 1	VI	L31
24	Valvula de 1 1/2", on-off, mando neumático, para ingreso de vapor a tanque de solución oxidante 1	VI	V31
25	Valvula de 2", on-off, mando neumático, para salida de producto de tanque de solución oxidante 1	VS	L31
26	Valvula de 1", on-off, mando neumático, para ingreso de petróleo a tanque fusor 1	VI	P41
27	Valvula de 1", on-off, mando neumático, para ingreso de petróleo a tanque fusor 2	VI	P42
28	Valvula de 1", on-off, mando neumático, para ingreso de petróleo a tanque fusor 3	VI	P43
29	Valvula de 1", on-off, mando neumático, para ingreso de petróleo a tanque fusor 4	VI	P44
30	Valvula de 1", on-off, mando neumático, para ingreso de aceite a tanque fusor 1	VI	O41
31	Valvula de 1", on-off, mando neumático, para ingreso de aceite a tanque fusor 2	VI	O42
32	Valvula de 1", on-off, mando neumático, para ingreso de aceite a tanque fusor 3	VI	O43
33	Valvula de 1", on-off, mando neumático, para ingreso de aceite a tanque fusor 4	VI	O44
34	Valvula de 1 1/2", on-off, mando neumático, para ingreso de vapor a tanque fusor 1	VI	V41
35	Valvula de 1 1/2", on-off, mando neumático, para ingreso de vapor a tanque fusor 2	VI	V42
36	Valvula de 1 1/2", on-off, mando neumático, para ingreso de vapor a tanque fusor 3	VI	V43
37	Valvula de 1 1/2", on-off, mando neumático, para ingreso de vapor a tanque fusor 4	VI	V44
38	Valvula de 1 1/2", on-off, mando neumático, para salida de producto de tanque fusor 1	VS	F41
39	Valvula de 1 1/2", on-off, mando neumático, para salida de producto de tanque fusor 2	VS	F42
40	Valvula de 1 1/2", on-off, mando neumático, para salida de producto de tanque fusor 3	VS	F43
41	Valvula de 1 1/2", on-off, mando neumático, para salida de producto de tanque fusor 4	VS	F44
42	Valvula de 1 1/2", de tres vas, mando neumático, para ingreso a bomba neumática de aceite o parafina	VI	BOPO1
43	Valvula de 3/8", para ingreso de aire a bomba neumática	V	mn1
44	Isolote de 32 electroválvulas para dejar pasar aire a presión hacia 32 actuadores neumáticos	IS	O1
45	Isolote de 32 electroválvulas para dejar pasar aire a presión hacia 16 actuadores neumáticos	IS	O2
46	PLC de control de apertura y cerradura de electroválvulas de isolotes	CAC	O1

IT	DESCRIPCIÓN DE SENSORES O INTERRUPTORES	TAG EN PID	COD.	TAG
28	Interruptor de Nivel Alto de Tanque Solución 1	LI	AS11	
29	Interruptor de Nivel Alto de Tanque Solución 2	LI	AS12	
30	Interruptor de Nivel Alto de Tanque Solución 3	LI	AS13	
31	Interruptor de Nivel Alto de Tanque de Recalentamiento 1	LI	AR21	
32	Interruptor de Nivel Alto de Tanque de Solución Oxidante 1	LI	AL31	
33	Interruptor de Nivel Alto de Tanque Fusor 1	LI	AF41	
34	Interruptor de Nivel Alto de Tanque Fusor 2	LI	AF42	
35	Interruptor de Nivel Alto de Tanque Fusor 3	LI	AF43	
36	Interruptor de Nivel Alto de Tanque Fusor 4	LI	AF44	
37	Interruptor de Nivel Bajo de Tanque Solución 1	LI	BS11	
38	Interruptor de Nivel Bajo de Tanque Solución 2	LI	BS12	
39	Interruptor de Nivel Bajo de Tanque Solución 3	LI	BS13	
40	Interruptor de Nivel Bajo de Tanque de Recalentamiento 1	LI	BR21	
41	Interruptor de Nivel Bajo de Tanque de Solución Oxidante 1	LI	BL31	
42	Interruptor de Nivel Bajo de Tanque Fusor 1	LI	BF41	
43	Interruptor de Nivel Bajo de Tanque Fusor 2	LI	BF42	
44	Interruptor de Nivel Bajo de Tanque Fusor 3	LI	BF43	
45	Interruptor de Nivel Bajo de Tanque Fusor 4	LI	BF44	
46	Interruptor de Nivel Alto de Tanque de Agua	LI	AO1	
47	Interruptor de Nivel Bajo de Tanque de Agua	LI	AO1	
48	Interruptor de Nivel Alto de Tanque de Agua Caliente	LI	AC01	
49	Interruptor de Nivel Bajo de Tanque de Agua Caliente	LI	BC01	
50	Interruptor de Nivel Alto de Tanque de Petróleo	LI	AP01	
51	Interruptor de Nivel Bajo de Tanque de Petróleo	LI	BP01	
52	Interruptor de Nivel Bajo de Tanque Precapa	LI	BC01	
53	Interruptor de flujo hacia bomba de emulsión 1	FI	BE01	
54	Interruptor de flujo hacia bomba de emulsión 2	FI	BE02	
55	Interruptor de flujo hacia bomba de emulsión 3	FI	BE03	
56	Interruptor de flujo hacia bomba de petróleo	FI	BP01	
57	Interruptor de flujo hacia bomba de aceite	FI	BO01	
58	Sensor de Presión en la succión de la bomba de emulsión 1	PS	IBE01	
59	Sensor de Presión en la succión de la bomba de emulsión 2	PS	IBE02	
60	Sensor de Presión en la succión de la bomba de emulsión 3	PS	IBE03	
61	Sensor de Presión en la salida de la bomba de emulsión 1	PS	OBE01	
62	Sensor de Presión en la salida de la bomba de emulsión 2	PS	OBE02	
63	Sensor de Presión en la salida de la bomba de emulsión 3	PS	OBE03	
64	Sensor de Presión en la línea principal de aire	PS	AO1	
65	Sensor de Presión en el manifold de vapor	PS	VO1	
66	Sensor de Presión en la salida de la bomba de petróleo	PS	OBPO1	
67	Sensor de Presión en la salida de la bomba de agua caliente	PS	OBO01	

	Interruptor de peso
	Sensor de presión
	Interruptor de temperatura
	Sensor de temperatura
	Interruptor de nivel
	Sensor de nivel
	Interruptor de flujo
	Sensor de flujo
	Interruptor de fin de cámara
	Sensor de velocidad



ANEXO A**VOCABULARIO EN MANEJO DE EXPLOSIVOS**

Explosivos: Este nombre se aplica a toda sustancia capaz de explotar.

Sustancia explosiva: Es la mezcla de especies químicas cuya combustión o descomposición origina un brusco desprendimiento de la energía, acumulada en el sistema químico que la constituye.

Combustión: Fenómeno en el que la sustancia explosiva, como combustible, se combina con el oxígeno del aire, como comburente, originando calor y desprendimiento súbito de gases.

Comburente: se llama así a un cuerpo que, por combinación con otro, produce la combustión de este último. El oxígeno es comburente pero no combustible.

Deflagración: Fenómeno de combustión intramolecular (dentro de cada molécula) o intermolecular (entre dos o más moléculas de distinta clase del sistema químico) sin participación del oxígeno del aire ni de otro comburente exterior. La deflagración arde rápidamente con llama y sin explosión.

Detonación: Fenómeno de combustión interna o intramolecular que se propaga por medio de un frente de onda de choque a alta velocidad.

Implosión: la implosión es todo lo contrario a la explosión. Se produce cuando la presión externa de la atmósfera es más alta que la presión interna.

(O/W) Oil in Water.

(W/O) Water in Oil

ANEXO B

ACCESORIOS PARA INICIAR LA DETONACIÓN EN LAS VOLADURAS

MECHAS PARA MINAS.- Consiste en un cordón compuesto por un núcleo de pólvora negra, con un tiempo de combustión conocido, cubierto por una serie de tejidos y una capa de plástico.

DETONADOR A MECHA.- consiste en una capsula de aluminio que contiene una carga explosiva, compuesta por una carga primaria, una secundaria y un mixto de ignición.

CORDÓN DETONANTE: es un cordón formado por un núcleo central de explosivo (PETN) recubierto por una serie de fibras sintéticas y una cubierta exterior de plástico, que forman en conjunto un cordón flexible, resistente a la tracción e impemeable.

DETONADOR ELÉCTRICO. Es un sistema de iniciación eléctrico capaz de convertir un impulso eléctrico en una detonación en un tiempo determinado.

SISTEMA DE INICIACIÓN NO ELECTRICO: Está compuesto por un detonador de un tiempo predeterminado y un tubo de un largo suficiente para conectar las diferentes líneas de iniciación.

ANEXO C

AUTOMATAS PROGRAMABLES

A) Autómatas finitos

Un autómata finito es una quintupla $(Q, \Sigma, q_0, \delta, F)$ donde:

- Q es un conjunto finito de estados;
- Σ es un alfabeto finito;
- $q_0 \in Q$ es el estado inicial;
- $\delta: Q \times \Sigma \rightarrow Q$ es una función de transición;
- $F \subseteq Q$ es un conjunto de estados finales o de aceptación.

Este autómata finito está definido sobre el alfabeto $\Sigma = \{0,1\}$; posee dos estados s_1 y s_2 , y sus transiciones como se ve en la FIG A son $\delta(s_1,0)=s_2$, $\delta(s_1,1)=s_1$, $\delta(s_2,0)=s_1$ y $\delta(s_2,1)=s_2$. Su estado inicial es s_1 , que es también su único estado final. El lenguaje regular que reconoce puede expresarse mediante la expresión regular $(00 \mid 11 \mid (01 \mid 10) (01 \mid 10))$.

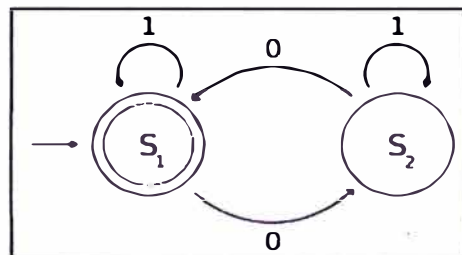


FIG A: Esquema de los estados y transiciones

B) Autómatas a Pila

Formalmente, un autómata con pila puede ser descrito como una séptupla $M = (S, \Sigma, \Gamma, \delta, s, Z, F)$ donde:

- Σ y Γ son alfabetos de entrada, de la cadena y de la pila
- S es un conjunto de estados;
- $\delta : S \times (\Sigma \cup \{\epsilon\}) \times \Gamma \rightarrow \mathcal{P}(S \times \Gamma^*)$ la función
- $s \in S$ es el estado inicial;
- $Z \in \Gamma$ es el símbolo inicial de la pila;
- $F \subseteq S$ es un conjunto de estados de aceptación o finales.

La interpretación de:

$$\delta(s, a, Z) = \{(s_1, \gamma_1), (s_2, \gamma_2), \dots, (s_n, \gamma_n)\},$$

con: $s, p_i \in Q, a \in (\Sigma \cup \{\epsilon\}), \gamma_i \in \Gamma$ es la siguiente:

- Cuando el estado del autómata es 's', el símbolo que la cabeza lectora está inspeccionando en ese momento es 'a' y en la cima de la pila nos encontramos el símbolo Z, se realizan las siguientes acciones:
- Si $a \in \Sigma$, es decir no es la palabra vacía, se avanza una posición la cabeza lectora para inspeccionar el siguiente símbolo.
 - Se elimina el símbolo Z de la pila del autómata.
 - Se selecciona un par (p_i, γ_i) de entre los existentes en la definición de $\delta(s, A, Z)$, la función de transición del autómata.
 - Se apila la cadena $\gamma_i = A_1 A_2 \dots A_k$ en la pila del autómata, quedando el símbolo A_1 en la cima de la pila.
 - Se cambia el control del autómata al estado p_i .

Un esquema del autómata a pila es la FIG B

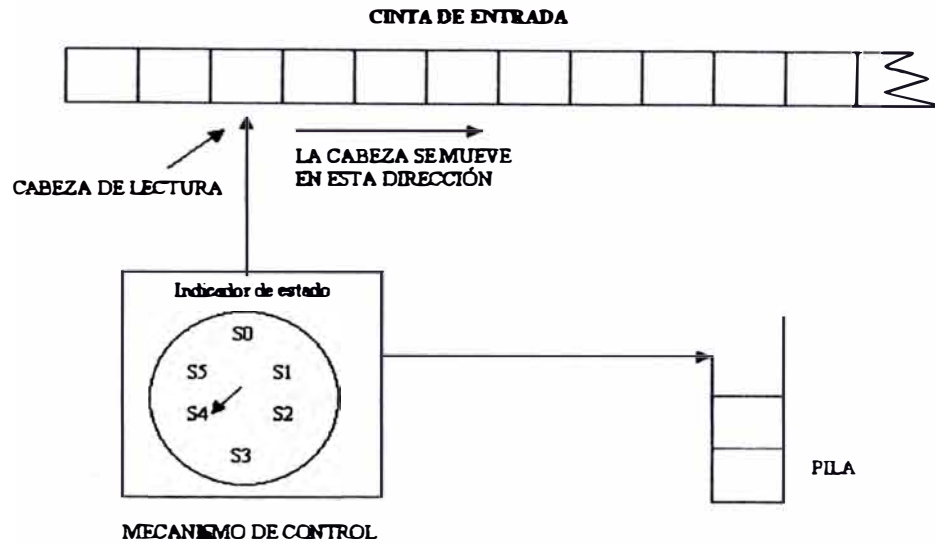


FIG B: Esquema de los estados y transiciones

Al igual que un autómata finito un autómata de pila cuenta con un flujo de entrada y un flujo de control que puede encontrarse en uno de entre un número finito de estados. Uno de estos estados se designa como el inicial y por lo menos un estado es de aceptación. La principal diferencia es que los autómatas de pila cuentan con una pila en donde pueden almacenar información para recuperarla más tarde. Los símbolos que pueden almacenarse en esta pila se conocen como símbolos de pila de la máquina, constituyen un conjunto finito que puede incluir algunos símbolos definiendo el alfabeto de la máquina y quizá algunos símbolos adicionales que se utilizan como marcas internas. Si una máquina inserta un símbolo especial en la pila antes de efectuar algún otro cálculo, entonces ese símbolo en la cima de la pila puede usarse como indicador de pila vacía para cálculos posteriores, dicho símbolo es #.

C) Máquina de Turing

Una máquina de Turing (MT) es un modelo computacional que realiza una lectura/escritura de manera automática sobre una entrada llamada cinta, generando una salida en esta misma.

Este modelo está formado por un alfabeto de entrada y uno de salida, un símbolo especial llamado blanco (normalmente b , Δ o 0), un conjunto de estados finitos y un conjunto de transiciones entre dichos estados. Su funcionamiento se basa en una función de transición, que recibe un estado inicial y una cadena de caracteres (la cinta, la cual puede ser infinita) pertenecientes al alfabeto de entrada. La máquina va leyendo una celda de la cinta en cada paso, borrando el símbolo en el que se encuentra posicionado su cabezal y escribiendo un nuevo símbolo perteneciente al alfabeto de salida, para luego desplazar el cabezal a la izquierda o a la derecha (solo una celda a la vez). Esto se repite según se indique en la función de transición, para finalmente detenerse en un estado final o de aceptación, representando así la salida.

Una máquina de Turing con una sola cinta puede definirse formalmente como una septupla:

$$M = (Q, \Sigma, \Gamma, s, b, F, \delta),$$

Dónde:

- Q es un conjunto finito de estados.
- Σ es un conjunto finito de símbolos distinto del espacio en blanco, denominado alfabeto de máquina o de entrada.
- Γ es un conjunto finito de símbolos de cinta, denominado alfabeto de cinta ($\Sigma \subseteq \Gamma$).

- $s \in Q$ es el estado inicial.
- $b \in \Gamma$ es un símbolo denominado blanco, y es el único símbolo que se puede repetir un número infinito de veces.
- $F \subseteq Q$ es el conjunto de estados finales de aceptación.
- $\delta : Q \times \Gamma \rightarrow Q \times \Gamma \times \{L, R\}$ es una función parcial denominada función de transición, donde L es un movimiento a la izquierda y R es el movimiento a la derecha.

Existen en la literatura un abundante número de definiciones alternativas, pero todas ellas tienen el mismo poder computacional, por ejemplo se puede añadir el símbolo S como símbolo de "no movimiento" en un paso de cómputo. La máquina de Turing se puede construir para fines de estudio, como la mostrada en la FIG C



FIG C: Máquina de Turing didáctica