

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA  
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR Y FACULTAD  
DE CIENCIAS EXPERIMENTALES  
MÁSTER EN INFORMÁTICA INDUSTRIAL

“Automatización de una Planta de  
Trituración de materias primas en una  
Fábrica de Cemento”

Curso 2012/2013

**Alumno/a:**

Francisco Javier González Craviotto

**Director/es:**

José Luis Guzmán Sánchez  
José Carlos Moreno Úbeda





UNIVERSIDAD DE ALMERÍA  
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR Y FACULTAD  
DE CIENCIAS EXPERIMENTALES  
Departamento de Informática



TRABAJO FIN DE MÁSTER  
MÁSTER EN INFORMÁTICA INDUSTRIAL  
POSGRADO EN INFORMÁTICA

AUTOMATIZACIÓN DE UNA PLANTA DE  
TRITURACIÓN DE MATERIAS PRIMAS EN UNA  
FÁBRICA DE CEMENTO

Francisco Javier González Craviotto

Dirigido por: Dr. José Luis Guzmán Sánchez y Dr. José Carlos Moreno Úbeda



TRABAJO FIN DE MÁSTER  
MÁSTER EN INFORMÁTICA INDUSTRIAL  
POSGRADO EN INFORMÁTICA



AUTOMATIZACIÓN DE UNA PLANTA DE  
TRITURACIÓN DE MATERIAS PRIMAS EN UNA  
FÁBRICA DE CEMENTO

por  
**Francisco Javier González Craviotto**

Para la obtención del  
**Título del Máster en Informática Industrial**  
**Posgrado en Informática**

**Director**

**Director**

**Autor**

Dr. José Luis Guzmán Sánchez    Dr. José Carlos Moreno Úbeda    Francisco Javier González  
Craviotto



*Dedico este proyecto a  
todas las personas que me  
animaron a cursar este  
master*





# Agradecimientos

En primer lugar quiero agradecer a Enrique Coto González, director de la fábrica de cemento Holcim Gádor en Almería, su apoyo y entusiasmo contagioso, sin él no hubiera tenido tan clara la decisión de matricularme en este máster.

A José Luis Guzmán Sánchez y José Carlos Moreno Úbeda por su interés y paciencia en la realización de este trabajo sin los que hubiera sido imposible que saliera adelante.

A mis compañeros y amigos del máster, en especial a Vicente, que es también colega de trabajo, y a Paco, los dos vecinos del pueblo. Con ellos he compartido experiencias desde la niñez.

A mis padres, hermanos y a Somaya, quien fue la que me animó a realizar el master en un principio y a quien más tiempo, de hecho, le ha robado.

A todos, muchas gracias.

Quisiera extender la siguiente frase del escritor y científico británico Arthur C. Clarke a todos los ingenieros.

*“Si un científico dice que algo es posible, casi con total seguridad estará en lo cierto, pero si dice que es imposible, muy probablemente esté equivocado”*



## ÍNDICE

<b>I.</b>	<b>Introducción</b>	<b>13</b>		<b>VII.</b>	<b>Identificación de señales</b>	<b>31</b>
<b>II.</b>	<b>Antecedentes históricos</b>	<b>14</b>		<b>VIII.</b>	<b>Cableado eléctrico</b>	<b>32</b>
<b>III.</b>	<b>Descripción del proceso</b>	<b>15</b>		<b>IX.</b>	<b>Comunicaciones</b>	<b>33</b>
<b>IV.</b>	<b>Tipos de arrancadores</b>	<b>18</b>			A. Bus de campo . . . . .	33
	A. Arranque directo . . . . .	18			B. Periferia distribuida . . . . .	34
	B. Arranque con arrancador líquido o reóstato . . . . .	19			C. PLC . . . . .	35
	C. Arranque a través de arrancador suave . . . . .	21			D. Anillo redundante . . . . .	36
	D. Arranque mediante variador de frecuencia . . . . .	22			E. Comunicación con sala de control . .	38
<b>V.</b>	<b>Instrumentación de campo</b>	<b>22</b>		<b>X.</b>	<b>Redes de Petri</b>	<b>40</b>
	A. Seccionador de campo . . . . .	23			A. Línea de caliza . . . . .	40
	B. Interruptor de tirón . . . . .	23			1) Caliza hacia parque de prehomogeneización . . . . .	40
	C. Interruptor de desvío . . . . .	24			2) Caliza hacia parque de caliza . .	42
	D. Controlador de giro . . . . .	24			B. Línea de Marga . . . . .	44
	E. Medidor de nivel . . . . .	25			1) Marga por Tripper . . . . .	44
	F. Presostato . . . . .	25			2) Marga sin Tripper . . . . .	46
	G. Sensor de vibraciones . . . . .	26		<b>XI.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>48</b>
	H. Final de carrera . . . . .	26		<b>XII.</b>	<b>Agradecimientos</b>	<b>48</b>
	I. Báscula integradora . . . . .	26		<b>XIII.</b>	<b>Referencias</b>	<b>49</b>
<b>VI.</b>	<b>Señales utilizadas según tipo de motor</b>	<b>27</b>		<b>XIV.</b>	<b>Anexo. Listado de señales</b>	<b>49</b>
	A. Motor normal . . . . .	27				
	1) Orden de marcha . . . . .	27				
	2) Respuesta de marcha . . . . .	27				
	3) Protecciones . . . . .	27				
	4) Marcha local . . . . .	27				
	5) Paro local . . . . .	28				
	6) Seccionador . . . . .	28				
	B. Motor Reversible . . . . .	28				
	C. Banda Transportadora . . . . .	28				
	1) Tirón . . . . .	28				
	2) Desvío . . . . .	28				
	3) Control de giro . . . . .	29				
	D. Motor de Velocidad Variable . . . . .	29				
	1) Fallo variador . . . . .	29				
	2) Set point velocidad . . . . .	29				
	3) Respuesta de velocidad . . . . .	29				
	4) Subir velocidad local . . . . .	29				
	5) Bajar velocidad local . . . . .	29				
	6) Intensidad . . . . .	29				
	E. Motor de Media Tensión . . . . .	30				
	1) Máxima resistencia . . . . .	30				
	2) Mínima resistencia . . . . .	30				
	3) Reóstato subiendo/bajando . . .	30				
	4) Fallo reóstato . . . . .	30				
	5) Nivel mínimo reóstato . . . . .	30				
	6) Temperatura máxima reóstato . .	30				
	7) Vibraciones . . . . .	31				
	8) Temperatura bobinado . . . . .	31				



# Automatización de una Planta de Trituración de Materias Primas en una Fábrica de Cemento

Francisco Javier González Craviotto  
 Máster en Informática Industrial  
 Posgrado en Informática  
 Escuela Politécnica Superior y Facultad de Ciencias  
 Experimentales. Universidad de Almería

## I. INTRODUCCIÓN

**Abstract**—The majority of industrial processes are being controlled with programmable automats since more than 20 years. One problem these installations suffer because of the time is the obsolescence of electronic control systems as well as the used software. Thus, when the life expectancy of these devices is over, it is compulsory to change the control system of the plant.

The Swiss cement factory of Holcim Gádor in Almería decided to change its control system because of the problems explained before. This work explains how it will be executed the change in this control system in the area of raw material of the plant.

Most of the automation work in a running industrial plant must be done before the implementation in site and its start up. It is necessary to define in advance what will be the instrumentation to use, what kind and structure of communication bus will be implemented and what automaton will control the interlocks and starts and stops sequences.

**Keywords**—Instrumentation, fiber optics, Profibus DP, Ethernet, PLC, Petri's Net.

**Resumen**—La gran mayoría de los procesos industriales llevan siendo controlados mediante autómatas programables desde hace más de 20 años. Uno de los problemas que presentan estas instalaciones debido al paso del tiempo es la obsolescencia de los sistemas electrónicos de control así como del software utilizado. Por tanto, pasado el tiempo de vida útil de estos componentes, se hace necesario el cambio en el sistema de control de la planta.

La fábrica de cementos de la compañía suiza Holcim situada en el pueblo de Gádor en Almería decidió cambiar su sistema de control debido precisamente a los problemas anteriormente expuestos. Este trabajo explica cómo se ha ejecutado el cambio de dicho sistema en la zona de trituración de materia prima de esta planta.

La gran parte del trabajo de automatización de una planta ya en funcionamiento debe realizarse antes de la implementación en campo y su puesta en marcha. Es necesario definir con antelación cual será la instrumentación de campo a utilizar, qué tipo y disposición de bus de comunicaciones se implantará y cuál será el autómata que controle los enclavamientos y las secuencias de arranque y paro de máquinas.

**Palabras clave**—Instrumentación, fibra óptica, Profibus DP, Ethernet, PLC, Red de Petri.

EL control automático de procesos industriales desempeña una tarea fundamental dentro del sector industrial y muy particularmente dentro de los grandes centros productivos. La industria cementera es un buen ejemplo de industria pesada donde el número de señales a controlar a lo largo de todo el proceso de fabricación es del orden de miles. Es por ello que el sistema de control debe ser lo suficientemente fiable y robusto como para hacer manejo de tal cantidad de información manteniendo todos los estándares de calidad y priorizando el tema de la seguridad, tanto de las máquinas como de las personas.

La planta de cementos Holcim Gádor en Almería [1] fue construida a principios de los años 70 y comenzó su producción en 1975. El sistema de control con el que arrancó estaba basado en lógica cableada, por aquellos entonces fue cuando apareció el transistor, por lo que los ordenadores aún no existían del modo en el que los conocemos hoy en día. A principios de los 90 la fábrica acometió un cambio en el sistema de control. Se sustituyó la lógica cableada por un sistema basado en PLC con terminales SCADA en sala de ingeniería para controlar todo el proceso. Este sistema es el que ha estado funcionando hasta la fecha. Se trata de un sistema de control propietario de la marca EYP SCAP [2], empresa española. La comunicación con los nodos remotos de campo se hace a través del bus ARCNET siendo las tarjetas de adquisición de señales digitales de 16 canales mientras que las analógicas son de 4 canales.

A priori podría decirse que el sistema, aun teniendo casi 20 años de antigüedad, presenta una estructura funcionalmente aceptable. El problema fundamental que presenta la instalación es, como le ocurre a todos los sistemas informáticos, la obsolescencia debida al paso del tiempo. En la actualidad ya no es posible encontrar ordenadores que sean compatibles con el software que corre en los PLC's del sistema de control. La empresa EYP SCAP, dejó de suministrar tarjetas de repuesto hace tiempo. Por otra parte, el bus de comunicación ARCNET ha sido ampliamente superado

en prestaciones y velocidad por nuevos buses de comunicación más modernos.

Por todas estas razones, la empresa decidió en 2012 cambiar nuevamente el sistema de control de la fábrica para adecuarlo a las nuevas tecnologías y poder beneficiarse así de todos los avances que han aparecido durante los últimos 20 años en el ámbito de la electrónica y más en particular del control automático.

El nuevo sistema de control estará basado en tecnología Siemens. Tanto los nodos remotos donde se encontrarán las tarjetas digitales y analógicas, así como los PLC's y los ordenadores SCADA serán de esta marca. La programación de los PLC's también irá a cargo de Siemens respetando las directrices de funcionamiento de Holcim. Por último, la comunicación del sistema se llevará a cabo mediante el bus Profibus DP y la configuración utilizada será en anillo redundante basado en fibra óptica.

Este proyecto en particular explica y desarrolla todo el trabajo de ingeniería necesario para acometer la automatización de una pequeña instalación dentro del proyecto total de automatización de la planta, en concreto la instalación de trituración de materias primas. Esta va a ser la primera instalación en la que se implante el nuevo sistema de control. En una fábrica de tales dimensiones es necesario acometer el cambio en distintas etapas, normalmente empezando con una pequeña zona para posteriormente acometer instalaciones más grandes.

La estructura de este trabajo se presenta de la siguiente forma. La sección II nombrada como "Antecedentes Históricos" da un pequeño repaso por la historia de la automatización industrial, desde sus inicios con el surgimiento de la cadena de montaje hasta nuestros días. La sección III describe el proceso a automatizar mediante la ayuda del *flowsheet* o diagrama de flujo. En la sección IV se describen los distintos tipos de arrancadores utilizados para accionar las máquinas, mientras que en la sección V se explica el funcionamiento de los dispositivos que conforman toda la instrumentación de campo. En la sección VI se describen una a una las señales eléctricas utilizadas por el sistema de control dependiendo del tipo de motor. Es en la sección VII donde se describirá la nomenclatura utilizada para definir cada señal con un nombre único y distinto. En la sección VIII se explica el diagrama eléctrico de una máquina tipo involucrada en el proceso, siendo la sección IX la que explicará el sistema de comunicaciones utilizado así como todos los elementos empleados para esta función. La sección X muestra las distintas redes de Petri involucradas en cada una de las secuencias de trabajo de la instalación. Las últimas secciones de este proyecto son la XI donde se muestran las referencias utilizadas y la XII Anexos, donde se detalla el listado de señales completo de la instalación.

## II. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

El origen de la automatización industrial puede ser encuadrado en los inicios del pasado siglo XVIII con el surgimiento de la revolución industrial. Hasta entonces, eran

los artesanos experimentados los que fabricaban los bienes de consumo para los clientes individuales en talleres que tenían en sus propias casas. La invención de la máquina de vapor en 1782 por James Watt fue el detonante que revolucionaría el modo en que se llevaba a cabo el trabajo. A partir de este momento grandes máquinas impulsadas mecánicamente remplazaron al trabajador como factor primario de la producción, llevando la nueva mano de obra a un lugar de producción, bajo la vigilancia de un supervisor, llamado fábrica. Eli Whitney por su parte introdujo en 1790 el concepto de partes intercambiables, lo que mejoró la eficacia en la fabricación de armas de fuego, relojes, máquinas de coser y otros bienes posibilitando el paso de producción ajustada individual a elaboración de grandes volúmenes de partes estandarizadas.

No fue hasta 1913 cuando Henry Ford, aplicando los principios de la dirección científica de Frederick Winslow Taylor, creó la cadena de montaje para la producción del modelo T (ver Figura 1). Mediante este sistema de trabajo pudo reducir el tiempo de ensamblaje de su coche desde las 728 horas iniciales hasta una hora y media. Esta reducción del tiempo de ensamblado permitió que el modelo T pudiera ser fabricado en grandes cantidades o en masa, surgiendo entonces la denominación producción masiva.



Figura 1. Ford® modelo T.

Desde este momento y hasta principios de los años 50 los sistemas de automatización de los procesos industriales fueron ganando terreno. Comenzaron a utilizarse elementos mecánicos y electromagnéticos como motores, relés, temporizadores o contadores. Estos elementos supusieron un avance cualitativo importante a la hora de controlar los sistemas de producción. El gran problema con el que se encontraban los ingenieros eléctricos de aquella época era el gran volumen que necesitaban los armarios eléctricos, ya que aumentaban de tamaño conforme las automatizaciones se hacían más complejas [3].

A partir de los años 50 surge la primera gran revolución en el mundo de la automatización con la aparición del semiconductor. Este nuevo descubrimiento sería el que poco a poco sustituiría el control basado en componentes eléctricos por uno nuevo basado en componentes electrónicos. Este

cambio de paradigma trajo consigo reducciones importantes en el tamaño de los armarios eléctricos, reduciendo a su vez las averías por desgaste de los componentes. La dificultad con la que se enfrentaban los ya nuevos ingenieros de control era la falta de flexibilidad de los sistemas, ya que su desarrollo era tal que servían para una aplicación específica y no eran reutilizables.

A finales de los años 60 *Ford®* y *General Motors®* plantean las especificaciones que debería cumplir un controlador electrónico programable para que fuera realmente útil en la industria. Por aquella época la industria automovilística tenía que gastar ingentes cantidades de dinero en sus plantas de producción y ensamblado cada vez que cambiaban de modelo de coche. Si de algún modo las máquinas que se utilizaban en la producción de un modelo de vehículo pudieran ser programadas para que también fueran útiles en la producción de uno nuevo, el ahorro tanto en tiempo como en maquinaria sería muy importante.

La empresa *Bedford Associates®* fue quien desarrolló el primer prototipo de controlador industrial, pudiéndose considerar como el primer PLC de la historia. Entre las características con las que contaba, destaca su capacidad de reutilización, su adaptación a entornos agresivos, su facilidad de programación por parte de técnicos eléctricos y su implementación con electrónica de estado sólido (semiconductores). Pronto comenzaron a utilizarse los primeros PLC's para controlar procesos secuenciales como cadenas de montaje o transporte de materiales. El problema de estos primeros sistemas de automatización basados en PLC radicaba en que su memoria era cableada, por lo que su reutilización era posible pero costosa.

La segunda gran revolución en el mundo de la automatización industrial llega a partir de principios de los 70 con la invención del microprocesador. Este descubrimiento dio paso a los primeros ordenadores digitales, los cuales dieron más flexibilidad a la hora de automatizar los procesos gracias a su facilidad de programación. Aun así, tuvieron que pasar varios años más hasta que estos ingenios fueran utilizados en la industria. El problema con el que se enfrentaban los nuevos ingenieros informáticos era la falta de robustez, la dificultad de conexión con los equipos mecánicos y la dificultad de programación de los sistemas. A mediados de los años 70 el microprocesador empieza a incorporarse en los nuevos autómatas. La gran ventaja que aportaban con respecto a los anteriores era la posibilidad de reprogramación sin recableado. Por otra parte, también permitían realizar cálculos matemáticos y tenían la posibilidad de comunicarse con un ordenador central, el encargado de controlar la planta y desde el cual se enviaban las órdenes a los autómatas que gobernaban el proceso.

Las características de los nuevos PLC's van mejorándose conforme aumentan las capacidades del microprocesador y de las memorias. Para finales de los 70, los autómatas son capaces de gobernar bucles de control. El tipo de entradas y salidas crece, con lo que la conexión de sensores y actuadores se hace más flexible. Surgen nuevos lenguajes de programación más potentes y nuevos sistemas o buses de

comunicación más fiables.

Durante los años 80 continúan las mejoras. Se alcanzan cada vez mayores velocidades de proceso debido a la reducción en los tiempos de ciclo de los autómatas. Las dimensiones de los PLC's cada vez se ven más reducidas debido a la mayor integración de los circuitos electrónicos. Se consiguen dominar técnicas de control más complejas basadas en PID's, control inteligente o lógica fuzzy. Surgen la mayoría de los lenguajes de programación conocidos, por contactos, lista de instrucciones, Grafset, etc.

Durante la década de los 90 los autómatas terminaron por implantarse en la gran mayoría de los procesos productivos de reducido tamaño y en la totalidad de los procesos de mediano y gran volumen. Las mejoras en la velocidad de proceso, aumento de la capacidad de memoria y reducción del tamaño vinieron de la mano de las mejoras en microelectrónica. Por otro lado, la facilidad de programación de los nuevos PLC's mejoró con la aparición de los sistemas de programación orientados a objetos.

Durante la primera década del Siglo XXI ha surgido una nueva gama de autómatas más compactos y sencillos, algunos de ellos enfocados al uso doméstico. Por otro lado, es posible encontrar en la actualidad autómatas de gama alta con grandes posibilidades de ampliación, capacidad para controlar miles de señales de distinto tipo, con arquitectura modular y prestaciones similares a las de un ordenador [4].

Las tendencias que se han observado en los últimos años lleva a considerar que la tercera gran revolución en el mundo de la automatización industrial está ya presente. Es posible encontrar en la actualidad redes de autómatas para el control de grandes procesos. El término CIM o producción integrada y controlada por computador es ya un hecho, así como las nuevas redes de sensores y actuadores conectadas directamente a los autómatas. Esta nueva revolución está estrechamente ligada al desarrollo de los nuevos estándares de comunicación tipo Profibus, Ethernet industrial, etc. Estos estándares, que ya son en muchos casos de uso cotidiano, propiciarán que en un futuro no muy lejano sea posible el control de grandes instalaciones industriales desde lugares remotos a través de internet. Quizá sea entonces cuando el sueño de más de un empresario se haga realidad y el proceso de producción pueda llevarse a cabo de forma prácticamente autónoma.

### III. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

La instalación que se pretende automatizar se trata de la primera fase involucrada en el proceso de la fabricación del cemento. Esta primera fase comprende la primera trituración del material que llega desde la cantera en camiones y su almacenamiento en distintos montones. El material a triturar es caliza y marga, por tanto la instalación consta en realidad de dos líneas en paralelo, una para la trituración y el almacenado de caliza y la otra para la trituración y el almacenado de la marga.

Para un seguimiento más claro de la descripción del proceso, se aconseja al lector que consulte el diagrama de flujo o *flowsheet* de la instalación representado en la Figura 2 y la

interpretación de la nomenclatura explicada en la sección VII.

Se comenzará por la línea de la caliza. El primer elemento que se encuentra es la tolva de descarga (211-TL1) donde los camiones volcarán su contenido. El permiso de descarga a la tolva vendrá dado por un semáforo (211-2W2) que estará colocado junto a ésta. Mientras el semáforo tenga encendida la luz roja, el camionero no podrá vaciar su contenido, por el contrario, cuando se ilumine la luz verde el sistema de control estará autorizando al camionero a descargar el material. Esta autorización vendrá dada a su vez por un nivel analógico (211-TL1.L1) situado encima de la tolva que estará midiendo continuamente la altura de llenado de la misma. Sólo cuando la medida de la altura de llenado esté entre un rango de trabajo definido el semáforo estará iluminado en verde.

Justo en el fondo de la tolva estará colocado el transportador de placas (211-TP1.M1) que será accionado mediante un variador de frecuencia. La consigna de velocidad de este transportador no podrá sobrepasar un límite máximo que vendrá establecido en función del consumo en amperios de la cinta de subida del material hasta los pórticos de almacenaje (211-BT2). Si esta cinta superara su consumo nominal parará por protecciones y detendrá todo el proceso. Por otro lado, cuando el nivel de la tolva alcance un mínimo establecido, el transportador de placas parará. La razón es mantener siempre una capa mínima de material en la tolva y

por ende en el transportador de placas. De este modo las grandes piedras de caliza que suelen llegar desde la cantera no impactarían directamente sobre las placas del transportador, limitando de este modo posibles averías mecánicas en la máquina. El motor que acciona el transportador de placas estará continuamente refrigerado por un ventilador (211-TP1.M2). El motivo de instalar esta refrigeración forzada es para evitar el sobrecalentamiento del motor. El motor del transportador de placas se trata en realidad de un antiguo motor de rotor bobinado con anillos rozantes al que se le han cortocircuitado las fases del rotor y se han eliminado los anillos. Este tipo de motor llevaba un ventilador de refrigeración que se ha mantenido.

Debajo del transportador de placas y a todo lo largo del mismo se sitúa el rascador de cadenas (211-RD1). Se trata simplemente de una cadena que recoge todo el material que se ha derramado del transportador de placas y lo conduce hasta su descarga.

El material arrastrado por el transportador de placas y por el rascador de cadenas llegará hasta la machacadora de caliza (211-TB1). Se trata de una trituradora de martillos con capacidad para triturar hasta 700 Tm/h. Esta máquina está accionada mediante un motor de rotor bobinado alimentado a 6000 V con arrancador electrofórico (211-1R1). Como se explicará en detalle más adelante, este tipo de arrancador se

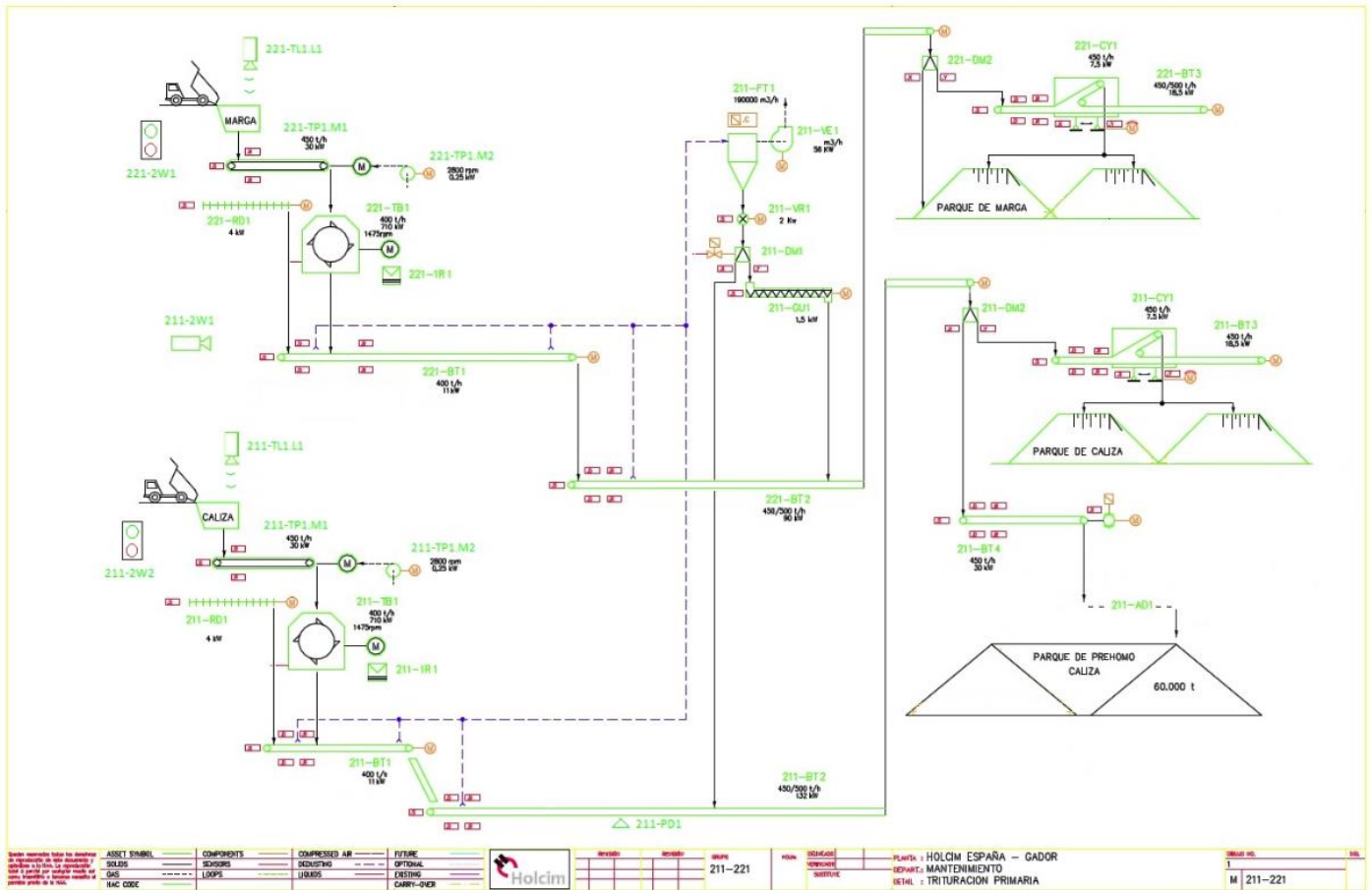


Figura 2. Diagrama de flujo o flowsheet del proceso.



utiliza en máquinas de cierta envergadura, donde un arranque directo no podría ser soportado por la instalación eléctrica debido al elevadísimo incremento en amperios que se produciría. La importancia de este accionamiento justifica la gran cantidad de señales involucradas en el sistema de control (temperatura, vibración, amperios de consumo, control de giro, etc.) que están monitorizando en cada momento el comportamiento del mismo. Es en esta máquina donde se realiza el trabajo esencial de la instalación, triturar el material llegado desde la cantera hasta alcanzar un tamaño de grano máximo como el de una pelota de tenis.

A partir de ahora lo único que queda es transportar el material hasta la zona de almacenaje, pero antes de eso hay que intentar eliminar todo el polvo producido durante la trituración del material, para ello se utiliza un filtro de mangas que consta a su vez de varios accionamientos distintos.

El primero de estos accionamientos es el ventilador de aspiración (211-VE1), que será el encargado de producir la depresión necesaria para transportar el polvo generado en la machacadora hasta el filtro de mangas, cuyo funcionamiento se explicará más adelante. El segundo accionamiento será el secuenciador de filtrado (211-FT1). Este elemento es una caja electrónica con un número de salidas de relé cableadas hasta las distintas válvulas que inyectan el aire a presión en las mangas del filtro. Esta caja electrónica será programada para mantener una presión diferencial óptima entre la cámara limpia y la cámara sucia del filtro de mangas. Dependiendo de las dimensiones del filtro el número de salidas puede variar mucho en número, en éste caso se trata de una caja con 8 salidas. El tercer y último elemento del filtro de mangas se trata de la esclusa o válvula rotativa (211-VR1). Su función es la de ir liberando todo el polvo recogido a través de las mangas fuera del filtro. La esclusa está formada por una serie de álabes que al girar van recogiendo y soltando el material acumulado en el fondo del filtro. Para la recogida del material de un filtro se utiliza este tipo de máquina o un tornillo sinfín para minimizar lo máximo posible la entrada de aire falso por la zona inferior del filtro (ver Figura 3).

Una vez que el polvo ha sido extraído de la instalación es necesario volver a llevar el material a la misma. Como el filtro es común a las dos líneas de transporte, caliza y marga, es necesario devolver el polvo capturado a su línea correspondiente para no mezclar materiales distintos. Para ello se utiliza una compuerta neumática (211-DM1) tipo pantalón que será accionada mediante una electroválvula. Esta compuerta será cambiada de posición dependiendo de cual sea la línea que está trabajando.

Los accionamientos que nos encontramos después de la machacadora no tienen otro fin que transportar el material ya triturado hasta las distintas zonas de almacenaje. El primero de ellos es una cinta transportadora (211-BT1). Como se explicará más en detalle, las cintas transportadoras deberán llevar asociadas distintas señales de campo para dar información al sistema de control de su estado.

El material transportado por esta cinta será a su vez traspasado a otra cinta más larga que elevará el material hasta una altura de unos 25 metros. Este nuevo accionamiento

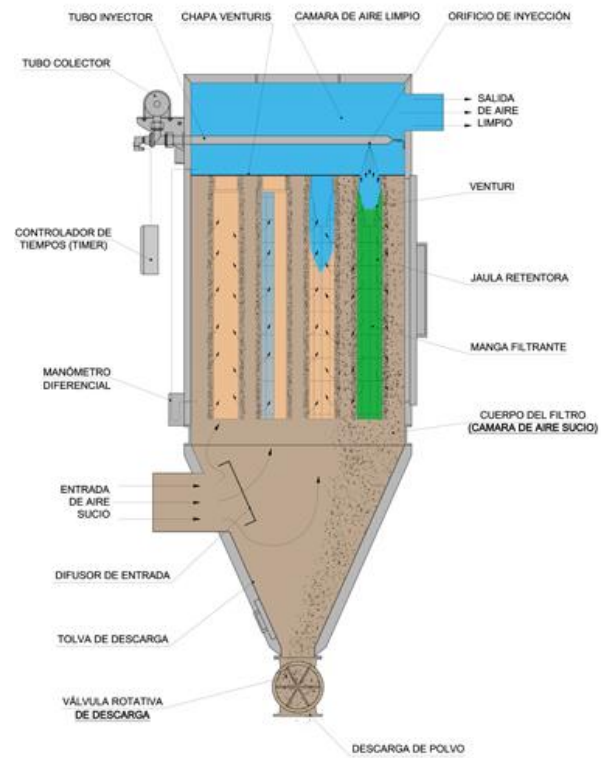


Figura 3. Detalle del interior de un filtro de mangas para la captación de polvo. Cortesía de Fluidtecnic®.

(211-BT2) será movido a través de un arrancador electrónico, también conocido como arrancador suave. Se utilizará este tipo de arrancador para minimizar las tensiones en la cinta a la hora del arranque así como para reducir las corrientes generadas en el motor. Hay que tener en cuenta que cabe la posibilidad de que el motor tenga que arrancar estando la cinta totalmente llena, lo que aumentaría aún más el consumo de corriente si se arrancara en directo.

Al final de la cinta anterior se encuentra una nueva compuerta pantalón (211-DM2) para desviar el material hacia dos zonas distintas. Esta compuerta será accionada manualmente pero señalará al sistema de control hacia qué dirección está posicionada.

Dependiendo de la posición de la compuerta anterior el material será desviado hacia el parque de caliza o hacia el parque de prehomogeneización. En ambos casos las máquinas que se encuentran a continuación serán otras dos cintas, las finales de esta línea (211-BT3 y 211-BT4). La cinta 211-BT3 podrá descargar en cuatro puntos distintos del parque lineal de caliza gracias a un tripper (211-CY1) que será el encargado de posicionar la descarga de la misma. Por su parte, la cinta 211-BT4 descargará el material sobre el apilador de la caliza. Se trata de una máquina apiladora circular controlada por un PLC de Siemens que intercambiará una serie de señales con el sistema de control.

La línea de la marga es esencialmente idéntica a la línea de la caliza. La única diferencia es que esta línea sólo dispondrá de una zona de descarga, el parque de marga. También estarán

disponibles cuatro posiciones distintas de descarga dentro de este parque gracias a un tripper (221-CY1). Por último, comentar que el material recogido por el filtro de mangas se reintroducirá en esta línea a través de un tornillo sinfín (211-GU1).

#### IV. TIPOS DE ARRANCADORES

La gran mayoría de los motores utilizados en la industria pesada son del tipo de jaula de ardilla. En este tipo de motores el flujo rotatorio creado por el estator atraviesa las barras del rotor e induce un voltaje en ellas.

La construcción del rotor se realiza de forma que los anillos extremos ponen en cortocircuito las barras del mismo. Esto provoca que el voltaje inducido haga fluir una gran corriente que puede llegar a ser de cientos de amperios dependiendo de la potencia de la máquina.

Los conductores que transportan corriente se encuentran en la trayectoria del flujo creado por el estator, así que todos experimentan una fuerte fuerza mecánica. Estas fuerzas producen un par o momento de torsión que tienden a arrastrar el rotor en la misma dirección del campo rotatorio [5].

En la instalación de trituración primaria que se está automatizando se comprueba que todos los motores de la instalación salvo los dos accionamientos principales son de este tipo. Las trituradoras son motores de media tensión de rotor bobinado y arrancador electrolítico.

El método de arranque de los motores podrá variar mucho de un accionamiento a otro. Se podrán encontrar arranques directos, reversibles, arrancadores suaves, variadores de frecuencia y reóstatos.

##### A. Arranque directo

El tipo de protección que debe de elegirse para proteger los motores es muy importante. Una buena protección y sobre todo un buen ajuste de la misma puede evitar averías graves en las máquinas así como daños a las personas.

Los motores de potencia inferior a 50 Kw son arrancados de forma directa, es decir, la orden de marcha que da el sistema de control actúa directamente sobre la bobina del contactor que lo alimenta. El contactor elegido debe ser tal que pueda soportar el paso de corriente demandada por el motor que debe actuar. Por otro lado, las protecciones, tanto térmica como de cortocircuito, deben ajustarse de acuerdo a las características específicas de cada máquina. La instalación eléctrica de potencia debe haber sido diseñada de tal forma que el arranque directo de estos motores no suponga una caída en la tensión de red que pudiera afectar a otras máquinas más sensibles. Este tipo de arranque es simple y barato. La principal desventaja es la alta corriente que se demanda en los primeros instantes del arranque, la cual es de 5 a 6 veces la corriente nominal a plena carga.

Se explicará a continuación los elementos utilizados para la protección y accionamiento de motores trifásicos de pequeña potencia, menores de 50 kW. Se tratará de un interruptor automático de desconexión y el arrancador, que en este caso será un arrancador combinado.

El primer dispositivo de protección instalado es el interruptor automático de desconexión. En la instalación de estudio se utilizaron modelos de la gama NG125 de la marca *Merlin Gerin*® (ver Figura 4 izquierda). Su función primordial es proteger el motor y la línea de suministro contra corrientes catastróficas producidas por un cortocircuito en el motor o el arrancador o por una falla de arranque. Dependiendo de la potencia específica de cada motor habrá que elegir el modelo de la gama apropiado. Las características que deben tenerse en cuenta serán la intensidad máxima ( $I_n$ ) medida en amperios (A) y la intensidad de cortocircuito ( $I_{cu}$ ) medida en kiloamperios (kA). Al interruptor se le adosarán un juego de contactos auxiliares para enviar al sistema de control información sobre su estado, si está disparado o no.

El segundo elemento instalado se trata del arrancador combinado. Los modelos utilizados son de la gama integral de la marca *Telemecanique*® [6]. Este dispositivo aglutina las funciones de interruptor, protección térmica, protección contra cortocircuito y contactor. Las protecciones térmica y contra cortocircuitos son ajustables dentro de un rango, por lo que es importante elegir bien el modelo. Dependiendo del mismo los contactos internos del contactor podrán soportar una carga específica. La bobina que hará actuar el contactor es a 220 Vac. Por último, actuando sobre la manivela podemos abrir el circuito como si se tratase de un interruptor aguas arriba del contactor. Al integral se le adosan una serie de contactos auxiliares que serán los encargados de enviar al sistema de control las señales de respuesta de marcha y protección térmica.



Figura 4. Izquierda. Interruptor automático de la gama NG125 perteneciente a la marca *Merlin Gerin*®. Derecha. Dispositivo de protección y accionamiento para motores perteneciente a la gama integral de la marca *Telemecanique*®.

Dentro de esta misma gama integral se pueden encontrar dispositivos inversores. En este caso el dispositivo consta de dos bobinas independientes y dos contactores independientes. Estos contactores vienen ya cableados de modo que alteran el orden de dos de las fases de potencia. Disponen a su vez de un sistema mecánico que impide que cuando una de las bobinas es energizada la otra pueda serlo, además de impedir que el

otro contactor pueda actuarse, lo cual provocaría un cortocircuito entre fases de alimentación.

La Figura 5 muestra el tiempo de activación como un múltiplo de la corriente nominal del integral. Con corriente nominal nunca se activa, pero con seis veces la corriente nominal, se activa después de un intervalo de 10 s. Es preferible esperar unos cuantos minutos antes de rearmar el integral para que este se enfríe y no vuelva a disparar en el arranque del motor. Este tiempo de activación se mide en condiciones de arranque en frío. Si el motor ha estado funcionando a plena carga durante una hora o más, el tiempo de activación se reduce aproximadamente un treinta por ciento.

En ocasiones sucede que un relé térmico se activa sin ninguna razón aparente. Esta condición puede ocurrir cuando la temperatura ambiente alrededor del arrancador es demasiado alta, por eso es necesario tener todas las salas eléctricas bien refrigeradas. También es posible aumentar un poco los valores de protección mediante los selectores que tiene aunque se debe tener cuidado antes de realizar semejante cambio, porque si la temperatura en el motor es demasiado alta, la activación ocasional podría ser en realidad una advertencia de que el motor no está bien refrigerado o de que está consumiendo más corriente de la nominal.

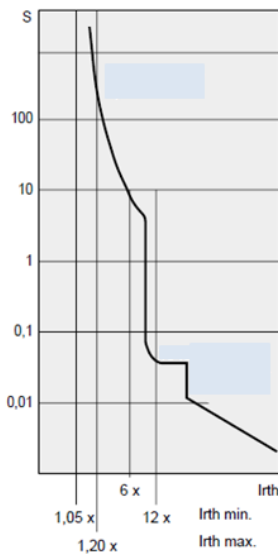


Figura 5. Curva típica de la gama integral de los relés térmicos contra sobrecarga de *Telemecanique*® donde se muestra el tiempo de activación frente a la corriente de línea.

### B. Arranque con arrancador líquido o reóstato

Los motores que accionan las dos trituradoras de martillos son motores de gran potencia. Se alimentan directamente en media tensión, a 6 kV, por lo que el interruptor que lo protege debe ser capaz de soportar altas corrientes y tensiones. Los interruptores utilizados son conocidos como “de bajo volumen de aceite” y son de la marca *Isodel*® [7] (ver Figura 6). Estos interruptores son montados sobre un soporte móvil conocido como carro, donde se integra además el mecanismo de

apertura y cierre basado en el tensado y destensado de unos grandes muelles. Unas pinzas móviles unidas a los diferentes extremos de cada uno de los tres contactos que conforman el interruptor son las encargadas de conectar el embarrado de 6 kV con la salida a motor.

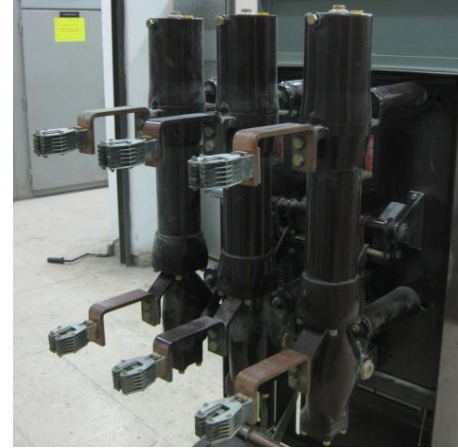


Figura 6. Detalle de los contactos de un interruptor *Isodel*® de bajo volumen de aceite.

La protección térmica y contra cortocircuito de estos motores viene garantizada mediante la instalación de los relés de protección *Sepam*® de la marca *Schneider Electric*®. En el caso de protección de motor el modelo *Sepam 40*® es el más recomendado. A este relé se le lleva tanto tensión de entrada como intensidad de salida a motor a través de transformadores de tensión e intensidad intermedios. Con la vigilancia de estas señales se le pueden programar, desde su propio teclado o mediante PC a través de comunicación serie, multitud de parámetros y condiciones de disparo. Cuando alguna de las condiciones de disparo se produzca se activará un relé de salida interno del *Sepam*® que mandará la apertura del interruptor *Isodel*®. Entre las muchas condiciones de disparo programables las más usuales son: sobrecarga térmica, sobrecorriente de fase, falla a tierra, rotor bloqueado, sobrevoltaje línea – línea o línea – tierra y tiempo de arranque excesivo.

La Figura 7 muestra un relé *Sepam*® de protección de motor. El panel lateral derecho da indicación del estado del interruptor, si se encuentra o no extraído así como si está o no conectado. La llave selecciona entre modo manual o remoto. Este accionamiento, al igual que el resto de la instalación, funcionará siempre en modo remoto, dando marcha desde sala de control. Sin embargo es posible que en algún momento, normalmente por necesidades de mantenimiento, sea necesario actuar este interruptor desde el propio *Sepam*®, por lo que sería necesario cambiar la llave a modo manual. En esta situación se podrá cerrar el interruptor pulsando sobre el pulsador de marcha. Esta maniobra no está libre de riesgo por lo que es muy importante tener muy bien definidos los enclavamientos en nuestro sistema para evitar posibles daños tanto a las máquinas como a las personas.

Para arrancar motores de gran potencia a menudo se utilizan reóstatos líquidos porque son fáciles de controlar y tienen una gran capacidad térmica. Un reóstato líquido se compone de tres electrodos sumergidos en un electrolito apropiado. Para variar su resistencia, simplemente se hace variar el nivel del electrolito que rodea los electrodos. La gran capacidad térmica del electrolito limita la elevación de la temperatura.

En esta instalación, los dos motores pertenecientes a las dos trituradoras son de rotor bobinado. Son de una potencia de 710 kW, su velocidad nominal es de 1475 rpm y su intensidad nominal es de 84 A. Hay que tener en cuenta que están alimentados a 6000 V.



Figura 7. Detalle del relé de protección *Sepam* de la marca *Schneider Electric*®.

Los motores de rotor bobinado, al contrario que los de jaula de ardilla, no tienen las tres fases del rotor conectadas en cortocircuito, si no que llegan hasta unos anillos que giran de forma solidaria al rotor. Estos anillos están conectados mediante escobillas de grafito a un sistema que es el encargado de reducir gradualmente la resistencia entre las fases durante el arranque del motor hasta que finalmente termina por cortocircuitarlas. En la Figura 8 se muestra una imagen del motor de rotor bobinado utilizado para mover la trituradora de martillos de la caliza.



Figura 8. Motor de rotor bobinado que mueve la trituradora de martillos de la caliza. Características: Siemens 710 kW, 1475 rpm, 6kV, 84 A. Arranque mediante reóstato líquido.

La Figura 9, por su parte, muestra un diagrama del circuito utilizado para arrancar un motor de rotor bobinado. Los devanados del rotor están conectados a tres resistores externos conectados en estrella (Y) por medio de un juego de anillos colectores y escobillas. En condiciones de rotor bloqueado, los resistores variables se ajustan a su valor más alto. Conforme la resistencia se reduce el motor se acelera hasta que se alcanza la velocidad de plena carga, momento en el cual se ponen en cortocircuito las tres fases del rotor. Seleccionando apropiadamente los valores de resistencia, podemos producir un momento de torsión de alta aceleración con una corriente en el estator que nunca excede el doble de la corriente a plena carga.

El motor acciona directamente a través de reductor una machacadora de martillos. Esta máquina tritura la materia prima que llega desde la cantera. La machacadora de caliza es la máquina que más desgaste sufre y más consumo en amperios demanda de toda la instalación, ya que el material puede llegar en grandes bloques de piedra.

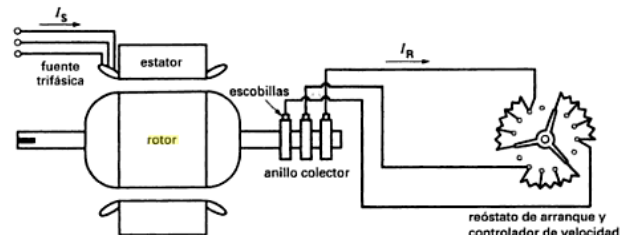


Figura 9. Diagrama de conexión de un motor de rotor bobinado. Los resistores externos están conectados a los tres anillos colectores.

Para acelerar esta carga el rotor bobinado del motor está conectado a un reóstato de la marca *Sumintec Arecheta*® tal y como se muestra en la Figura 9 [8]. Se trata de una cuba de acero cuyo volumen puede variar dependiendo de la potencia del motor. Esta cuba está llena de agua con sales. Estas sales lo que hacen es disminuir la conductividad del agua. El fabricante suministra una tabla con la cantidad de sales a mezclar dependiendo también de la potencia del motor. Dentro de esta cuba se encuentran los tres contactos fijos a los que están conectados las tres fases del rotor del motor. Los contactos móviles están accionados mediante un motor que a su vez mueve un husillo. Este husillo hace variar la distancia entre los contactos fijos y los móviles. Cuando el motor está parado esta distancia es máxima, por lo que la resistencia entre las bobinas del rotor también es máxima. Cuando desde la sala de control se da la orden de arranque y se cierra el interruptor *Isodel*® alimentando al estator del motor, se da orden al mismo tiempo al motor que mueve los contactos móviles del reóstato. Durante el tiempo que los contactos móviles van reduciendo su distancia a los fijos el motor va acelerándose, ya que las bobinas del rotor reducen su resistencia entre ellas. Finalmente, los contactos móviles se unen a los fijos, poniendo las bobinas del rotor en cortocircuito y acelerando el

motor hasta su velocidad nominal. Durante el tiempo de arranque la intensidad consumida por el motor va acelerándose gradualmente. En el momento del cortocircuito del rotor la intensidad puede llegar a ser 2 veces la nominal, pero por un tiempo muy pequeño y soportable por la instalación, ya que la velocidad con la que está girando el motor en este momento es muy cercana a la nominal.

La Figura 10 muestra uno de los reóstatos líquidos utilizados, en concreto el de la trituradora de marga. En el detalle inferior se muestran en rojo los contactos móviles que cortocircuitan las bobinas del rotor cuando se unen a los contactos fijos (no visibles). En la parte inferior se señalan en azul los finales de carrera que indican la posición de los contactos.



Figura 10. Reóstato líquido utilizado para el arranque de la trituradora de marga.

### C. Arranque a través de arrancador suave

Las bandas transportadoras son elementos muy utilizados en la industria. Como su propio nombre indica, se trata de una cinta, que puede ser de materiales y construcciones muy diferentes, accionada a través de un motor y utilizada para el transporte de materiales o piezas. En el caso de estudio se utilizan para el transporte del material hasta los acopios una vez ha sido triturado en las machacadoras de martillos. Dependiendo de la longitud de la cinta, el ángulo de inclinación de la misma y las características del material que debe transportar, la potencia del motor puede variar mucho de un accionamiento a otro.

Las dos cintas que transportan el material desde la planta donde están situadas las trituradoras de martillos hasta los parques de caliza y marga están accionadas por motores de 132 kW y 90 kW respectivamente. El desnivel entre los extremos de las cintas es de más de 25 m y la longitud entre los dos puntos de más de 100 m. Con estos datos sobre la mesa queda claro que un arranque directo de estos accionamientos está totalmente fuera de lugar.

El tipo de arranque que se utilizó en la puesta en marcha de la fábrica, hace unos 40 años, se basaba en un arrancador de resistencias. Se utilizaban motores de rotor bobinado. En la actualidad existen arrancadores electrónicos conocidos como “arrancadores suaves” que pueden acelerar motores de entre 1kW y 800kW. Una de las mejoras que se acometerán durante la puesta en marcha del nuevo sistema de control será la eliminación de los arrancadores de resistencias. Se cortocircuitarán directamente las tres fases del rotor dentro de los motores y se instalarán arrancadores suaves para la aceleración del motor.

La principal ventaja que ofrece un arrancador suave con respecto a otros tipos de arranque, como puede ser el directo a línea o el estrella triángulo, es la eliminación de los picos de intensidad al inicio de la puesta en marcha de la máquina. Esto se consigue mediante el aumento progresivo de la tensión de alimentación durante el arranque como puede verse en la Figura 11.

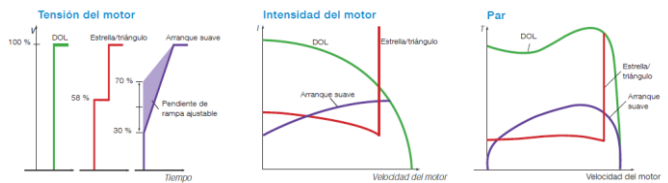


Figura 11. Gráficas que muestran las diferencias básicas entre el arranque directo a línea (DOL, por sus siglas en inglés), el arranque en estrella-triángulo y el arranque suave, atendiendo a las variables tensión del motor (V), intensidad del motor (I) y par del motor (T). Cortesía de ABB®.

De entre todas las marcas disponibles se ha decidido la adquisición de dos arrancadores suaves de la marca ABB® por su fiabilidad y demostrado funcionamiento en otras instalaciones de la fábrica. En concreto la gama PSTB® [9] incorpora un contactor interno de cortocircuito de las fases. Durante el tiempo de arranque programado el arrancador suave irá proporcionando gradualmente más tensión al motor. Una vez terminado el tiempo de arranque, un contactor de potencia interno se cerrará dejando el motor alimentado directamente desde línea. La Figura 12 muestra el esquema interno de este arrancador.

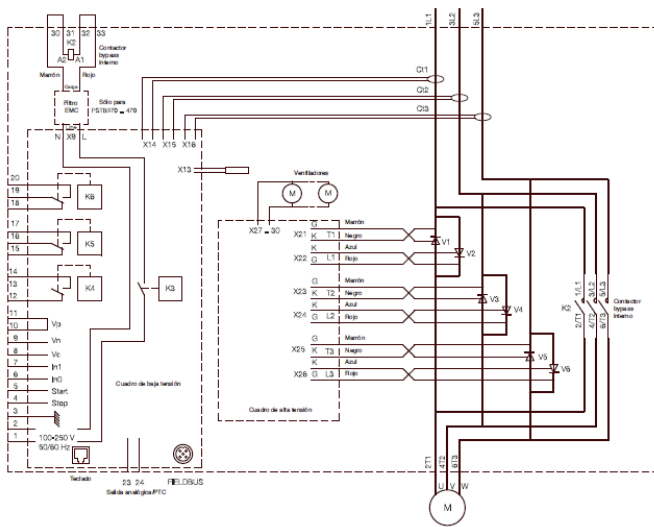


Figura 12. Esquema interno de un arrancador suave ABB® de la gama PSTB®. La gran ventaja que presentan es la incorporación de un contactor de potencia interno que actúa una vez superado el tiempo de aceleración. Cortesía de ABB®.

#### D. Arranque mediante variador de frecuencia

En los procesos industriales es frecuente encontrar máquinas que trabajan a distintas velocidades dependiendo de un gran número de factores distintos, como las condiciones del proceso o las características del producto entre otros. En la industria cementera es habitual el uso de variadores de frecuencia para acometer esta tarea. Se trata de dispositivos electrónicos capaces de variar la frecuencia de la tensión a su salida entre 0 Hz y la tensión de entrada, 50 Hz. En la actualidad es posible encontrar en el mercado variadores de frecuencia que pueden dar una tensión de salida con frecuencias de hasta 200 Hz. Las potencias que soportan van del rango de los vatios hasta los miles de kilovatios, existiendo variadores para baja y media tensión.

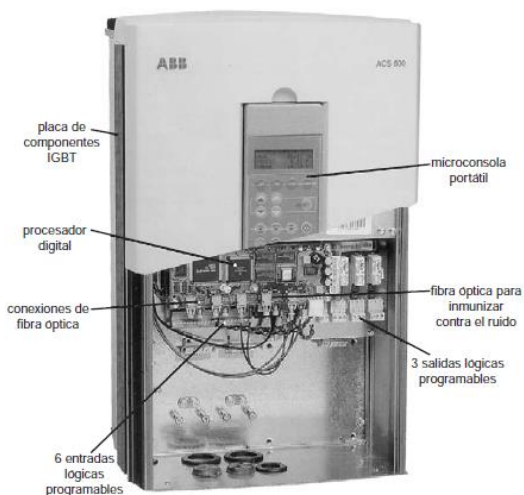


Figura 13. Variador de frecuencia para el control de velocidad de los transportadores de placas que alimentan las trituradoras de martillos.

De entre las distintas marcas existentes ABB destaca por su fiabilidad, robustez y fácil mantenimiento. Este punto es de especial importancia cuando se trata de variadores de cierta relevancia. La construcción de los mismos es de forma modular, por lo que lo único que diferencia a un variador de 200 kW de otro de 1000 kW, a igual tensión de alimentación, es el número de módulos de potencia. Ante la contingencia de una avería en un módulo de potencia, lo único que habría que hacer sería sustituirlo por otro de repuesto. El tiempo de resolución de la avería se minimizaría enormemente.

La Figura 13 muestra un variador de frecuencia ABB® de la gama ACS 600® de 40 kW de potencia para alimentar motores trifásicos de corriente alterna a 400V con posibilidad de variar la frecuencia entre 0 y 200 Hz. Dispone de entradas y salidas analógicas y digitales que pueden ser programadas para desempeñar distintas tareas.

La instalación cuenta con dos máquinas que necesitan ser controladas en velocidad. Se trata de los dos transportadores de placas que alimentan las trituradoras de martillos. Los camiones que transportan el material desde la cantera (marga o caliza) descargan sobre la tolva correspondiente. Al fondo de cada tolva se encuentran sendos transportadores de placas que conducen el material hasta las trituradoras. La velocidad con que se alimentan las trituradoras debe poder variarse dependiendo de la humedad, densidad y dureza del material.

El control de la velocidad se lleva a cabo mediante dos variadores de frecuencia ACS 600® de 40 kW de potencia. La serie 600 de ABB® ha quedado ya obsoleta pudiendo encontrar hoy en día en el mercado la gama ACS 800® [10], aunque recientemente ha aparecido la gama 850 que irá poco a poco sustituyendo a la anterior. Aunque los motores de los transportadores de placas son de menor potencia, 30 kW, es siempre preferible que los variadores superen la potencia de los accionamientos que deben controlar. La razón es que ante una demanda puntual en amperios por parte del motor, éste pueda soportarla sin producir un disparo por sobrecarga. Es necesario, no obstante, programar muy bien los límites de velocidad e intensidad máximos en el variador para evitar averías en el motor.

#### V. INSTRUMENTACIÓN DE CAMPO

En las instalaciones industriales el uso de instrumentación de campo está muy extendido. Dependiendo del proceso a controlar será necesaria la implantación de distintos elementos de medición y señalización. Entre los más usuales que podemos encontrar en la industria cementera se encuentran los medidores de presión, incluyendo presión diferencial y depresión, los medidores de temperatura, PT100 y termopares, los medidores de nivel analógicos y digitales y los medidores de vibraciones. Otros elementos de medida menos usuales son los medidores de gases y los medidores de ruido. La diversidad de marcas y modelos distintos que se pueden encontrar en el mercado es abrumadora, siendo la mayoría muy parecidos entre ellos en funcionalidad y características. Dependiendo de la experiencia y el nivel de presupuesto será el cliente final el que se decante por un modelo y marca específicos.

La instalación que se está automatizando necesita de la implantación de algunos elementos de instrumentación de campo necesarios para el óptimo control del proceso. Algunos de estos elementos son además necesarios y obligatorios desde el punto de vista de seguridad para las personas. Se detallarán a continuación.

#### A. Seccionador de campo

El principal elemento de seguridad que debe implantarse en una nueva instalación industrial es el seccionador de campo. La principal función de este dispositivo es la apertura física de la alimentación eléctrica al accionamiento. Además debe ser posible enclavar mecánicamente esta apertura, lo normal es hacerlo mediante un candado. Siempre que un operario vaya a trabajar en una máquina deberá pedir permiso a sala de control antes de abrir el seccionador y colocar su candado.

La Figura 14 muestra el modelo de seccionador de campo que se ha instalado en toda la fábrica. La principal ventaja de este modelo de la marca *CEFEM*® [11] es la posibilidad de comprobar la apertura de las tres fases de alimentación de manera visual a través de la ventana del seccionador. Otra gran ventaja es su robustez, con caja de acero y cierre hermético, impide la entrada de polvo en el interior y ofrece una mayor protección contra golpes.



Figura 14. Seccionador de campo de la marca *CEFEM*®.

Al seccionador de campo siempre se le añaden al menos dos pulsadores. Uno de paro (color rojo) y otro de marcha (color verde). El pulsador rojo estará siempre habilitado, es decir, en cualquier momento alguien puede pulsarlo y si la máquina está en funcionamiento la detendrá. El contacto de esta señal es un normalmente cerrado. De esta forma ante una rotura en el cable de esta señal el sistema de control actuará como si se hubiera pulsado. De otro modo, si fuera un contacto normalmente abierto y se rompiera el cable, el sistema de control no respondería cuando alguien actuara sobre el pulsador. Por el contrario, el pulsador verde de marcha estará

siempre deshabilitado, será necesario ponerse en contacto con sala de control para que desde allí lo habiliten. El panelista habilitará el modo local de la máquina y en ese momento será posible arrancarla desde campo. Este modo local es el utilizado durante las labores de mantenimiento de la instalación. Los otros dos pulsadores que nos encontramos sólo son instalados cuando la máquina en cuestión es variable en velocidad. Estarán sólo habilitados en modo local y desde ellos podrá subirse o bajarse la velocidad del accionamiento una vez arrancado.

El seccionador de campo debe estar construido de forma que pueda soportar una apertura en carga. Aunque la forma correcta de proceder ante una emergencia sería actuar sobre el pulsador de paro, no cabe duda de que el operador que se encuentre más cercano detendrá la máquina de forma instintiva maniobrando directamente la palanca de apertura. Por eso es muy importante elegir bien el modelo de seccionador dependiendo de la potencia del motor que alimente. Esta palanca actúa a su vez sobre un juego de contactos. Un contacto normalmente cerrado es utilizado como señalización al sistema de control de la posición del seccionador. Si el contacto pasara al estado de abierto el sistema de control daría orden de paro sobre el motor.

#### B. Interruptor de tirón

Los interruptores de tirón son utilizados como elemento de seguridad en las bandas transportadoras las cuales pueden ser de longitudes de unos pocos metros hasta varios kilómetros. Como el seccionador de campo comentado anteriormente se coloca siempre junto al motor, se hace necesaria la instalación de otro elemento que pueda actuar a lo largo de toda la cinta. Un interruptor de tirón se trata de un dispositivo mecánico que puede actuarse en dos sentidos mediante el accionamiento de una palanca. A esta palanca se le atan dos cuerdas, normalmente de color rojo, que van paralelas a la cinta y deben ser accesibles en todo su recorrido. Ante una emergencia el operario pegaría un “tirón” del cable y actuaría mecánicamente sobre el interruptor de tirón. Al actuarse este mecánicamente un contacto eléctrico cambiará de posición lo que dará una señal al sistema de control y parará la máquina. Los interruptores de tirón deberán ser colocados a ambos lados de la cinta y dependiendo de su longitud es posible que sea necesaria la instalación de más de uno en cada lado.

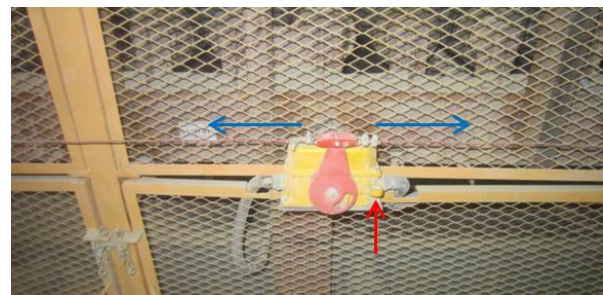


Figura 15. Interruptor de tirón de la marca *KIEPE*® colocado a los lados de una cinta transportadora.

La Figura 15 muestra un tirón de la marca *KIEPE*® [12]. La palanca roja puede ser activada en los dos sentidos que marcan las flechas azules. Una vez actuado es necesario desenclavarlo pulsando la palanca amarilla indicada con una flecha roja.

### C. Interruptor de desvío

El interruptor de desvío (ver Figura 16), como su propio nombre indica, alerta al sistema de control de que una banda transportadora se está desviando. Estos instrumentos se colocan normalmente en los extremos de las cintas y a cada lado, cerca de los tambores de cabeza y de cola y pueden evitar averías importantes. Si una cinta de cierta longitud empezara a desviarse, normalmente debido a que el material que transporta tiende a desplazarse hacia un lado de la banda, y nadie advirtiera el suceso, la cinta podría terminar por sufrir serios daños o incluso partirse.

Se trata, al igual que con el interruptor de tirón, de un sistema mecánico que al ser actuado cambia el estado de un contacto eléctrico. En este caso el interruptor de desvío no se enclava mecánicamente y si la cinta volviera a su posición central, el contacto del dispositivo volvería a su posición de reposo.

En el momento de actuación de uno de los desvíos se activará una señal de aviso en el sistema de control advirtiéndolo de este hecho. Si transcurridos unos segundos la señal de aviso no desaparece esta se convertirá en alarma y el sistema de control dará orden de paro al motor.

Al tratarse de una seguridad para la máquina, tanto en este caso como en el del interruptor de tirón, el contacto eléctrico utilizado será normalmente cerrado por la misma razón que se dio al explicar los contactos de paro y marcha del seccionador de campo.



Figura 16. Detalle de un interruptor de desvío.

### D. Controlador de giro

Los controles de giro o rotación se utilizan en todas las máquinas rotativas y dan información al sistema de control de que la máquina que está accionando el motor se encuentra efectivamente en movimiento.

En la instalación que se está automatizando se pueden encontrar controles de giro en la mayoría de los accionamientos, ya que se tratan de transportadores de placas, trituradoras de martillos, ventiladores accionados por correas, esclusas rotativas y por supuesto bandas transportadoras.

Un controlador de giro debe actuar antes de que el accionamiento quede totalmente bloqueado. Por ejemplo, en el caso de los transportadores de placas, las trituradoras o las esclusas rotativas puede darse el caso de que debido a un atranque, la velocidad de giro del accionamiento baje repentinamente. Ante esta situación el control de giro debe activarse y dará una alarma al sistema de control y este mandará parar la máquina. De este modo se evitará un disparo de las protecciones de la misma. Los controles de giro colocados en los accionamientos movidos por correas advierten además de la rotura de las mismas. Si este dispositivo no se instalara podría darse el caso de que se partieran las correas y nadie se percataría del problema pudiendo provocar daños mayores en la instalación.

En una banda transportadora los controles de giro pueden advertir de una sobrecarga del motor, pero además deben de dar una señal al sistema de control si la cinta se ha partido o si esta está patinando sobre el tambor de cola, lo cual podría provocar su incendio. Como se puede ver en la Figura 17, el control de giro puede tratarse de un simple final de carrera inductivo colocado en el tambor de cola. El sensor inductivo dará una salida digital a 1 cada vez que quede enfrentado al mismo la pieza metálica solidaria al tambor (flecha roja). La cadencia de los pulsos recibidos deberá ser programada en el sistema de control para que durante el arranque de la máquina no de alarma. Una vez pasado el tiempo de arranque, si la cadencia entre pulsos disminuye, deberá de activarse una alarma y se mandará orden de paro a la máquina.



Figura 17. Detalle de la instalación de un controlador de giro en el tambor de cola de una banda transportadora.

Existen controles de giro más sofisticados en los que puede ajustarse directamente la cadencia de los pulsos para que den una salida digital cuando la máquina alcance su velocidad de trabajo. El gran inconveniente que presentan estos dispositivos es que si ocurriera un mal funcionamiento en el mismo y la



salida digital se quedara activada continuamente, incluso con el accionamiento parado, la protección que ofrece el dispositivo quedaría fuera de servicio.

#### E. Medidor de nivel

La medición fiable de nivel ha sido durante largo tiempo un reto que no ha tenido fácil solución. En la industria cementera el llenado de los silos de almacenamiento debe ser controlado continuamente para evitar derrames y desbordamientos de material, lo cual, dependiendo de sus características, podría conllevar situaciones de riesgo para las personas y las máquinas. En los últimos 10 años han aparecido en el mercado medidores de nivel basados en la tecnología radar. Actualmente se pueden encontrar instrumentos de medición en continuo de nivel a precios comedidos y utilizando tecnología de comunicación *HART* a dos hilos.

En la instalación se utilizan dos medidores de nivel de la marca *VEGA®* [13], como el que se muestra en la Figura 18, para la medición del llenado de las tolvas donde se descarga el material. Esta altura debe ser medida para asegurar que siempre exista una capa mínima de material sobre el transportador de placas que hay en el fondo. De esta forma se evitan los impactos directos del material sobre las placas del transportador. En especial hay que tener en cuenta este extremo en la tolva de caliza ya que el material puede llegar en grandes bloques desde la cantera.

El medidor de nivel se programa de tal forma que la señal analógica de 4 a 20 mA que llega al sistema de control indica la altura de llenado en metros de la tolva de descarga. Cuando esta altura de llenado es inferior a un cierto valor el sistema de control manda parar el transportador de placas que hay en el fondo de la tolva correspondiente. Por el contrario, cuando el nivel alcanza un valor máximo el sistema de control manda cambiar la señalización del semáforo que hay junto a la tolva de verde a rojo. Esta indicación alerta a los camioneros de que la tolva está llena y no deben seguir descargando sobre la misma.



Figura 18. Medidor de nivel de la marca *VEGA®* modelo *VEGAPULS 61®* basado en tecnología radar.

#### F. Presostato

Los filtros de mangas se utilizan en la industria para la eliminación del polvo generado durante el proceso. En la instalación de estudio, el polvo generado a la hora de triturar el material es captado por un filtro de mangas. El ventilador que hay a la salida del filtro genera una depresión que es utilizada para conducir el polvo generado en las machacadoras hasta el filtro, compuesto de una serie de mangas filtrantes construidas de un tejido especial capaz de soportar altas temperaturas y presiones. Cuando el aire sucio pasa a través de las mangas el polvo se queda adherido a ellas. Una secuencia de disparos de aire comprimido sobre las mangas hace que el polvo acumulado en las mismas caiga hacia la parte inferior del filtro donde una esclusa rotativa lo descarga hacia el exterior. De esta manera el aire a la salida del filtro está limpio y la instalación puede recuperar todo el material en polvo producido en las machacadoras.

La presión del aire de limpieza debe ser monitorizada por el sistema de control. Si esta presión cayera por debajo de un cierto valor, el polvo no sería eliminado de manera eficiente de las mangas, lo que al cabo de un tiempo provocaría el colapso del filtro. Para evitar esta situación se utiliza un presostato para indicar un valor mínimo de presión de aire (ver Figura 19). Su ubicación será siempre junto al calderín de aire del propio filtro. Cuando esta presión, medida en bares, caiga por debajo de un cierto valor, el sistema de control generará una señal de aviso alertando al operador de sala de control. Será este quien decida cómo actuar a partir de este momento.

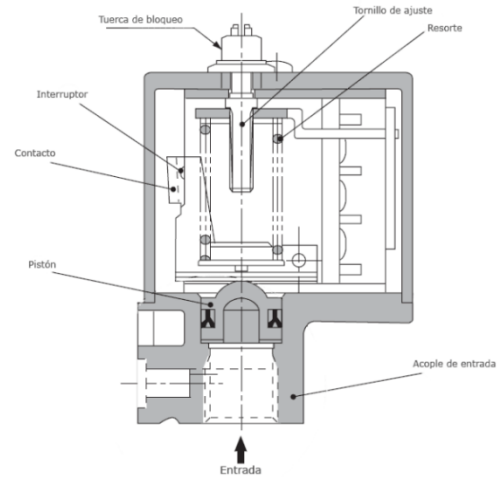


Figura 19. Diagrama interno de un presostato.

Un presostato no es más que un sistema mecánico regulable mediante un tornillo. Este tornillo está sujeto mediante un muelle que es el que presiona sobre la entrada del aire a presión. Cuando la presión del aire esté por encima de la presión ejercida por el muelle se actuará un elemento mecánico que hará a su vez cambiar de posición un contacto eléctrico. Este contacto eléctrico se cableará en posición de normalmente cerrado.

### G. Sensor de vibraciones

Las máquinas de cierta envergadura están sometidas a grandes tensiones y esfuerzos mecánicos. Es por ello que el control de la vibración se hace imprescindible como elemento de seguridad con el fin de evitar daños importantes a la instalación y a las personas. En ventiladores y molinos de cientos e incluso miles de kilovatios de potencia, como los utilizados en la industria del cemento, la medición de la vibración puede evitar averías importantes y de alto coste de reparación.

En la instalación que se está automatizando, los dos accionamientos que mueven las trituradoras de martillos están monitorizados en nivel de vibración. Se ha demostrado que estos motores aumentan el nivel de la vibración a la que están sometidos según aumenta su grado de suciedad. Estos motores tienen refrigeración interna por aire, por lo que, con el tiempo, la cantidad de polvo dentro del mismo puede llegar a ser importante. Conforme crece la suciedad dentro del motor el grado de vibraciones también crece, por lo que la monitorización en continuo de este valor queda más que justificada. Si este valor alcanzase un nivel por encima de cierto límite durante un tiempo establecido, el sistema de control mandaría una orden de paro sobre la máquina.



Figura 20. Sensor de vibraciones de la marca Prüftechnik®. Características: comunicación a 2 hilos 4-20mA, 10 mm/s, 10 Hz – 1 kHz.

Para controlar esta variable, medida en mm/s, se utilizan sendos sensores de la marca Prüftechnik® [14] (ver Figura 20). Este tipo de sensor ha evolucionado mucho en los últimos años. A diferencia de los antiguos y caros sistemas de captación de vibración que necesitaban de una central de recogida de datos alimentada externamente, los nuevos sensores pueden dar señal de proceso directamente al sistema de control. En concreto el modelo Vibrotector está basado en el protocolo de comunicación *HART* a dos hilos, por lo que su instalación es tan sencilla como colocarlo en el lugar a medir y llevar los dos hilos de señal a una entrada analógica activa del sistema de control.

### H. Final de carrera

Los finales de carrera se utilizan para indicar las posiciones extremas de máquinas que pueden desplazarse. También pueden utilizarse como señalización de una situación anormal, como es un desvío en un elevador de canchales. Otra utilización puede ser la de controlar el giro de una máquina como se explicó anteriormente. En concreto, en la instalación que se está automatizando, se utilizan para indicar al sistema de control la posición de las distintas compuertas tipo pantalón que pueden desviar el material hacia dos sitios distintos.

De entre la multitud de finales de carrera distintos existentes, los inductivos son los más utilizados debido a su demostrada fiabilidad, amplio rango de tensiones de trabajo (entre 24 Vcc y 220 Vca), ausencia de mecanismos mecánicos y su inmunidad al polvo y la grasa (ver Figura 21). Estos dispositivos actuarán dando una tensión de salida igual a la de entrada cuando queden enfrentados a una pieza de material ferroso. Para la instalación de estudio se elegirán aquellos modelos que estén alimentados a 24 Vcc y sean de contacto normalmente abierto. De esta manera proporcionarán un uno lógico al sistema de control cuando la pieza en movimiento a detectar esté enfrentada a ellos.



Figura 21. Sensores inductivos utilizados como finales de carrera para la indicación de la posición de una compuerta neumática tipo pantalón.

### I. Báscula integradora

Dentro de la industria cementera es muy utilizado el sistema de medición de caudal mediante básculas de cinta [15]. Estos dispositivos, aunque antiguos en su concepto, pueden controlar con un buen grado de exactitud las toneladas de material transportadas. Son utilizadas, por ejemplo, para controlar las cantidades de los distintos materiales que deben introducirse en los molinos de cemento.

La instalación que se está automatizando dispone de una báscula integradora (211-PD1) mostrada en la Figura 22. La imagen de la izquierda muestra las dos células que mandan indicación a su electrónica del peso sobre la cinta. La imagen de la derecha muestra el final de carrera que calcula la velocidad lineal de la cinta a través de una rueda perforada.

Este tipo de báscula no es exactamente igual al que se utiliza como báscula de alimentación de un molino de cemento, ya que aquí no hay variación de la velocidad de la banda, su única función aquí es medir el peso que transporta la

cinta. Se encuentra colocada en la cinta de subida de caliza a los pórticos (211-BT2) y su función es indicar al sistema de control el caudal instantáneo de material que está pasando por ella. El sistema de control llevará a cabo la tarea de integración de esta señal de caudal y podrá informar de las toneladas totales transportadas durante una jornada de trabajo. Este tipo de básculas llevan asociadas su propia electrónica que recoge tanto las señales desde las distintas células de peso como la velocidad a la que está girando la cinta. Con estas señales y una programación adecuada de ciertos parámetros mecánicos el sistema electrónico de la báscula dará una señal analógica (4 -20 mA) que corresponderá con un rango definido en Tm/h. Esta señal analógica será introducida en el sistema de control.

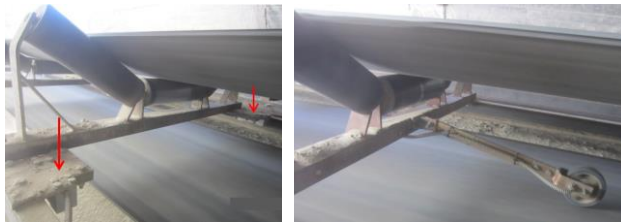


Figura 22. Báscula integradora de cinta.

## VI. SEÑALES UTILIZADAS SEGÚN TIPO DE MOTOR

Los sistemas de control de instalaciones industriales de cierta envergadura deben diseñarse de tal manera que el operador de sala de control tenga la mayor cantidad de información posible a la hora de manejarlo. Está claro que el presupuesto a la hora de automatizar una planta es siempre reducido, pero un sistema de control que monitorice todas aquellas señales del proceso importantes redundará en un posterior incremento en los beneficios de la empresa.

Cuanto mayor sea la información que proporcione el sistema de control, mayor será la eficiencia a la hora de operar la planta, el tiempo en la resolución de averías disminuirá y la producción, por ende, aumentará. Aunque cueste decirlo desde el punto de vista del trabajador, un buen sistema de control podrá repercutir en una disminución del personal, ya que la mayor cantidad de información a disposición del operador hará que las funciones de empleados de perfil más eléctrico queden minimizadas. Por el contrario, se harán necesarios, dentro del departamento de mantenimiento, trabajadores con perfil más electrónico y con conocimientos en la programación de PLC's.

Dependiendo de la máquina a monitorizar, el sistema necesitará distintas señales de control, siendo muchas de ellas comunes a todos los accionamientos que intervienen. A continuación se expondrán estas señales agrupadas según tipo de motor y que se resumen en las Tablas 1 y 2.

### A. Motor Normal

Se define un motor normal como aquel que se arranca de forma directa mediante la acción de un contactor. Este tipo de

arranque es el más utilizado en aquellos accionamientos que funcionarán a su velocidad nominal y en un sólo sentido de rotación.

#### 1) Orden de marcha

Como su propio nombre indica, es la orden que libera el sistema de control para poner en marcha una máquina del proceso. Se trata de una salida digital que proporciona una tensión de 24Vcc y que es utilizada para activar la bobina de un relé de mando. Este relé de mando cerrará un contacto que será el que suministre una tensión de 220Vca a la bobina del contactor que alimenta al motor, poniéndose este en marcha.

#### 2) Respuesta de marcha

Cuando el contactor que alimenta el motor ha sido accionado tras llegarle tensión a su bobina, además de cerrar los tres contactos de potencia, cerrará asimismo un contacto auxiliar. Este contacto auxiliar devolverá una señal de 24Vcc al sistema de control. Por tanto, se trata de una entrada digital que informa al sistema que efectivamente la máquina ha comenzado a girar después de recibir la orden de marcha. Si tras darse la orden de marcha el sistema de control no recibiera esta señal al cabo de unos breves instantes, se generaría una alarma de "fallo de respuesta" y se desactivaría la orden de marcha. Este tipo de fallo puede originarse cuando exista un problema en el contactor.

#### 3) Protecciones

Como ya se ha comentado en apartados anteriores, los motores deben estar protegidos contra posibles sobrecargas y sobreintensidades. Estas protecciones estarán vigilando continuamente el consumo del motor que protegen y actuarán en caso de darse una de las dos contingencias anteriores. Si las protecciones de un motor se disparasen, aparte de abrirse el circuito de alimentación al motor, se mandaría una señal al sistema de control advirtiéndole de esta eventualidad. Ante esta situación el sistema de control generaría una alarma y desactivaría la orden de marcha del motor. Se trata por tanto de una entrada digital a 24Vcc al sistema de control. Los contactos de los relés térmicos y de sobreintensidad se cablearán en serie y utilizando los del tipo normalmente abiertos. Esto quiere decir que en condiciones de uso estarán cerrados, dando un uno lógico al sistema de control hasta que alguno de los elementos se dispare.

Las tres señales comentadas anteriormente son las que intervienen directamente en el centro de control de motores (CCM). A continuación se explicarán cuáles son las señales de campo que intervienen en un motor de tipo normal.

#### 4) Marcha local

En el apartado V, dedicado a la instrumentación de campo, se explicaron cuáles eran los motivos principales para la colocación de los seccionadores de campo. Estos dispositivos llevan adosados una serie de pulsadores para poder accionar el motor en modo local. La marcha local se trata de una señal digital a 24Vcc cableada a través de un contacto normalmente

abierto. Cuando el operador de sala de control habilite el modo local en el sistema de control, este liberará una orden de marcha al motor cuando reciba un uno lógico por esta entrada.

#### 5) *Paro local*

Esta entrada digital a 24 Vcc se cableará a través de un contacto normalmente cerrado. Es decir, el sistema de control estará siempre monitorizando un uno lógico en esta posición. Si en algún momento perdiera este uno lógico, debido al accionamiento del pulsador de paro, el sistema de control generaría una alarma de “paro local sin permiso” y desactivaría la orden de marcha de la máquina.

#### 6) *Seccionador*

La palanca mecánica que abre las cuchillas de potencia del seccionador lleva acoplados una serie de contactos. Uno de ellos del tipo normalmente abierto se cableará al sistema de control como entrada digital a 24 Vcc. Esta entrada en condiciones de trabajo estará dando un uno lógico al sistema de control. Si por cualquier motivo esta entrada pasara al estado de cero lógico el sistema de control generaría una alarma de “seccionador abierto” y deshabilitaría la orden de marcha del motor en cuestión.

Tipo de señal	Entrada Digital	Salida Digital
Orden de marcha		NO
Protecciones	NC	
Respuesta de marcha	NO	
Marcha local	NO	
Paro local	NC	
Seccionador	NC	

Tabla 1. Listado de señales pertenecientes a un motor normal divididas según tipo, contacto normalmente abierto (NO) y contacto normalmente cerrado (NC).

### B. *Motor Reversible*

Existen motores que por el trabajo que realizan deben ser accionados en ambos sentidos, tales como compuertas motorizadas, cintas transportadoras, sinfines, etc. La única diferencia entre un motor normal y un motor reversible, desde el punto de vista del sistema de control, es que contará con dos órdenes de marcha, izquierda (X) y derecha (Y), y por lo tanto también con dos respuestas de marcha. También deberá de tener dos marchas locales, tanto izquierda como derecha, ya que deberá ser posible accionar el motor en modo local en ambos sentidos.

Tipo de señal	Entrada Digital	Salida Digital
Orden de marcha X		NO
Orden de marcha Y		NO
Protecciones	NC	
Respuesta de marcha X	NO	
Respuesta de marcha Y	NO	
Marcha local X	NO	
Marcha local Y	NO	
Paro local	NC	
Seccionador	NC	

Tabla 2. En un motor reversible el número de órdenes de marcha, respuestas de marcha y marchas locales se dobla con respecto a un motor normal.

### C. *Banda Transportadora*

Este tipo de accionamiento utilizará las mismas señales que un motor normal además de otras señales de campo que se asociarán a este tipo de máquina. Como ya se explicó en el apartado V, a las bandas transportadoras es aconsejable instalarles una serie de elementos de campo que vigilan constantemente el óptimo funcionamiento de las mismas. Se explicará a continuación cómo son las señales que estos elementos envían al sistema de control y que se resumen en la Tabla 3.

#### 1) *Tirón*

Se trata de una señal digital a 24 Vcc cableada a través de un contacto normalmente cerrado. Existirán dos entradas de tirón por máquina al sistema de control (tirón 1 y tirón 2). Cada una señalará el tirón a un lado y a otro de la banda. Si la cinta es muy larga y se instala más de un tirón por lado, los contactos de cada lado se cablearán en serie.

Cuando alguno de estos interruptores se accione mecánicamente, la entrada correspondiente al sistema de control cambiará al estado de cero lógico. En este momento el sistema de control activará una alarma y desactivará la orden de marcha del motor.

Al tratarse de un elemento de seguridad, se hace imperativo el paro de la máquina cuando estos interruptores se activen. Para eludir cualquier tipo de problema en el sistema de control que impidiera el paro del motor, deben de cablearse otro juego de contactos, de forma que ante una activación de uno de los dispositivos se corte la tensión de mando del accionamiento en cuestión, lo que provocará un paro inmediato de la máquina.

#### 2) *Desvío*

Los desvíos de banda son cableados de igual modo que los interruptores de tirón al sistema de control. Se utilizarán entradas digitales a 24 Vcc a través de contactos normalmente cerrados. Si hay más de un interruptor de desvío a cada lado de la cinta los contactos se cablearán en serie. Si uno de los desvíos es activado la entrada correspondiente en el sistema de control cambiará al estado de cero lógico. En este momento el sistema de control activará un aviso advirtiendo de tal eventualidad. Si durante un cierto tiempo no cambiara el

estado de esta entrada, el sistema de control generaría una alarma y desactivaría la orden de marcha de la máquina.

### 3) *Control de giro*

Se utilizarán entradas digitales a 24 Vcc para la monitorización de esta señal. El sensor inductivo estará enviando constantemente una cadencia de ceros y unos al sistema de control informando al mismo de que la máquina está en movimiento. Si la cadencia de envío de ceros y unos cambiara durante cierto tiempo el sistema generará una alarma y desactivará la orden de marcha de la máquina. Habrá que tener en cuenta que durante el arranque de la máquina esta alarma deberá estar inhibida hasta que el accionamiento alcance su velocidad nominal.

Los transportadores de placas tendrán las mismas señales que las bandas transportadoras a excepción de los desvíos, ya que son máquinas que se mueven por medio de ruedas encajadas en raíles y no cabe la posibilidad de desviación. Por su lado, las válvulas rotativas o esclusas utilizarán sólo el control de giro para informar al sistema de control de un atranque en la máquina antes de que esta dispare por protecciones.

Tipo de señal	Entrada Digital	Salida Digital
Orden de marcha		NO
Protecciones	NC	
Respuesta de marcha	NO	
Marcha local	NO	
Paro local	NC	
Seccionador	NC	
Desvío 1	NC	
Desvío 2	NC	
Tirón 1	NC	
Tirón 2	NC	
Control de giro	Pulsos	

Tabla 3. En las cintas transportadoras deben estar presentes las señales de desvío, tirón y control de giro para evitar posibles daños a la instalación y a las personas.

### D. *Motor de Velocidad Variable*

Este tipo de accionamiento está controlado mediante un variador de frecuencia. Las señales que intervienen son, aparte de las correspondientes al tipo de máquina a mover, todas aquellas que tengan relación con el variador en sí. Se comentarán a continuación y se resumen en la Tabla 4.

#### 1) *Fallo variador*

Se trata de una señal digital a 24 Vcc de entrada al sistema de control. Esta señal se cableará a través de uno de los relés de salida del variador, cuyo contacto se mantendrá cerrado siempre y cuando el variador se encuentre listo para arrancar. Si se produjera cualquier fallo en el variador el relé cambiaría

de estado. La señal de entrada al sistema de control cambiaría al estado de cero lógico y se activaría una alarma denunciando este evento. Al mismo tiempo el sistema de control eliminaría la orden de marcha de la máquina.

#### 2) *Set point velocidad*

Mediante esta señal se podrá indicar al variador de frecuencia la velocidad que se quiere conseguir en el motor en cada momento. Se trata, por tanto, de una salida analógica de 4 a 20 mA del sistema de control cableada directamente a la entrada del variador de velocidad que se haya programado como referencia de velocidad.

Las variables de proceso son señales analógicas que informan o, como en este caso, actúan sobre dispositivos de campo. La utilización de señales de 4 a 20 mA es cada vez más extendida por sus ventajas demostradas ante las señales analógicas medidas en voltios. Una señal en amperios estará mucho menos afectada por la distancia del cableado que las señales en voltios. Además, el rango de 4 a 20 mA advierte al sistema de una posible rotura en el cableado o una falla del instrumento si tenemos una señal de 0 mA.

#### 3) *Respuesta de velocidad*

Al igual que ocurre con las órdenes de marcha y respuestas de marcha, que en este caso se cablearán directamente a una entrada y salida digital del variador de frecuencia, la respuesta de velocidad será una salida analógica de 4 a 20 mA cableada desde el variador de frecuencia hasta una entrada analógica del sistema de control. Esta señal deberá ser programada en el variador de frecuencia de forma que 4 mA correspondan a una velocidad de 0 rpm y 20 mA correspondan con la velocidad nominal del motor.

#### 4) *Subir velocidad local*

La actuación en modo local de las máquinas accionadas mediante variador de frecuencia deberá permitir, además del arranque y paro de las mismas, la posibilidad de variar su velocidad. Esta es la razón por la que junto a los pulsadores de marcha y paro se instalarán dos pulsadores más, cableados a través de un contacto normalmente abierto, para el incremento y decremento de la velocidad. La señal de subir velocidad se tratará por tanto de una entrada digital a 24 Vcc al sistema de control. Cuando la máquina haya sido habilitada en modo local, el sistema de control incrementará el valor de la consigna de velocidad al variador de frecuencia de manera continua durante todo el tiempo que la señal de entrada subir velocidad esté a uno lógico.

#### 5) *Bajar velocidad local*

Esta entrada digital a 24 Vcc hará exactamente lo contrario que la anterior.

#### 6) *Intensidad*

Entre las muchas variables que puede monitorizar y medir un variador de frecuencia está el consumo instantáneo en amperios del motor. Esta señal será por tanto una entrada analógica de 4 a 20 mA al sistema de control, cableada

directamente desde una salida analógica del variador de frecuencia.

Para evitar en la medida de lo posible interferencias a la hora de transmitir señales analógicas, se recomienda la utilización de mangueras de cable con pares trenzados y apantallados. También es recomendable la conexión de la pantalla en sólo un extremo del cable, normalmente en el extremo de las entradas al sistema de control.

Los accionamientos movidos a través de un arrancador suave diferirán de un motor normal en que la señal de fallo de arrancador deberá de cablearse al igual que se hace con la de fallo de variador. Algunos arrancadores recientes también tienen la posibilidad de cablear una salida analógica para la medición de intensidad de consumo. En la Tabla 4 aparece un resumen de las señales explicadas anteriormente pero, dependiendo de la máquina en cuestión, se hará necesario o no el uso de otras señales como el tirón, el desvío o el control de giro.

Tipo de señal	Entrada Digital	Salida Digital	Entra. Analóg.	Salida Analóg.
Orden de marcha		NO		
Protecciones	NC			
Respuesta de marcha	NO			
Marcha local	NO			
Paro local	NC			
Bajar velocidad local	NO			
Subir velocidad local	NO			
Seccionador	NC			
Fallo variador	NC			
Intensidad			4-20 mA	
Respuesta velocidad			4-20 mA	
Set Point velocidad				4-20 mA

Tabla 4. Listado de señales mínimo utilizado para el control de un motor accionado mediante variador de frecuencia.

### E. Motor de Media Tensión

En apartados anteriores se analizaron los motores que accionan las dos trituradoras de martillos. Estos motores, debido al tipo de arranque que poseen y a la envergadura de los mismos, necesitan de algunas señales específicas a monitorizar por el sistema de control. De entre ellas las señales que están directamente ligadas al arrancador líquido son las más numerosas. También hay que tener en cuenta que en este tipo de motores no existe la señal de seccionador. Dichas señales se describen a continuación y se resumen en la Tabla 5.

#### 1) Máxima resistencia

Se trata de una señal digital de entrada a 24 Vcc al sistema de control. Estará cableada a través de un contacto normalmente cerrado del final de carrera que indique que el

reóstato está en su posición de máxima resistencia.

#### 2) Mínima resistencia

Igual que el anterior pero indicando que el reóstato está en posición de mínima resistencia.

#### 3) Reóstato subiendo/bajando

El motor que actuará sobre los contactos móviles del reóstato se comportará como un motor reversible. Tendrá por tanto dos contactores, uno de ellos para subir, que actuará cuando desaparezca la orden de marcha al motor de la trituradora, y otro para bajar, que actuará al dar marcha a la trituradora. Serán los finales de carrera de máxima y mínima resistencia los que paren el accionamiento del reóstato. Un contacto auxiliar normalmente abierto en cada uno de estos contactores se cableará como entrada digital a 24 Vcc al sistema de control.

#### 4) Fallo reóstato

Si dispararan las protecciones del cuadro eléctrico que gobierna el reóstato, el sistema de control debe actuar produciendo una alarma y eliminando la orden de arranque del motor. Por tanto, se trata de una entrada digital a 24 Vcc al sistema de control.

#### 5) Nivel mínimo reóstato

Con el tiempo, el electrolito que llena la cuba del reóstato puede bajar de nivel debido a la evaporación. Si este nivel alcanza una altura mínima se activará un final de carrera. Un contacto normalmente cerrado de este final de carrera estará cableado al sistema de control a través de una entrada digital a 24 Vcc. Ante el cambio de estado a cero lógico, el sistema de control generará un aviso. A partir de este momento será el departamento de mantenimiento quien decida cuando acometer la tarea de rellenar el electrolito. Una solución sencilla para minimizar la evaporación del mismo es verter un poco de aceite dieléctrico en la cuba del reóstato. Como el aceite pesa menos que el agua, este formará una capa superficial por encima del electrolito, lo que minimizará los efectos de la evaporación.

#### 6) Temperatura máxima reóstato

El electrolito que llena la cuba del reóstato es el encargado de ir reduciendo la resistencia entre las fases del rotor del motor durante el tiempo de arranque. En este tiempo las corrientes que circulan a través del líquido pueden llegar a ser importantes. Estas corrientes hacen aumentar la temperatura del electrolito, lo cual podría provocar que este perdiera alguna de sus propiedades. Podría darse el caso de que en un arranque del motor el accionamiento del reóstato no llegara a funcionar, lo que provocaría que el motor trabajara con el bobinado del rotor abierto. Toda la corriente del rotor pasaría a través del electrolito lo que terminaría calentándolo por encima de la temperatura de ebullición. Con el fin de evitar este problema se utiliza un termostato para avisar al sistema de control de que la temperatura del electrolito ha alcanzado un nivel peligroso. Otra seguridad más para evitar esta

contingencia es programar el PLC de tal forma que si tras unos segundos después de la orden de marcha al motor no ha llegado la señal de mínima resistencia se elimine esta orden. También es necesario limitar el número de arranques por hora en este tipo de máquinas, para impedir en la medida de lo posible el calentamiento excesivo del electrolito. Para máquinas de gran potencia el número recomendado de arranques en una hora es de un máximo de 4.

Se tratará por tanto de una entrada digital a 24 Vcc al sistema de control cableada a través de un contacto normalmente cerrado del termostato que vigila la temperatura del electrolito.

#### 7) Vibraciones

Un captador de vibraciones colocado en la bancada del motor dará información al sistema de control del nivel de esta variable. Se trata de una entrada analógica de 4 a 20 mA de tipo activo, es decir, la tarjeta analógica de *Siemens*® tendrá que suministrar un lazo de corriente al dispositivo. Este lazo de corriente será el que se utilice como medidor de la señal. En el sistema de control se establecerán unos límites para esta variable. Si se supera el primer límite se generará un aviso, si este límite se mantiene durante un tiempo o se alcanza el segundo límite se generará una alarma y se desactivará la orden de marcha de la máquina.

#### 8) Temperatura bobinado

Los motores de cierta entidad pueden llevar incorporados entre las bobinas del estator una serie de sensores de temperatura tipo PT-100 para controlar la temperatura del mismo. Aunque un motor está inicialmente construido para funcionar a una determinada intensidad nominal, el verdadero límite de intensidad de consumo que podría soportar sin que este sufriera daños en el bobinado, sería aquel que no supusiera un aumento excesivo en su temperatura. De hecho, los motores de gran potencia pueden por lo general trabajar de forma estable por encima de su intensidad nominal siempre y cuando se mantengan bien refrigerados y se controle en todo momento la temperatura del bobinado. Esta señal de temperatura a través de PT-100 (resistencia variable en torno a los 100 Ohm entre dos hilos más uno de compensación) se cableará directamente a una entrada del sistema de control del tipo adecuado.

Tipo de señal	Entrada Digital	Salida Digital	Entrada analógica
Orden de marcha		NO	
Protecciones	NC		
Respuesta de marcha	NO		
Marcha local	NO		
Paro local	NC		
Control de giro	Pulsos		
Reóstato subiendo	NO		
Reóstato bajando	NO		
Máxima resistencia reóstato	NC		
Mínima resistencia reóstato	NC		
Fallo reóstato	NC		
Nivel mínimo reóstato	NC		
Temperatura máxima reóstato	NC		
Intensidad			4-20 mA
Vibraciones			4-20 mA
Temperatura bobinado			PT-100

Tabla 5. Listado de señales mínimo utilizado para el control de un motor de media tensión.

## VII. IDENTIFICACIÓN DE LAS SEÑALES

Una vez que se han definido las distintas señales pertenecientes a cada tipo de máquina, se precede a su identificación individual. Las señales utilizadas en el sistema de control deberán poseer un nombre identificativo propio, ya que será este el que se utilice para definir las en la programación del autómatas.

La definición de las señales establecida corresponde a una norma interna de la empresa en la cual cada zona viene definida por un número de tres cifras. En el caso de estudio la trituración de caliza y el transporte hasta su almacenamiento se identifica con el número 211. Por su parte, la trituración y transporte de marga se identifica por el número 221, como ya se pudo comprobar durante la descripción del proceso en el apartado III. A continuación se añadirá un guión y una identificación de 3 caracteres que pueden ser numéricos o alfanuméricos dependiendo del tipo de accionamiento. El tercer carácter define el número de máquina de un cierto tipo que hay en la instalación. Como existen más de una banda transportadora en una misma línea, se identificará cada una de ellas por un tercer número distinto, BT1, BT2, etc.

Se explicará a continuación la nomenclatura que define cada tipo de motor: BT identifica una “Banda Transportadora”, CY identifica un “Carro Móvil”, DM identifica un “Desvío de Material” o compuerta, VR identifica una “Válvula Rotativa”, GU identifica un “Gusano” o sinfín, VE identifica un “Ventilador”, FT identifica un “Filtro”, TB identifica una “Trituradora de Material”, TP identifica un “Transportador de Placas”, PD identifica una “Báscula Integradora”, TL identifica una “Tolva” y un RD identifica un “Rascador de Cadena”. Otras identificaciones que aparecen constan de dos números y un carácter alfanumérico como son

los semáforos y señales de arranque (2W) y los reóstatos de arranque de las machacadoras de martillos (1R). Algunas de las nomenclaturas utilizadas no coinciden exactamente con el nombre de la máquina, ya que es una nomenclatura desarrollada en países de habla inglesa.

Por último, es necesario identificar cada señal correspondiente a cada accionamiento con un nombre identificativo. Para ello se utilizará el nombre de siete caracteres que identifica la máquina, por ejemplo 211-BT1 seguido de un nuevo juego de caracteres que será específico del tipo de señal.

A continuación se explica la nomenclatura que define las señales más comunes que pueden encontrarse en una máquina. Para consultar el listado completo de las señales utilizadas en la instalación remitimos al lector al apartado anexos donde podrá encontrarlo. :D identifica una “Orden de Marcha”, :K identifica las “Protecciones Eléctricas” de una máquina, :R identifica una “Respuesta de Marcha”, :U identifica la señal del “Seccionador”, :S identifica el pulsador de “Paro Local”, :G identifica el pulsador de “Marcha Local”, .Dx:F identifica un “Desvío” (la x será un 1 o 2 diferenciando cual de los dos desvíos es), .S1:PLS identifica un “Control de Giro” de tipo pulsante, .Rx:J identifica un “Tirón”, donde la x tiene el mismo significado que en los desvíos.

VIII. CABLEADO ELÉCTRICO

Con las señales ya definidas e identificadas con su nombre, el siguiente paso que debe tomarse para implementar la automatización es el desarrollo de los planos eléctricos por máquina. En estos planos aparecerán de forma clara el nombre de la señal, que identificará el tipo del que se trata, así como la dirección de la entrada o salida al sistema de control.

Las Figuras 23 y 24 representan los esquemas eléctricos de una cinta transportadora. En estos esquemas aparecen todas las señales que se agrupan en un mismo accionamiento, ya sean señales tanto en CCM como en campo. Es muy importante a la hora de dibujar los esquemas tener en cuenta el tipo de contacto utilizado en cada instrumento, si es normalmente abierto (NO) o normalmente cerrado (NC), como ya se explicó en los apartados anteriores y seguir siempre la norma de que cualquier señal que suponga un paro de la máquina debe cablearse a través de un contacto normalmente cerrado y cualquier señal que suponga una indicación de posición o un arranque de máquina debe cablearse a través de un contacto normalmente abierto.

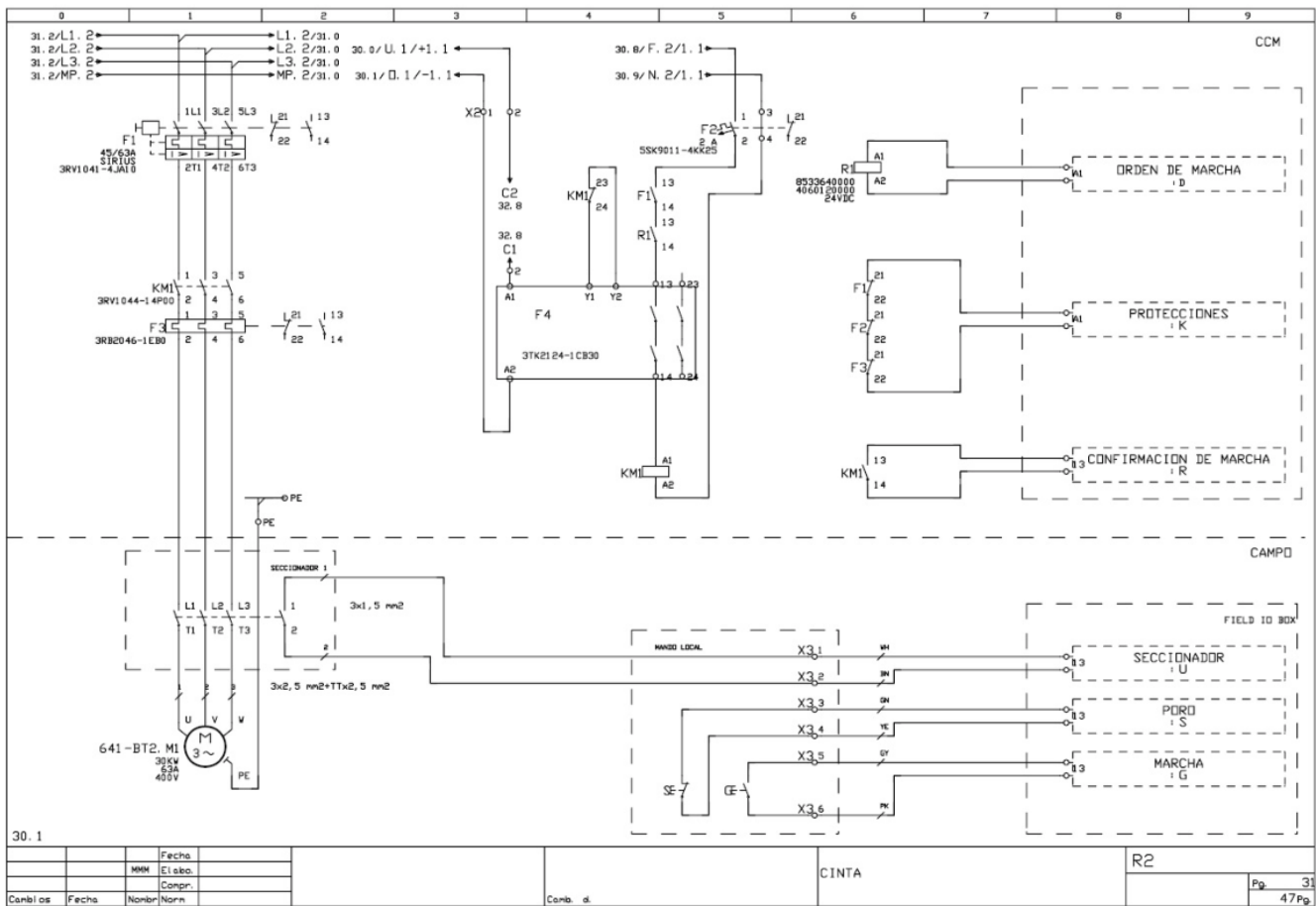


Figura 23. Esquema eléctrico de una banda transportadora (I). Si eliminamos el cableado del relé de seguridad tendríamos el esquema eléctrico básico de cualquier accionamiento.



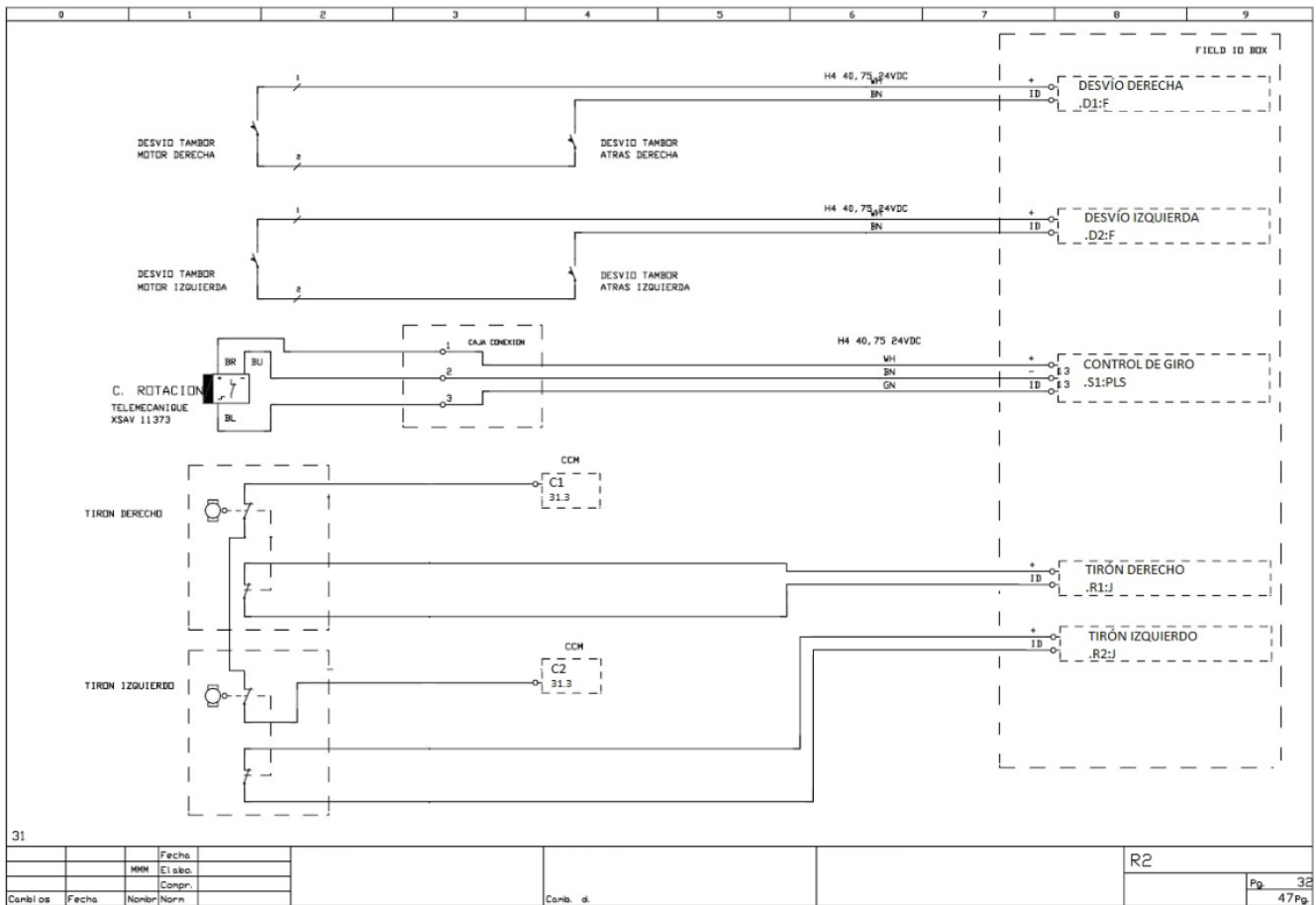


Figura 24. Esquema eléctrico de una cinta transportadora (II). Aquí quedan definidas e identificadas las señales de campo típicas de una banda transportadora, los desvíos, el control de giro y los tirones.

## IX. COMUNICACIONES

### A. Bus de Campo

En las grandes instalaciones industriales las distancias entre los distintos puntos a controlar pueden ser considerables. En una fábrica de la envergadura como la que se está tratando se hace primordial el uso de sistemas de comunicación fiables.

La instalación de trituración primaria se encuentra a unos 400 metros de la sala de control. Esta instalación estará controlada por un PLC que gobernará a su vez otras instalaciones de la fábrica, en concreto los parques de caliza y marga y el molino de crudo. Como estas instalaciones se encuentran separadas unas de otras, es necesario unirlas todas ellas a través de una misma red de comunicaciones. Para conformar esta red se ha utilizado el protocolo de comunicaciones Profibus DP, utilizando fibra óptica para salvar grandes distancias. Las comunicaciones mediante fibra óptica tienen la gran ventaja con respecto a otro tipo de cableado utilizado en que, aparte del gran ancho de banda y altas velocidades de transmisión que son capaces de soportar, son totalmente inmunes a las posibles inducciones que se generan al pasar junto a otros cableados de potencia.

La estructura utilizada ha sido en anillo redundante. La gran ventaja que tiene esta estructura con respecto a otras como puede ser en estrella o árbol, es que si se partiera la fibra óptica en algún punto, al estar todos los nodos comunicados por dos sitios distintos, se mantendría el sistema en funcionamiento, dando un aviso anunciando tal eventualidad, pero sin parar la instalación [16].

La manguera utilizada para el trazado de la fibra óptica contiene 12 pares y está tratada con un producto repelente a los roedores. Dado lo delicado de este tipo de material, para evitar en la medida de lo posible una rotura de la misma, la tirada de manguera de fibra óptica se ha hecho en su totalidad bajo tubo de acero en aquellas partes donde no existía canalización subterránea. También se ha utilizado una bandeja metálica cerrada para canalizar la fibra óptica por dentro de la galería de cables subterránea de la fábrica.

La instalación de trituración primaria pertenece al anillo de fibra óptica del molino de crudo y sólo engloba las cajas de fibra óptica FO.MC1 y FO.MC2 además de la que se

encuentra en la sala de control (SC) (ver Figura 25). Como los 5 anillos restantes que recorren las distintas zonas de fábrica, este comenzará y terminará en el armario de cajas de fibra óptica que hay en sala de control. Desde aquí, y como se aprecia en la Figura 25, el recorrido de la fibra óptica será tal que alcance en la medida de lo posible la mayoría de los puntos que intervienen en la instalación. El objetivo de esta distribución de cajas de fibra óptica por todo el campo, es que la distancia máxima entre estas cajas y los nodos Profibus de entradas y salidas del sistema de control no queden distanciados más de 100 metros, ya que esta conexión se hará mediante manguera Profibus a 2 hilos.

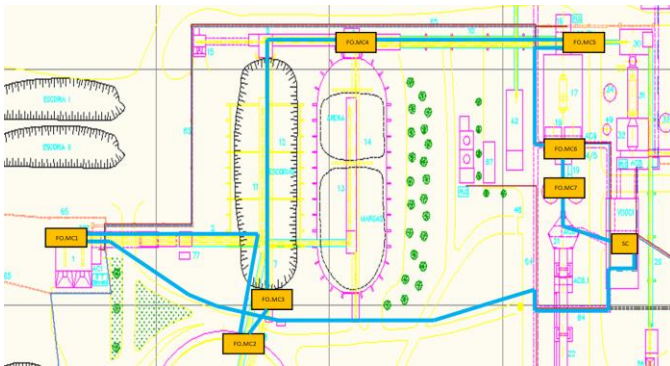


Figura 25. Distribución del anillo de fibra óptica perteneciente a la instalación del crudo. La instalación de trituración primaria sólo engloba las cajas de fibra óptica FO.MC1 y FO.MC2.

Las cajas de fibra óptica distribuidas por la instalación contendrán toda la aparatada necesaria para la alimentación de los dispositivos que convertirán la señal luminosa (manguera de fibra óptica) en señal eléctrica (cableado Profibus). En ellas se localizarán las cajas donde se fusionarán las distintas fibras ópticas para ir conformando el anillo del bus de comunicaciones. Cada manguera dispone de 12 pares de fibras ópticas. Los pares que no se utilizan quedarán como reserva.

En la Figura 26 se puede observar que existen dos cajas de fusiones correspondientes a dos mangueras distintas. Una de ellas será la propia del anillo de comunicaciones de la instalación y la otra pertenece a un anillo extra que se ha conformado llegando a todos los puntos de la fábrica para comunicar dispositivos externos al sistema de control mediante protocolo de comunicaciones Ethernet.



Figura 26. Detalle de una caja de campo para el fusionado de las fibras ópticas y la conversión a cableado eléctrico.

### B. Periferia distribuida

La distribución de las distintas señales de entrada y salida del sistema de control se dividirán en dos grandes grupos diferenciados. Por un lado se tendrán las señales pertenecientes al centro de control de motores o CCM (orden de marcha, respuesta de marcha, fallo de protecciones, etc.) y por otro se tendrán las señales pertenecientes al campo (pulsador de marcha, pulsador de paro, seccionador, etc.)

En los CCM's los armarios eléctricos están contruidos de forma modular accesible mediante puertas. Dependiendo de la potencia y del tipo de accionamiento a controlar, en cada módulo o puerta pueden cablearse un número distinto de arrancadores, no llegando nunca a sobrepasarse el número de 10. Estos armarios eléctricos están actualmente cableados de forma que son incompatibles con el nuevo sistema de control. Aprovechando que es necesario recablear las señales implicadas en los armarios del CCM, se va a instalar un nodo Profibus DP de entradas y salidas por puerta que recoja todas las señales involucradas en ese módulo. En la instalación de trituración primaria será necesario colocar 8 nodos Profibus DP para controlar todas las señales del CCM. Estos nodos tendrán direcciones distintas y se comunicarán con el PLC a través de una serie de dispositivos que convertirán las señales eléctricas del bus de comunicaciones en luminosas para transmitir las a través de fibra óptica y posteriormente convertirlas nuevamente en señales eléctricas como se verá más adelante.

La periferia distribuida se llevará a cabo mediante módulos de entradas y salidas, tanto digitales como analógicas, pertenecientes a la gama ET 200S de Siemens® [17] (ver Figura 27). Esta gama de producto presenta ciertas ventajas con respecto a otros fabricantes. Por un lado es posible encontrar módulos para casi cualquier tipo de señal que se necesite. Es incluso posible encontrar módulos que recogerán directamente la señal de una célula de peso para poder

programar una báscula. Los módulos no están cableados, siendo la base donde se conectan la que contendrá todo el cableado hacia o desde los distintos instrumentos de campo. Esta característica, junto con la posibilidad de sustituir un módulo averiado por otro nuevo “en caliente” minimizarán sobremanera las tareas de mantenimiento. Además, las distintas posibilidades de diagnóstico y los diferentes leds de estado, facilitarán la detección y resolución de averías.



Figura 27. Detalle del tipo de tarjetas de entradas y salidas utilizadas pertenecientes a la gama ET 200S de *Siemens*®.

El otro gran grupo de señales que debe controlar el sistema son todas aquellas generadas en el campo. Como las distancias son grandes entre unos puntos y otros de la instalación, la solución propuesta es la colocación de una serie de cajas de campo repartidas en diferentes puntos donde se recogerán estas variables. El objetivo es evitar que, en la medida de lo posible, existan más de 50 metros de distancia entre el dispositivo físico y la caja de campo más cercana. La gran ventaja desde el punto de vista económico y de mantenimiento de este tipo de arquitectura distribuida radica en la eliminación de kilómetros de manguera de cobre con respecto a una distribución centralizada típica. Por otro lado, aunque en un principio el operador de mantenimiento eléctrico pueda sentirse un poco confundido por la nueva distribución de las señales, con el tiempo comprueba que la nueva configuración es mucho más funcional, ya que las entradas y salidas al sistema de control están siempre mucho más cerca del dispositivo en cuestión que con la otra arquitectura.

En la instalación de trituración primaria se colocarán tres cajas de campo localizadas en tres puntos distintos que serán las encargadas de recoger todas las señales generadas en cada zona. Así como se hará en cada módulo del CCM, en cada caja se cableará un nodo Profibus con los diferentes tipos de tarjetas *Siemens*® de entradas y salidas. Como puede verse en la Figura 28, los cables de color azul que llegan al conector de la izquierda son específicos para comunicación Profibus. Cada nodo tendrá un direccionamiento único dentro de la red de comunicaciones.

Habrà que tener en cuenta que será necesario dejar siempre un 30% de tarjetas de reserva de cada tipo por módulo en previsión de futuras ampliaciones. El tipo de caja que se utilizará estará construida en acero inoxidable para evitar el

deterioro de la misma debido a la corrosión. En esta caja también se albergarán las distintas protecciones y los dispositivos electrónicos para la conversión de la señal del bus de campo de eléctrica a luminosa y viceversa.



Figura 28. Detalle de un nodo de entradas y salidas.

### C. PLC

El PLC que se encargará de controlar todo el sistema será de la marca *Siemens*®, en concreto el modelo CPU 416-3 PN/DP (416-3ES06-0AB0) de la gama Simatic S7 400 [18] (ver Figura 29) alimentado a través de una fuente de alimentación de 10 amperios PS 407 10A (407-0KA02-0AA0). Este modelo está especialmente diseñado para controlar instalaciones donde están involucradas un gran número de señales. En concreto la instalación de trituración primaria consta de unas 300 señales en total. No hay que olvidar que este PLC tendrá que controlar finalmente una instalación mucho mayor, siendo el número total de señales cercanas a las 2000. La gran capacidad de expansión de este PLC es una de las razones por las que se ha elegido. La arquitectura implantada permite ir ampliando el sistema según las necesidades de la planta. Una vez que el anillo de comunicaciones está en funcionamiento la ampliación del sistema es relativamente sencilla. Sólo hay que dar de alta los nuevos nodos esclavos de señales en campo y realizar su correspondiente programación. La comunicación del PLC con el resto de la red se hará mediante la colocación de una tarjeta específica, en concreto el modelo CP 443-5 EXT (443-5DX05-0XE0), especialmente diseñada para el bus de comunicaciones Profibus DP.



Figura 29. Detalle del PLC utilizado para el control de la instalación de la gama Simatic S7 400. Módulos instalados: Fuente de alimentación PS 407 10A, CPU 416-3 PN/DP, Tarjeta de comunicaciones Ethernet CP 443-1 y tarjeta de comunicaciones Profibus CP 443-5 EXT.

D. Anillo redundante

La Figura 30 representa el diagrama de comunicaciones completo entre el PLC y los distintos nodos de entradas y salidas de campo. Se explicará a continuación cómo se lleva a cabo la comunicación a través de todo el anillo redundante de comunicaciones.

La conexión del PLC con el bus de campo se realiza mediante un conector eléctrico de 9 pines localizado en la tarjeta de comunicaciones Profibus CP 443-5 EXT. El otro extremo de la conexión se encuentra en la entrada de OLM® (Optical Link Module) de la marca Siemens® [19]. Este dispositivo es el encargado de convertir la comunicación del bus Profibus DP de cobre a fibra óptica. De aquí se lleva a cabo la comunicación hasta el armario principal donde están situadas las distintas cajas de fusión de fibra óptica en sala de ingeniería. Desde este punto partirán las distintas mangueras

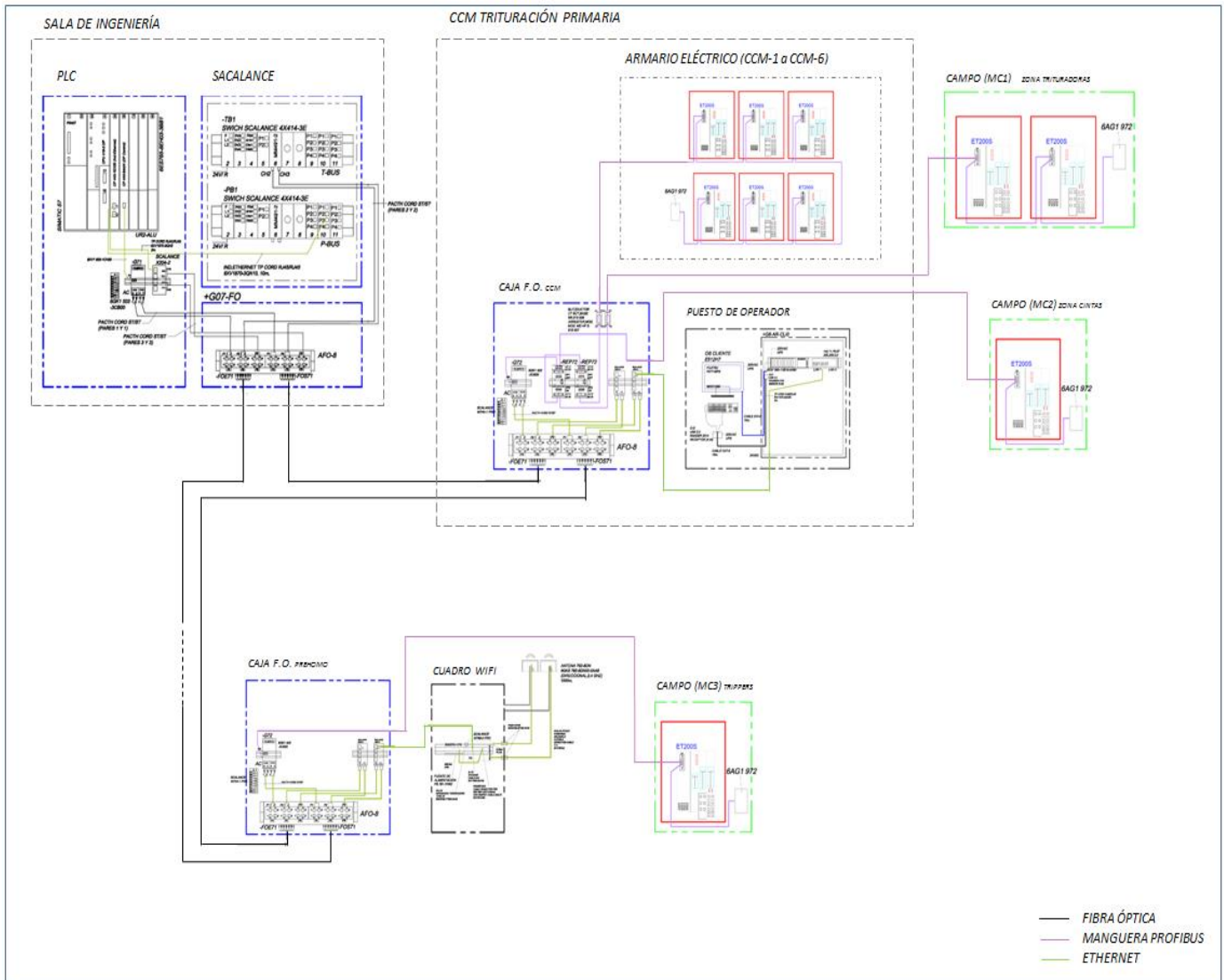


Figura 30. Red de comunicaciones Profibus de la instalación.

de 12 pares de fibra óptica pertenecientes a cada anillo de comunicaciones de la fábrica. Uno de esos anillos será el correspondiente a la instalación del molino de crudo y será donde se localice la instalación de trituración primaria. La manguera de fibra óptica llegará hasta el armario donde se encuentra la caja de fusonado, localizada dentro del CCM de trituración primaria. De aquí partirá una nueva manguera de fibra óptica hasta la siguiente caja de fusonado y así irá pasando por todo el resto de cajas de fusonado del anillo perteneciente al molino de crudo, hasta finalmente acabar de nuevo en el armario principal de fusonado de fibras ópticas de sala de ingeniería.

Además de las cajas de fusonado, dentro de los armarios de fibra óptica de campo se encuentran los elementos necesarios para comunicar con los nodos remotos de entradas y salidas cercanos. En concreto desde el primer armario situado en el CCM se comunicará con los 6 nodos pertenecientes a los 6 armarios eléctricos y con el ordenador del puesto de control. Al tratarse de una instalación muy independiente del resto del proceso, se colocará un ordenador cliente para que el personal que trabaje en ella tenga acceso al control de la misma desde un lugar más cercano a las máquinas. Aún así, desde sala de control siempre se podrá tener acceso y control total de la instalación.

Será de nuevo a través de un *OLM*® como se convierta la señal óptica del bus de campo en señal eléctrica (ver Figura 31). El anillo de comunicaciones de fibra óptica entra por el canal 2 y sale por el canal 3. El canal 1 será el que comunique con los nodos de entrada y salida ya convertido en señal eléctrica. Por otra parte, estos dispositivos disponen de una serie de leds de señalización que indican en todo momento el estado de funcionamiento del mismo, avisando en caso de avería o falla en la comunicación.



Figura 31. Detalle de un convertidor de señal de fibra óptica a cableado eléctrico.

Una vez que se ha convertido de nuevo en eléctrica la señal del bus de comunicaciones mediante el *OLM*, lo único que resta es conectar cada uno de los nodos remotos de entradas y salidas. Si, como en este caso, los remotos se encuentran en tres zonas distintas, se debe multiplicar de algún modo la

única salida eléctrica que nos proporciona el *OLM*. Para ello se hará uso de unos repetidores de bus, en concreto del modelo *RS 485-REPEATER*® [20] de la marca *Siemens*® (ver Figura 32). De aquí se partirá con manguera de cobre especial para comunicación Profibus DP a dos hilos hasta los distintos nodos remotos ET200S. Cada uno de estos nodos de entradas y salidas dispondrá de una cabecera donde se configure la dirección lógica del mismo.

La comunicación del sistema con el ordenador del puesto de operador se llevará a cabo mediante conexión Ethernet. Para la conversión de bus de fibra óptica a este nuevo estándar se



Figura 32. Repetidor Profibus de la marca *Siemens*®. Modelo *RS 485-REPEATER*®.

utilizarán los switches Industrial Ethernet *SCALANCE X-200*® de la marca *Siemens*® [21] (ver Figura 33). El número de repetidores y switches será el necesario dependiendo de las características de la instalación. En principio para el armario de fibra óptica instalado en el CCM de primaria será suficiente con dos repetidores y un switch.

El anillo de comunicaciones de fibra óptica continuará desde el armario colocado en el CCM hasta un nuevo armario de fusiones colocado en el campo, concretamente a la entrada del parque de prehomogeneización. De aquí partirá hacia el resto de armarios de fibra óptica pertenecientes al anillo del crudo, hasta llegar nuevamente al armario de fusiones de sala de ingeniería donde se cerrará.

El armario de fibra óptica a la entrada del parque de prehomogeneización contendrá los mismos elementos que el colocado en el CCM excepto los repetidores Profibus ya que sólo deberá comunicar con un nodo de entradas y salidas que será el encargado de recoger las señales de campo generadas en la zona de los *trippers*. Por otro lado, será necesario la instalación de un switch *SCALANCE*® para comunicar con el parque de prehomogeneización vía wifi.



Figura 33. Detalle de un convertidor de fibra óptica a Ethernet. Marca Siemens®, modelo SCALANCE serie 200.

### E. Comunicación con sala de control

La Figura 34 muestra la configuración final del sistema de control que será implementada en la totalidad de la fábrica a nivel de sala de ingeniería y sala de control. En la sala de ingeniería se ubicarán los armarios donde estarán colocados todos los ordenadores que comprende el sistema de control así como los PLC's. En sala de control, donde se encuentra el operador de planta, estarán colocados los monitores, teclados y ratones de las distintas estaciones de operador. Desde cualquiera de estos monitores podrá visualizarse cualquier instalación de la planta con total acceso a las mismas, entre las que se encontrará la instalación en estudio.

Ya que en sala de control sólo se colocarán los monitores, ratones y teclados para acceder al sistema de control, será necesario llevar las señales de estos dispositivos hasta la sala de ingeniería que es donde estarán ubicados los distintos PC's

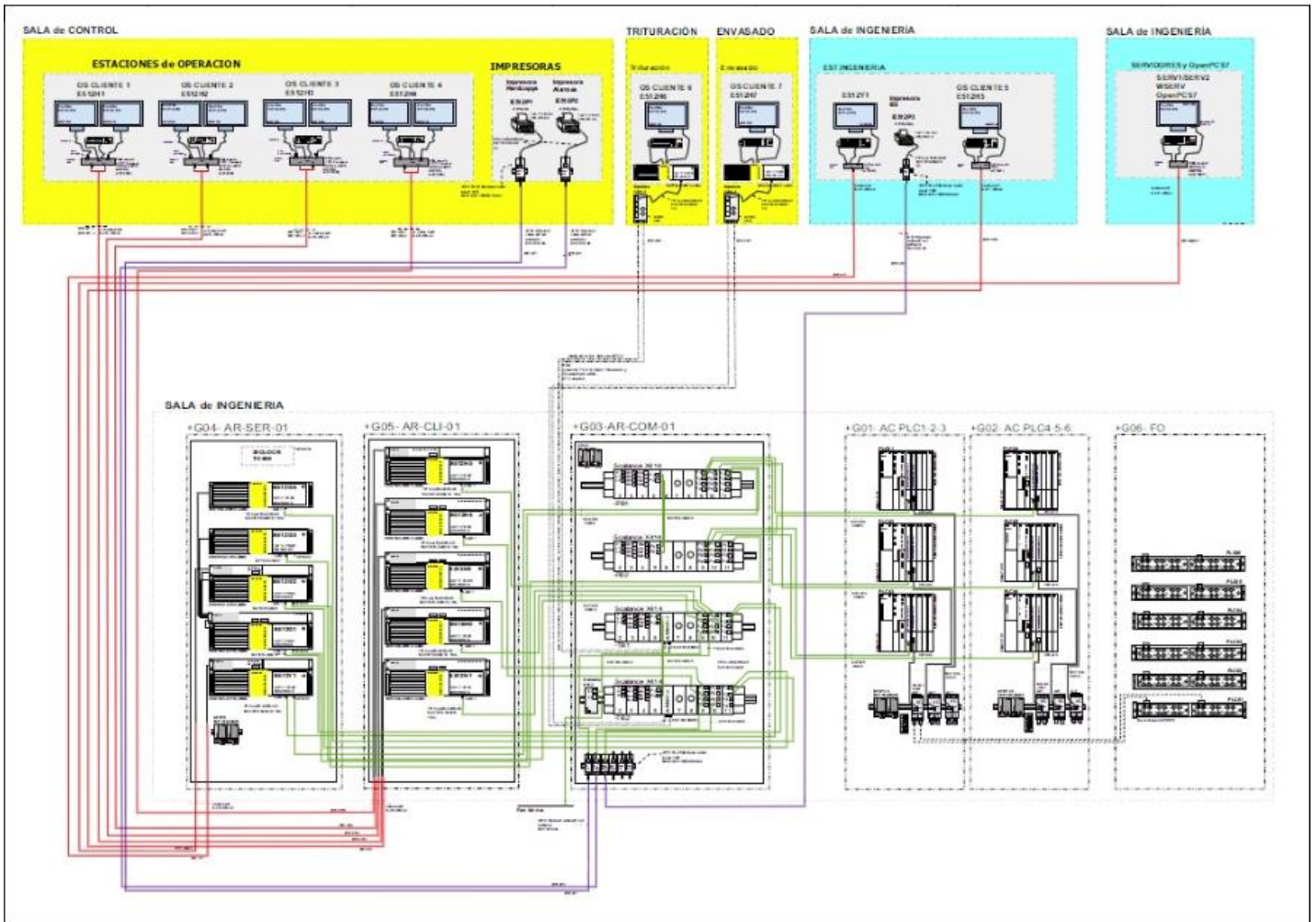


Figura 34. Configuración final del sistema de control de fábrica.

que albergan la programación del SCADA de cada una de las instalaciones de la planta. Esta comunicación se hará mediante el uso de unos dispositivos conocidos como duplicadores que mediante comunicación a través de cable de red duplican las señales de los elementos conectados al ordenador (ver Figura 35). Existen duplicadores para conectar hasta cuatro ordenadores distintos, de este modo, utilizando los modelos adecuados es posible visualizar desde cualquier monitor los distintos SCADAS de la instalación. Estos dispositivos también se utilizarán para extender las señales de los PC's que serán visualizados dentro de la propia sala de ingeniería.



Figura 35. Duplicador de señales de PC. Marca G&D®, modelo DVIVision KVM Extender® [22].

Como se puede observar en la Figura 34 el número total de PC's instalados supera el número de PLC's de la instalación. Esto es debido a que no sólo habrá un PC por cada PLC en la sala de ingeniería. Existirán dos PC's que serán los servidores, encargados de comunicar directamente con los PLC's por un lado y con los ordenadores SCADA por otro. Estos servidores estarán funcionando de forma redundante, es decir, si uno de ellos fallara, el control de la instalación pasaría al otro de forma totalmente invisible al operador y sin afectar al proceso.

Por otro lado se contará con otro PC que será el encargado de comunicar con internet. Este ordenador estará corriendo un programa de Siemens® conocido como *Open PCS7*® que será el encargado de poder comunicar el sistema con cualquier otra plataforma. Aunque en principio esta opción podría entrañar grandes riesgos, mediante el uso adecuado de cortafuegos es posible aislar la instalación de posibles intromisiones desde el exterior. La gran ventaja que ofrece este sistema es la de poder visualizar con la opción incluso de interactuar con la instalación desde cualquier parte del mundo. Desde el punto de vista de mantenimiento supone un gran avance, ya que es posible poder entrar al sistema y modificar cualquier parámetro desde el exterior sin necesidad de desplazamiento del personal técnico.

Con los seis ordenadores monitorizando cada uno de los PLC's, los dos servidores y el ordenador con el *Open PCS7*® aún quedaría un último ordenador instalado en sala de ingeniería. Será el encargado de correr el programa conocido como TIS (*Technical Information System*). Este programa desarrollado por ABB® estará en comunicación directa con el sistema de control, recogerá los valores de sus señales y las pondrá a disposición del usuario. Distintos cargos de la planta se conectarán a través de la red Ethernet de la fábrica a este programa para comprobar y analizar el funcionamiento de la instalación así como realizar estadísticas de toda índole.

Anteriormente se ha comentado que el operador de sala de control tendrá acceso a toda la instalación a través de los puestos de operador, pero no tendrá acceso a las partes más vulnerables del sistema. El acceso tanto a los servidores del sistema como al ordenador con el *Open PCS7* estará sólo disponible desde sala de ingeniería y sólo podrán acceder a ellos personal autorizado. Existirán además otros dos puestos informáticos en esta sala que tendrán acceso al TIS y al resto de los ordenadores con los SCADA desde donde se realizarán las labores de mantenimiento y mejora de todo el sistema.

La implantación de las diferentes instalaciones que intervienen en el proceso de producción del cemento hace que dos de ellas, la trituración de materias primas y la expedición de cemento, se comporten como dos islas dentro de todo el sistema. Es por ello que estas instalaciones contarán con sendos puestos de operador en campo desde los que se podrá interactuar con la instalación, eso no significa que no sea posible en todo momento intervenir en ellas desde sala de control. Estos puestos de operación son los que aparecen en la Figura 34 con el nombre de TRITURACIÓN y ENVASADO.

Una vez distribuidos los diferentes puestos de operador tanto en sala de control, sala de ingeniería y las zonas de trituración y envasado, se hace necesaria la comunicación de los diferentes PC's con los SCADAS, los servidores, TIS y *Open PCS7*® tanto entre ellos como con los PLC's. Para ello se utilizará nuevamente los switches *SCALANCE*® de la marca Siemens®, pero ahora de tamaño mucho mayor y situados también en el armario ubicado en la sala de ingeniería. El modelo elegido será el switch *SCALANCE X414* (ver Figura 36).

Las comunicaciones entre los PLC's y los distintos nodos remotos de entradas y salidas de campo, tanto digitales como analógicas, se lleva a cabo mediante fibra óptica como se explicó en el apartado anterior.



Figura 36. Switch *SCALANCE X414* de la marca Siemens® utilizado para la comunicación Ethernet entre los distintos PC's y servidores del sistema, entre ellos y con los PLC's.

## X. REDES DE PETRI

Una vez implantado todo el sistema, tanto en campo con la periferia distribuida comunicada a través de fibra óptica y usando el protocolo de comunicaciones Profibus, así como entre sala de ingeniería y sala de control mediante comunicación Ethernet entre los PC's con los SCADAS y los PLC's, llega la hora de programar estos últimos con las instrucciones necesarias para gobernar la instalación manteniendo en todo momento los estándares de calidad y seguridad de la planta.

La programación de la instalación de trituración primaria queda fuera del alcance de este proyecto, pero no así el desarrollo y estudio de las diferentes redes de Petri [23] que definirán los modelos lógicos por los que se moverá el programa que gobierne la instalación.

Antes de acometer esta tarea, hay que definir cuál será el método de trabajo de la planta. La programación de molienda será definida por parte del departamento de producción con varios días de antelación, especificando qué material se triturará y en qué lugar se almacenará. Por tanto, dependiendo del material a moler y del lugar a almacenar, se puede modelar la instalación como la suma de cuatro subsistemas distintos. Dos subsistemas pertenecerían a la molienda de caliza, caliza hacia parque de prehomogeneización y caliza hacia parque de caliza y los otros dos pertenecerían a la molienda de marga, marga por *tripper* y marga sin *tripper*. Aunque técnicamente, de los cuatro caminos posibles, podrían estar en marcha en paralelo uno de la línea de caliza y uno de la línea de marga, en la práctica rara vez se da esta circunstancia por motivos de programación con la contrata responsable del transporte de material desde la cantera. Por tanto, las cuatro líneas de almacenamiento se pueden considerar como subsistemas totalmente independientes con órdenes de marcha diferentes entre sí.

En el apartado IV se explicaron las distintas señales de entrada y salida referentes a cada tipo de máquina que interviene en el sistema así como el estado de las mismas necesario para su funcionamiento en automático. Para poder explicar de manera más resumida las redes de Petri que definen la instalación se supondrá que todas las máquinas se encuentran en modo automático y no en local y que todas las máquinas están listas para su arranque, es decir, las señales relacionadas con cada máquina estarán en el estado lógico adecuado. Esta situación se resumirá como "xxx OK" donde xxx será el nombre de la máquina. También se dará por supuesto que la señal de paro de secuencia y paro inmediato de la instalación no están activadas. Por último, los retardos se identificarán con la simbología "Re xx s", donde xx representa un valor medido en segundos. Para un análisis más en profundidad señal a señal de todo el sistema, se recomienda al lector la consulta del listado completo de señales de la instalación que podrá encontrarlo en el apartado XII anexos.

A continuación se repasará brevemente el estado de las distintas señales que definen la situación de máquina OK.

Protecciones (:K = 1)

Tirón en CCM (.R0:J = 1)

Fallo arrancador (en arrancadores suaves) (:F1 = 1)

Sobrecarga arrancador (en arrancadores suaves) (:F2 = 1)

Fallo variador (en variadores de frecuencia) (:F = 1)

Fallo reóstato (en trituradoras) (:F = 1)

Nivel mínimo reóstato (en trituradoras) (.L1:N = 1)

Temperatura máxima reóstato (en trituradoras) (.T1:M = 1)

Máxima resistencia reóstato (en trituradoras) (.X1:X = 1)

Mínima resistencia reóstato (en trituradoras) (.Y1:Y = 1)

Vibraciones (en trituradoras) (.N1:PV = menor a un valor en mA establecido)

Temperatura bobinado (en trituradoras) (.T1:PV = menor a un valor establecido)

Desvío 1 (en bandas transportadoras) (.D1:F = 1)

Desvío 2 (en bandas transportadoras) (.D2:F = 1)

Tirón 1 (en bandas y cadenas transportadoras) (.R1:J = 1)

Tirón 2 (en bandas y cadenas transportadoras) (.R2:J = 1)

Nivel de llenado tolva (en transportadores de placas) (.L1:PV = mayor a un valor en mA establecido)

Paro local (:S = 1)

Seccionador (:U = 1)

Control de giro (en máquinas rotativas) (.S1:PLS = 1/0)

Cambio de estado con una cadencia definida unos segundos después del arranque.

Según el listado anterior de señales, se comprueba que el estado de cualquier señal digital que implique un paro de máquina debe ser siempre 1 lógico, con el fin de mantener a la máquina en situación de OK.

### A. Línea de Caliza

#### 1) Caliza hacia parque de prehomogeneización

El inicio de esta secuencia empezará con la activación por parte del panelista, desde sala de control, o por parte del operador de planta desde el puesto de operación, de la orden de marcha de la línea de caliza hacia parque de prehomogeneización. Esta orden de marcha de la línea de caliza hacia el parque de prehomogeneización será una marca interna del programa que se definirá como OM-CPH. El sistema, inicialmente en estado de reposo (M1), cambiará a un siguiente estado mediante la activación de una primera transición (T1).

La Tabla 6 muestra el listado de lugares pertenecientes a la red de Petri que define la línea de trabajo. Cada lugar corresponderá con la actuación de una salida digital por parte del PLC. Por otra parte, la Tabla 7 muestra el listado de transiciones que deberán ir disparándose para que el programa cambie de un lugar a otro. Cada transición se disparará cuando se cumplan todos los requisitos definidos en la columna señales involucradas. Por último, la Figura 37 muestra la red de Petri completa correspondiente a la línea de caliza con el almacenamiento del material en el parque de prehomogeneización.



Lugar	Actividad	Señales involucradas
L1	Orden de marcha sirena zona tripper caliza.	211-2W1.G5:D
L2	Orden de marcha luz aviso arranque tripper caliza.	211-2W1.G6:D
L3	Orden de marcha cinta alimentación a parque PHB.	211-BT4.M1:D
L4	Orden de marcha cinta subida pórticos de caliza.	211-BT2.M1:D
L5	Orden de marcha cinta salida machacadora caliza.	211-BT1.M1:D
L6	Orden de marcha sirena zona cintas salida machacadoras.	211-2W1.G3:D
L7	Orden de marcha luz aviso arranque zona cintas salida machacadoras.	211-2W1.G4:D
L8	Orden de marcha sirena zona machacadoras.	211-2W1.G1:D
L9	Orden de marcha luz aviso arranque zona machacadoras.	211-2W1.G2:D
L10	Orden de marcha trituradora de caliza por impactos.	211-TB1.M1:D
L11	Orden de marcha vent. refrigerac. motor alimentador de placas caliza.	211-TP1.M2:D
L12	Orden de marcha alimentador de placas caliza.	211-TP1.U1:D
L13	Orden de marcha rascador cadena finos caliza.	211-RD1.M1:D
L14	Orden de marcha luz roja semáforo descarga camión tolva caliza.	211-2W2.G1:D1
L15	Orden de marcha luz verde semáforo descarga camión tolva caliza.	211-2W2.G1:D2
L16	Orden de marcha compuerta filtro dirección caliza.	211-DM1.V1:DX
L17	Orden de marcha exclusiva evacuación filtro mangas trituradoras.	211-VR1.M1:D
L18	Orden de marcha ventilador desempolvado filtro mangas trituradoras.	211-VE1.M1:D
L19	Orden de marcha filtro mangas trituradora.	211-FT1.C1:D

Tabla 6. Listado de lugares perteneciente a la red de Petri de la línea caliza hacia parque de prehomogeneización.

Transición	Actividad	Señales involucradas
T1	Orden de marcha línea de caliza hacia parque de prehomogeneización y sirena zona tripper caliza lista para arrancar y luz aviso arranque tripper caliza lista para arrancar	OM-CPH $\wedge$ 211-2W1.G5 OK $\wedge$ 211-2W1.G6 OK
T2	Orden de marcha sirena zona tripper caliza y orden de marcha luz aviso arranque tripper caliza y respuesta de marcha apiladora y cinta alimentación a parque PHB lista para arrancar y retardo de 10 segundos	211-2W1.G5:D $\wedge$ 211-2W1.G6:D $\wedge$ 211-AD1.C1:R $\wedge$ 211-BT4 OK $\wedge$ Re 10 s
T3	Respuesta de marcha cinta alimentación a parque PHB y cinta subida pórticos de caliza lista para arrancar y posición compuerta desvío tripper caliza hacia parque PHB y retardo de 10 segundos.	211-BT4.M1:R $\wedge$ 211-BT2 OK $\wedge$ 211-DM2.X1:X $\wedge$ Re 10 s
T4	Respuesta de marcha cinta subida pórticos de caliza y respuesta de marcha cinta salida machacadora de caliza y cinta salida machacadora de caliza lista para arrancar	211-BT2.M1:R $\wedge$ 211-BT1.M1:R $\wedge$ 211-BT1 OK
T5	Respuesta de marcha cinta salida machacadora de caliza y trituradora de caliza por impactos lista para arrancar.	211-BT1.M1:R $\wedge$ 211-TB1 OK
T6	Respuesta de marcha cinta subida pórticos de caliza y no respuesta de marcha cinta salida machacadora de caliza y sirena zona cintas salida machacadoras lista para arrancar y luz aviso arranque zona cintas salida machacadoras lista para arrancar y retardo de 10 segundos.	211-BT2.M1:R $\wedge$ no 211-BT1.M1:R $\wedge$ 211-2W1.G3 OK $\wedge$ 2W1.G4 OK $\wedge$ Re 10 s
T7	Orden de marcha sirena zona cintas salida machacadoras y orden de marcha luz aviso arranque zona cintas salida machacadoras y no respuesta de marcha cinta salida machacadora caliza y retardo de 10 segundos.	211-2W1.G3:D $\wedge$ 211-2W1.G4:D $\wedge$ no 211-BT1.M1:R $\wedge$ Re 10 s
T8	Respuesta de marcha cinta salida machacadora de caliza y no respuesta de marcha trituradora de caliza por impactos y no respuesta de marcha exclusiva evacuación filtro de mangas trituradoras y sirena zona machacadoras lista para arrancar y luz aviso arranque zona machacadoras lista para arrancar y retardo de 10 segundos.	211-BT1.M1:R $\wedge$ no 211-TB1.M1:R $\wedge$ no 211-VR1.M1:R $\wedge$ 211-2W1.G1 OK $\wedge$ 211-2W1.G2 OK $\wedge$ Re 10 s
T9	Orden de marcha sirena zona machacadoras y orden de marcha luz de aviso arranque zona machacadoras y no respuesta de marcha trituradora de caliza por impactos y no respuesta de marcha exclusiva evacuación filtro mangas trituradoras y trituradora de caliza por impactos lista para arrancar y compuerta filtro lista para arrancar y retardo de 10 segundos.	211-2W1.G1:D $\wedge$ 211-2W1.G2:D $\wedge$ no 211-TB1.M1:R $\wedge$ no 211-VR1.M1:R $\wedge$ 211-TB1 OK $\wedge$ 211-DM1 OK $\wedge$ Re 10s
T10	Respuesta de marcha trituradora de caliza por impacto y vent. refrigeración motor alimentador de placas caliza listo para arrancar.	211-TB1.M1:R $\wedge$ 211-TP1.M2 OK
T11	Respuesta de marcha vent. refrigeración motor alimentador de placas caliza listo para arrancar y alimentador de placas caliza listo para arrancar.	211-TP1.M2:R $\wedge$ 211-TP1.M1 OK
T12	Respuesta de marcha alimentador de placas caliza y rascador cadena finos caliza listo para arrancar.	211-TP1.U1:R $\wedge$ 211-RD1 OK
T13	(Nivel de llenado tolva descarga camiones caliza menor de 6 mA o mayor de 18 mA) o (nivel de llenado tolva descarga camiones caliza mayor de 6 mA y menor de 18 mA).	(6mA > 211-TL1.L1 :PV > 18 mA) OR (6mA $\leq$ 211-TL1.L1 :PV $\leq$ 18 mA)
T14	Orden de marcha compuerta filtro y posición compuerta filtro hacia caliza y exclusiva evacuación filtro mangas trituradoras lista para arrancar.	211-DM1.V1:DX $\wedge$ 211-DM1.X1:X $\wedge$ 211-VR1 OK
T15	Respuesta de marcha exclusiva evacuación filtro mangas trituradoras lista para arrancar y vent. desempolvado filtro mangas trituradoras listo para arrancar.	211-VR1.M1:R $\wedge$ 211-VE1 OK
T16	Respuesta de marcha vent. desempolvado filtro mangas trituradoras listo para arrancar y filtro mangas trituradora listo para arrancar.	211-VE1.M1:R $\wedge$ 211-FT1 OK
T17	Respuesta de marcha rascador cadena finos caliza y respuesta de marcha filtro mangas trituradora y cinta alimentación a parque PHB lista para arrancar.	211-RD1.M1:R $\wedge$ 211-FT1.C1:R $\wedge$ 211-BT4 OK

Tabla 7. Listado de transiciones perteneciente a la red de Petri de la línea caliza hacia parque de prehomogeneización.

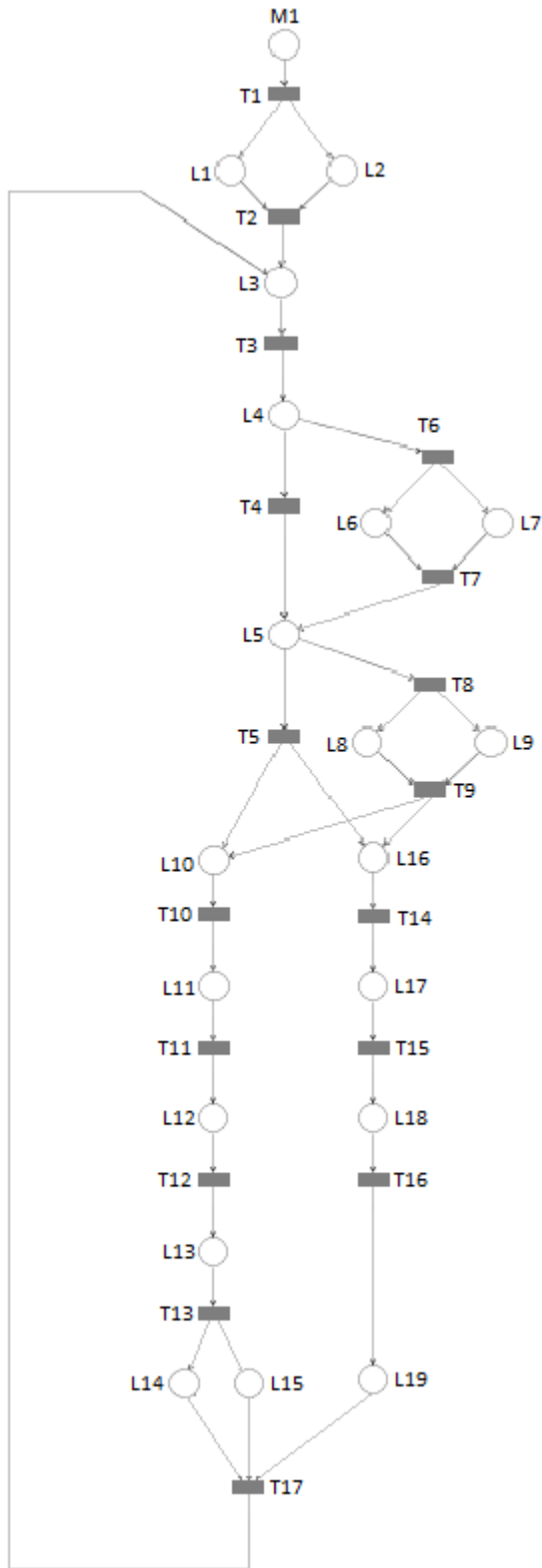


Figura 37. Diagrama de la red de Petri que representa la línea de caliza con almacenamiento en el parque de prehomogeneización.

## 2) Caliza hacia parque de caliza

Esta línea de almacenamiento podrá elegir entre cuatro zonas o montones distintos dentro del parque de caliza. Si el carro del *tripper* de caliza 211-CY1 está posicionado en el montón adecuado no tendrá que moverse y la secuencia de arranque continuará con la siguiente máquina. Si no está colocado en el montón adecuado deberá primero moverse esta máquina en el sentido correcto hasta que alcance a pisar el final de carrera que indique al sistema que está posicionado en el montón correcto. Como en la secuencia anterior, el inicio de la misma empezará con la activación de la orden de marcha. Esta orden de marcha de la línea de caliza hacia el parque de caliza será una marca interna del programa que se definirá como OM-CP. El sistema, inicialmente en estado de reposo (M1), cambiará a un siguiente estado mediante la activación de una primera transición (T1).

La Tabla 8 muestra el listado de lugares pertenecientes a la red de Petri que define la línea de trabajo. Cada lugar corresponderá con la actuación de una salida digital por parte del PLC. Por otra parte, la Tabla 9 muestra el listado de transiciones que deberán ir disparándose para que el programa cambie de un lugar a otro. Cada transición se disparará cuando se cumplan todos los requisitos definidos en la columna señales involucradas. Por último, la Figura 38 muestra la red de Petri completa correspondiente a la línea de caliza con el almacenamiento del material en el parque de caliza.

Lugar	Actividad	Señales involucradas
L1	Orden de marcha sirena zona tripper caliza.	211-2W1.G5:D
L2	Orden de marcha luz aviso arranque tripper caliza.	211-2W1.G6:D
L3	Orden de marcha dirección Gádor tripper caliza o orden de marcha dirección Almería tripper caliza.	211-CY1.C1:DX OR 211-CY1.C1:DY
L4	Orden de marcha cinta tripper nave de caliza.	211- BT3.M1:D
L5	Orden de marcha cinta subida pódicos de caliza.	211-BT2.M1:D
L6	Orden de marcha cinta salida machacadora caliza.	211-BT1.M1:D
L7	Orden de marcha sirena zona cintas salida machacadoras.	211-2W1.G3:D
L8	Orden de marcha luz aviso arranque zona cintas salida	211-2W1.G4:D
L9	Orden de marcha sirena zona machacadoras.	211-2W1.G1:D
L10	Orden de marcha luz aviso arranque zona machacadoras.	211-2W1.G2:D
L11	Orden de marcha trituradora de caliza por impactos.	211-TB1.M1:D
L12	Orden de marcha vent. refrigerac. motor alimentador de placas caliza.	211-TP1.M2:D
L13	Orden de marcha alimentador de placas caliza.	211-TP1.U1:D
L14	Orden de marcha rascador cadena finos caliza.	211-RD1.M1:D
L15	Orden de marcha luz roja semáforo descarga camión tolva caliza.	211-2W2.G1:D1
L16	Orden de marcha luz verde semáforo descarga camión tolva caliza.	211-2W2.G2:D2
L17	Orden de marcha compuerta filtro dirección caliza.	211- DM1.V1:DX
L18	Orden de marcha exclusiva evacuación filtro mangas trituradoras.	211-VR1.M1:D
L19	Orden de marcha ventilador despolvo filtro mangas	211-VE1.M1:D
L20	Orden de marcha filtro mangas trituradora.	211-FT1.C1:D

Tabla 8. Listado de lugares perteneciente a la red de Petri de la línea caliza hacia parque de caliza.

Transición	Actividad	Señales involucradas
T1	Orden de marcha línea de caliza hacia parque de caliza y sirena zona tripper caliza lista para arrancar y luz aviso arranque tripper caliza lista para arrancar.	OM-CP $\wedge$ 211-2W1.G5 OK $\wedge$ 211-2W1.G6 OK
T2	((Orden de marcha sirena zona tripper caliza y orden de marcha luz aviso arranque tripper caliza y tripper caliza situado en un montón y cinta tripper nave de caliza lista para arrancar) o (orden de marcha sirena zona tripper caliza y orden de marcha luz aviso arranque tripper caliza y tripper caliza no situado en un montón) y tripper caliza listo para arrancar) y retardo de 10 segundos.	((211-2W1.G5:D $\wedge$ 211-2W1.G6:D $\wedge$ 211-CY1 situado $\wedge$ 211- BT3 OK) OR (211-2W1.G5:D $\wedge$ 211-2W1.G6:D $\wedge$ 211-CY1 no situado) $\wedge$ 211-CY1 OK)) $\wedge$ Re 10 s
T3	Tripper caliza situado en un montón.	211-CY1 situado
T4	Respuesta de marcha cinta tripper nave de caliza y cinta subida pódicos de caliza lista para arrancar y compuerta desvío tripper caliza hacia parque caliza y retardo de 10 segundos.	211-BT3.M1:R $\wedge$ 211-BT2 OK $\wedge$ 211-DM2.Y1:Y $\wedge$ Re 10 s
T5	Respuesta de marcha cinta subida pódicos de caliza y respuesta de marcha cinta salida machacadora de caliza y cinta salida machacadora de caliza lista para arrancar.	211-BT2.M1:R $\wedge$ 211-BT1.M1:R $\wedge$ 211-BT1 OK
T6	Respuesta de marcha cinta salida machacadora de caliza y trituradora de caliza por impactos lista para arrancar.	211-BT1.M1:R $\wedge$ 211-TB1 OK
T7	Respuesta de marcha cinta subida pódicos de caliza y no respuesta de marcha cinta salida machacadora de caliza y sirena zona cintas salida machacadoras lista para arrancar y luz aviso arranque zona cintas salida machacadoras lista para arrancar y retardo de 10 segundos.	211-BT2.M1:R $\wedge$ no 211-BT1.M1:R $\wedge$ 211-2W1.G3 OK $\wedge$ 2W1.G4 OK $\wedge$ Re 10 s
T8	Orden de marcha sirena zona cintas salida machacadoras y orden de marcha luz aviso arranque zona cintas salida machacadoras y no respuesta de marcha cinta salida machacadora caliza y retardo de 10 segundos.	211-2W1.G3:D $\wedge$ 211-2W1.G4:D $\wedge$ no 211-BT1.M1:R $\wedge$ Re 10 s
T9	Respuesta de marcha cinta salida machacadora de caliza y no respuesta de marcha trituradora de caliza por impactos y no respuesta de marcha exclusiva evacuación filtro de mangas trituradoras y sirena zona machacadoras lista para arrancar y luz aviso arranque zona machacadoras lista para arrancar y retardo de 10 segundos.	211-BT1.M1:R $\wedge$ no 211-TB1.M1:R $\wedge$ no 211-VR1.M1:R $\wedge$ 211-2W1.G1 OK $\wedge$ 211-2W1.G2 OK $\wedge$ Re 10 s
T10	Orden de marcha sirena zona machacadoras y orden de marcha luz de aviso arranque zona machacadoras y no respuesta de marcha trituradora de caliza por impactos y no respuesta de marcha exclusiva evacuación filtro mangas trituradoras y trituradora de caliza por impactos lista para arrancar y compuerta filtro lista para arrancar y retardo de 10 segundos.	211-2W1.G1:D $\wedge$ 211-2W1.G2:D $\wedge$ no 211-TB1.M1:R $\wedge$ no 211-VR1.M1:R $\wedge$ 211-TB1 OK $\wedge$ 211-DM1 OK $\wedge$ Re 10 s
T11	Respuesta de marcha trituradora de caliza por impacto y vent. refrigeración motor alimentador de placas caliza listo para arrancar.	211-TB1.M1:R $\wedge$ 211-TP1.M2 OK
T12	Respuesta de marcha vent. refrigeración motor alimentador de placas caliza listo para arrancar y alimentador de placas caliza listo para arrancar.	211-TP1.M2:R $\wedge$ 211-TP1.M1 OK
T13	Respuesta de marcha alimentador de placas caliza y rascador cadena finos caliza listo para arrancar.	211-TP1.U1:R $\wedge$ 211-RD1 OK
T14	(Nivel de llenado tolva descarga camiones caliza menor de 6 mA o mayor de 18 mA) o (nivel de llenado tolva descarga camiones caliza mayor de 6 mA y menor de 18 mA).	(6mA > 211-TL1.L1 :PV > 18 mA) OR (6mA $\leq$ 211-TL1.L1 :PV $\leq$ 18 mA)
T15	Orden de marcha compuerta filtro y posición compuerta filtro hacia caliza y exclusiva evacuación filtro mangas trituradoras lista para arrancar.	211-DM1.V1:D $\wedge$ 211-DM1.X1:X $\wedge$ 211-VR1 OK
T16	Respuesta de marcha exclusiva evacuación filtro mangas trituradoras lista para arrancar y vent. despolvo filtro mangas trituradoras listo para arrancar.	211-VR1.M1:R $\wedge$ 211-VE1 OK
T17	Respuesta de marcha vent. despolvo filtro mangas trituradoras listo para arrancar y filtro mangas trituradora listo para arrancar.	211-VE1.M1:R $\wedge$ 211-FT1 OK
T18	Respuesta de marcha rascador cadena finos caliza y respuesta de marcha filtro mangas trituradora y cinta alimentación a parque PHB lista para arrancar.	211-RD1.M1:R $\wedge$ 211-FT1.C1:R $\wedge$ 211-BT4 OK

Tabla 9. Listado de transiciones perteneciente a la red de Petri de la línea caliza hacia parque de caliza.

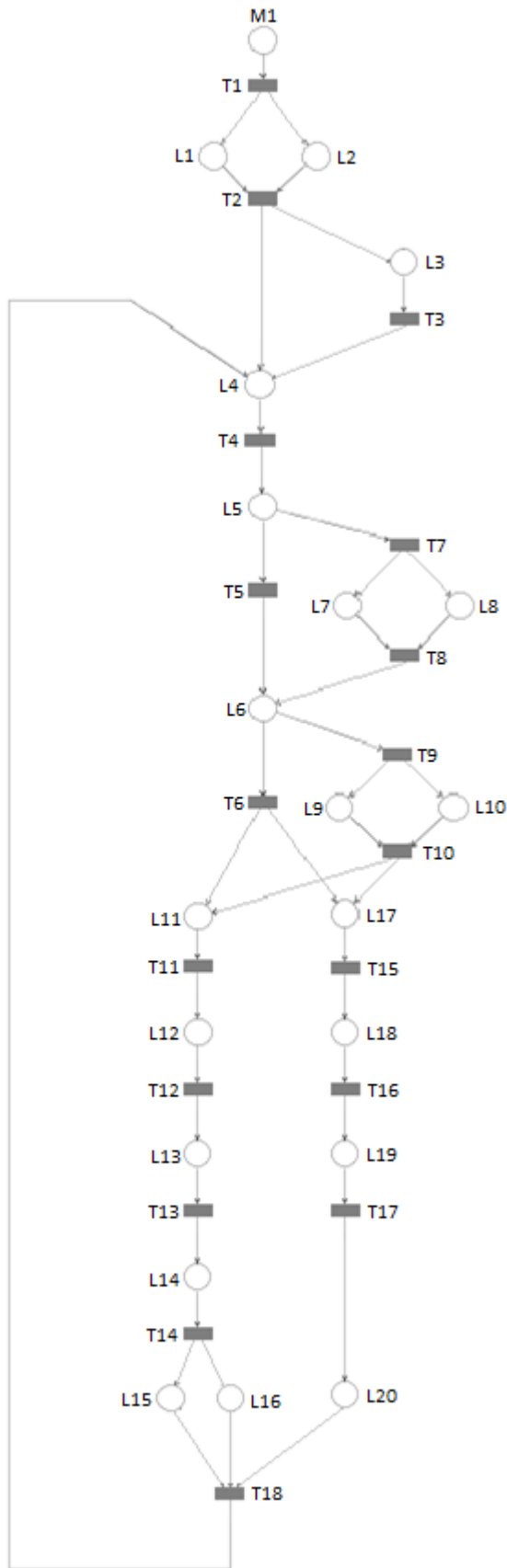


Figura 38. Diagrama de la red de Petri que representa la línea de caliza con almacenamiento en el parque de caliza.

## B. Línea de Marga

### 1) Marga por tripper

La tercera secuencia de arranque posible en la instalación será la que triture y transporte la marga hasta su depósito final pasando a través de la banda transportadora 221-BT3. Como en los dos casos anteriores el inicio de esta secuencia empezará con la activación de la orden de marcha de la línea. Esta orden de marcha de la línea de marga a través del *tripper* será una marca interna del programa que se definirá como OM-MT. El sistema, inicialmente en estado de reposo (M1), cambiará a un siguiente estado mediante la activación de una primera transición (T1).

La Tabla 10 muestra el listado de lugares pertenecientes a la red de Petri que define la línea de trabajo. Cada lugar corresponderá con la actuación de una salida digital por parte del PLC. Por otra parte, la Tabla 11 muestra el listado de transiciones que deberán ir disparándose para que el programa cambie de un lugar a otro. Cada transición se disparará cuando se cumplan todos los requisitos definidos en la columna señales involucradas. Por último, la Figura 39 muestra la red de Petri completa correspondiente a esta línea de trituración y almacenado.

Lugar	Actividad	Señales involucradas
L1	Orden de marcha sirena zona tripper caliza.	211-2W1.G5:D
L2	Orden de marcha luz aviso arranque tripper caliza.	211-2W1.G6:D
L3	Orden de marcha dirección Gádor tripper marga o orden	221-CY1.C1:DX OR 221-
L4	Orden de marcha cinta tripper nave de marga.	221- BT3.M1:D
L5	Orden de marcha cinta subida pórticos de marga.	221-BT2.M1:D
L6	Orden de marcha cinta salida machacadora marga.	221-BT1.M1:D
L7	Orden de marcha sirena zona cintas salida machacadoras.	211-2W1.G3:D
L8	Orden de marcha luz aviso arranque zona cintas salida machacadoras.	211-2W1.G4:D
L9	Orden de marcha sirena zona machacadoras.	211-2W1.G1:D
L10	Orden de marcha luz aviso arranque zona machacadoras.	211-2W1.G2:D
L11	Orden de marcha trituradora de marga por impactos.	221-TB1.M1:D
L12	Orden de marcha vent. refrig. motor alimentador de placas maraga.	221-TP1.M2:D
L13	Orden de marcha alimentador de placas marga.	221-TP1.U1:D
L14	Orden de marcha rascador cadena finos marga.	221-RD1.M1:D
L15	Orden de marcha luz roja semáforo descarga camión tolva marga.	221-2W2.G1:D1
L16	Orden de marcha luz verde semáforo descarga camión tolva marga.	221-2W2.G1:D2
L17	Orden de marcha compuerta filtro dirección marga.	211- DM1.V1:DY
L18	Orden de marcha sinfin filtro mangas.	211-GU1.M1:D
L19	Orden de marcha exclusiva evacuación filtro mangas trituradoras.	211-VR1.M1:D
L20	Orden de marcha ventilador despolvado filtro mangas trituradoras.	211-VE1.C1:D
L21	Orden de marcha filtro mangas trituradora.	211-FT1.C1:D

Tabla 10. Listado de lugares perteneciente a la red de Petri de la línea marga por *tripper*.

Transición	Actividad	Señales involucradas
T1	Orden de marcha línea marga por tripper y sirena zona tripper caliza lista para arrancar y luz aviso arranque tripper caliza lista para arrancar.	OM-MT $\wedge$ 211-2W1.G5 OK $\wedge$ 211-2W1.G6 OK
T2	((Orden de marcha sirena zona tripper caliza y orden de marcha luz aviso arranque tripper caliza y tripper marga situado en un montón y cinta subida pórticos de marga lista para arrancar) o ((orden de marcha sirena zona tripper caliza y orden de marcha luz aviso arranque tripper caliza y tripper marga no situado en un montón) y tripper marga listo para arrancar)) y retardo de 10 segundos.	((211-2W1.G5:D $\wedge$ 211-2W1.G6:D $\wedge$ 221-CY1 situado $\wedge$ 221- BT2 OK) OR (211-2W1.G5:D $\wedge$ 211-2W1.G6:D $\wedge$ 221-CY1 no situado) $\wedge$ 221-CY1 OK)) $\wedge$ Re 10 s
T3	Tripper marga situado en un montón.	221-CY1 situado
T4	Respuesta de marcha cinta tripper nave de marga y cinta subida pórticos de marga lista para arrancar.	221-BT3.M1:R $\wedge$ 221-BT2 OK
T5	Respuesta de marcha cinta subida pórticos de marga y cinta salida machacadora marga lista para arrancar.	221-BT2.M1:R $\wedge$ 221-BT1 OK
T6	Respuesta de marcha cinta salida machacadora marga y trituradora de marga por impactos lista para arrancar.	221-BT1.M1:R $\wedge$ 221-TB1 OK
T7	Respuesta de marcha cinta subida pórticos de marga y sirena zona cintas salida machacadoras lista para arrancar y luz aviso arranque zona cintas salida machacadoras lista para arrancar y retardo de 10 segundos.	221-BT2.M1:R $\wedge$ 211-2W1.G3 OK $\wedge$ 211-2W1.G4 OK $\wedge$ Re 10 s
T8	Orden de marcha sirena zona cintas salida machacadoras y orden de marcha luz aviso arranque zona cintas salida machacadoras y no respuesta de marcha cinta salida machacadora marga y retardo de 10 segundos.	211-2W1.G3:D $\wedge$ 211-2W1.G4:D $\wedge$ no 221-BT1.M1:R Re 10 s
T9	Respuesta de marcha cinta salida machacadora marga y no respuesta de marcha trituradora de marga por impactos y no respuesta de marcha sinfin filtro mangas y sirena zona machacadoras lista para arrancar y luz aviso arranque zona machacadoras lista para arrancar y Retardo de 10 segundos.	221-BT1.M1:R $\wedge$ no 221-TB1.M1:R $\wedge$ no 211-GU1.M1:R $\wedge$ 211-2W1.G1 OK $\wedge$ 211-2W1.G2 OK $\wedge$ Re 10 s
T10	Orden de marcha sirena zona machacadoras y orden de marcha luz aviso arranque zona machacadoras y no respuesta de marcha trituradora de marga por impactos y no respuesta de marcha sinfin filtro mangas y trituradora de marga por impactos lista para arrancar y compuerta filtro lista para arrancar y retardo de 10 segundos.	211-2W1.G1:D $\wedge$ 211-2W1.G2:D $\wedge$ no 221-TB1.M1:R $\wedge$ no 211-GU1.M1:R $\wedge$ 221-TB1 OK $\wedge$ 211-DM1 OK $\wedge$ Re 10 s
T11	Respuesta de marcha trituradora de marga por impactos y vent. refrig. motor alimentador de placas marga listo para arrancar.	221-TB1.M1:R $\wedge$ 221-TP1.M2 OK
T12	Respuesta de marcha vent. refrig. motor alimentador de placas marga y alimentador de placas marga listo para arrancar.	221-TP1.M2:R $\wedge$ 221-TP1.M1 OK
T13	Respuesta de marcha alimentador de placas marga y rascador cadena finos marga listo para arrancar.	221-TP1.M1:R $\wedge$ 221-RD1 OK
T14	(Nivel de llenado tolva descarga camiones marga menor de 6 mA o mayor de 18 mA) o (nivel de llenado tolva descarga camiones marga mayor de 6 mA y menor de 18 mA).	(6mA > 221-TL1.L1 :PV > 18 mA) OR (6mA $\leq$ 221-TL1.L1 :PV $\leq$ 18 mA)
T15	Respuesta de marcha compuerta filtro dirección marga y posición compuerta filtro dirección marga y sinfin filtro mangas listo para arrancar.	211-DM1.V1:DY $\wedge$ 211-DM1.Y1:Y $\wedge$ 211-GU1 OK
T16	Respuesta de marcha sinfin filtro mangas y exclusiva evacuación filtro mangas trituradoras lista para arrancar.	211-GU1.M1:R $\wedge$ 211-VR1 OK
T17	Respuesta de marcha exclusiva evacuación filtro mangas trituradoras y vent. despolvado filtro mangas trituradoras listo para arrancar.	211-VR1.M1:R $\wedge$ 211-VE1 OK
T18	Respuesta de marcha vent. despolvado filtro mangas trituradoras y filtro mangas trituradora listo para arrancar.	211-VE1.M1:R $\wedge$ 211-FT1 OK
T19	Respuesta de marcha rascador cadena finos marga y respuesta de marcha filtro mangas trituradora y cinta tripper nave de marga lista para arrancar.	221-RD1.M1:R $\wedge$ 211-FT1.C1:R $\wedge$ 221-BT3 OK

Tabla 11. Listado de transiciones perteneciente a la red de Petri de la línea marga por *tripper*.

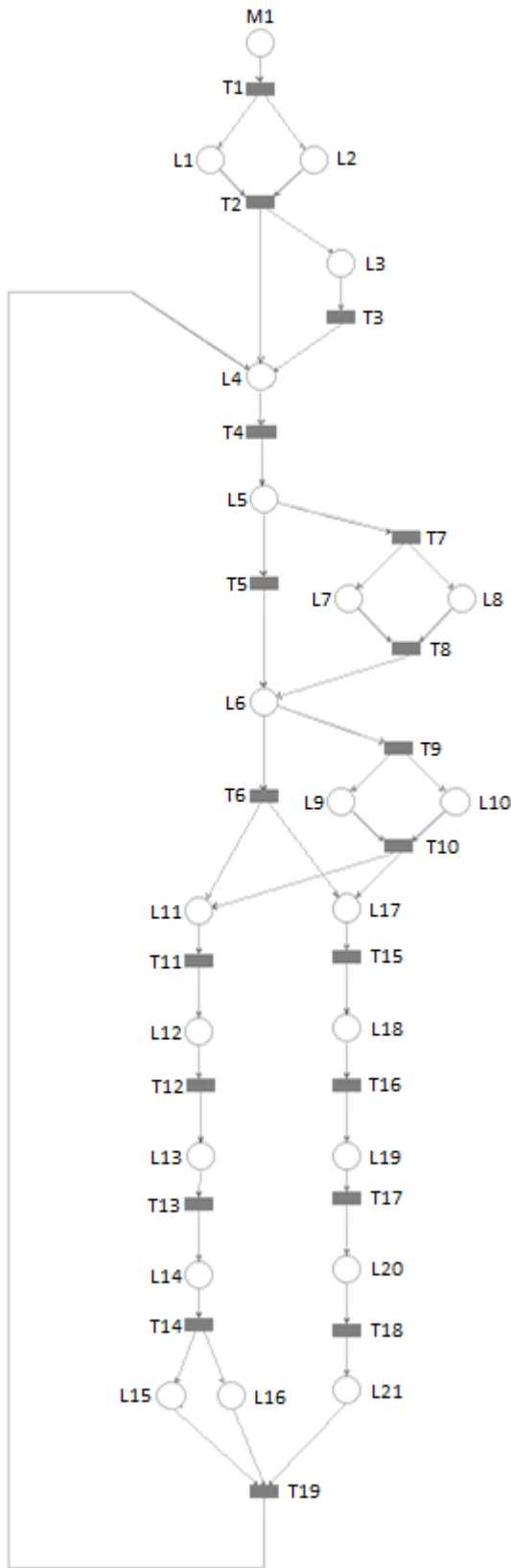


Figura 39. Diagrama de la red de Petri que representa la línea de marga utilizando la banda transportadora 221-BT3.

## 2) Marga sin tripper

La última secuencia que queda por estudiar sería el transporte de marga pero sin hacer uso del *tripper* de la marga 221-CY1. Como en los demás casos estudiados el inicio de esta secuencia empezará con la activación de la orden de marcha de la línea. Esta orden de marcha de la línea de marga sin la utilización del *tripper* será una marca interna del programa que se definirá como OM-M. El sistema, inicialmente en estado de reposo (M1), cambiará a un siguiente estado mediante la activación de una primera transición (T1).

La Tabla 12 muestra el listado de lugares pertenecientes a la red de Petri que define la línea de trabajo. Cada lugar corresponderá con la actuación de una salida digital por parte del PLC. Por otra parte, la Tabla 13 muestra el listado de transiciones que deberán ir disparándose para que el programa cambie de un lugar a otro. Cada transición se disparará cuando se cumplan todos los requisitos definidos en la columna señales involucradas. Por último, la Figura 40 muestra la red de Petri completa correspondiente a esta línea de trituración y almacenado.

Lugar	Actividad	Señales involucradas
L1	Orden de marcha sirena zona tripper caliza.	211-2W1.G5:D
L2	Orden de marcha luz aviso arranque tripper caliza.	211-2W1.G6:D
L3	Orden de marcha cinta subida pórticos de marga.	221- BT2.M1:D
L4	Orden de marcha cinta salida machacadora marga.	221-BT1.M1:D
L5	Orden de marcha sirena zona cintas salida machacadoras.	211-2W1.G3:D
L6	Orden de marcha luz aviso arranque zona cintas salida machacadoras.	211-2W1.G4:D
L7	Orden de marcha sirena zona machacadoras.	211-2W1.G1:D
L8	Orden de marcha luz aviso arranque zona machacadoras.	211-2W1.G2:D
L9	Orden de marcha trituradora de marga por impactos.	221-TB1.M1:D
L10	Orden de marcha vent. refriger. motor alimentador de placas marga.	221-TP1.M2:D
L11	Orden de marcha alimentador de placas marga.	221-TP1.U1:D
L12	Orden de marcha rascador cadena finos marga.	221-RD1.M1:D
L13	Orden de marcha luz roja semáforo descarga camión tolva marga.	221-2W2.G1:D1
L14	Orden de marcha luz verde semáforo descarga camión tolva marga.	221-2W2.G2:D2
L15	Orden de marcha compuerta filtro dirección marga.	211- DM1.V1:DY
L16	Orden de marcha sinfin filtro mangas.	211-GU1.M1:D
L17	Orden de marcha exclusiva evacuación filtro mangas trituradoras.	211-VR1.M1:D
L18	Orden de marcha ventilador despolvado filtro mangas trituradoras.	211-VE1.C1:D
L19	Orden de marcha filtro mangas trituradora.	211-FT1.C1:D

Tabla 12. Listado de lugares perteneciente a la red de Petri de la línea marga sin tripper.

Transición	Actividad	Señales involucradas
T1	Orden de marcha línea marga sin tripper y sirena zona tripper caliza lista para arrancar y luz aviso arranque tripper caliza lista para arrancar.	OM-M $\wedge$ 211-2W1.G5 OK $\wedge$ 211-2W1.G6 OK
T2	Orden de marcha sirena zona tripper caliza y orden de marcha luz aviso arranque tripper caliza y cinta subida pórticos de marga lista para arrancar y retardo de 10 segundos.	211-2W1.G5:D $\wedge$ 211-2W1.G6:D $\wedge$ 221- BT2 OK $\wedge$ Re 10 s
T3	Respuesta de marcha cinta subida pórticos de marga y respuesta de marcha cinta salida machacadora marga y cinta salida machacadora marga lista para arrancar.	221-BT2.M1:R $\wedge$ 221-BT1.M1:R $\wedge$ 221-BT1 OK
T4	Respuesta de marcha cinta salida machacadora marga y trituradora de marga por impactos lista para arrancar.	221-BT1.M1:R $\wedge$ 221-TB1 OK
T5	Respuesta de marcha cinta subida pórticos de marga y sirena zona cintas salida machacadoras lista para arrancar y luz aviso arranque zona cintas salida machacadoras lista para arrancar y retardo de 10 segundos.	221-BT2.M1:R $\wedge$ 211-2W1.G3 OK $\wedge$ 211-2W1.G4 OK $\wedge$ Re 10 s
T6	Orden de marcha sirena zona cintas salida machacadoras y orden de marcha luz aviso arranque zona cintas salida machacadoras y no respuesta de marcha cinta salida machacadora marga y retardo de 10 segundos.	211-2W1.G3:D $\wedge$ 211-2W1.G4:D $\wedge$ no 221-BT1.M1:R $\wedge$ Re 10 s
T7	Respuesta de marcha cinta salida machacadora marga y no respuesta de marcha trituradora de marga por impactos y no respuesta de marcha sinfin filtro mangas y sirena zona machacadoras lista para arrancar y luz aviso arranque zona machacadoras lista para arrancar y Retardo de 10 segundos.	221-BT1.M1:R $\wedge$ no 221-TB1.M1:R $\wedge$ no 211-GU1.M1:R $\wedge$ 211-2W1.G1 OK $\wedge$ 211-2W1.G2 OK $\wedge$ Re 10 s
T8	Orden de marcha sirena zona machacadoras y orden de marcha luz aviso arranque zona machacadoras y no respuesta de marcha trituradora de marga por impactos y no respuesta de marcha sinfin filtro mangas y trituradora de marga por impactos lista para arrancar y compuerta filtro lista para arrancar y retardo de 10 segundos.	211-2W1.G1:D $\wedge$ 211-2W1.G2:D $\wedge$ no 221-TB1.M1:R $\wedge$ no 211.GU1.M1:R $\wedge$ 221-TB1 OK $\wedge$ 211-DM1 OK $\wedge$ Re 10 s
T9	Respuesta de marcha trituradora de marga por impactos y vent. refriger. motor alimentador de placas marga listo para arrancar.	221-TB1.M1:R $\wedge$ 221-TP1.M2 OK
T10	Respuesta de marcha vent. refriger. motor alimentador de placas marga y alimentador de placas marga listo para arrancar.	221-TP1.M2:R $\wedge$ 221-TP1.M1 OK
T11	Respuesta de marcha alimentador de placas marga y rascador cadena finos marga listo para arrancar.	221-TP1.M1:R $\wedge$ 211-RD1 OK
T12	(Nivel de llenado tolva descarga camiones marga menor de 6 mA o mayor de 18 mA) o (nivel de llenado tolva descarga camiones marga mayor de 6 mA y menor de 18 mA).	(6mA > 221-TL1.L1 :PV > 18 mA) OR (6mA $\leq$ 221-TL1.L1 :PV $\leq$ 18 mA)
T13	Respuesta de marcha compuerta filtro dirección marga y posición compuerta filtro dirección marga y sinfin filtro mangas listo para arrancar.	211-DM1.V1:DY $\wedge$ 211-DM1.Y1:Y $\wedge$ 211-GU1 OK
T14	Respuesta de marcha sinfin filtro mangas y exclusiva evacuación filtro mangas trituradoras lista para arrancar.	211-GU1.M1:R $\wedge$ 211-VR1 OK
T15	Respuesta de marcha exclusiva evacuación filtro mangas trituradoras y vent. despolvado filtro mangas trituradoras listo para arrancar.	211-VR1.M1:R $\wedge$ 211-VE1 OK
T16	Respuesta de marcha vent. despolvado filtro mangas trituradoras y filtro mangas trituradora listo para arrancar.	211-VE1.M1:R $\wedge$ 211-FT1 OK
T17	Respuesta de marcha rascador cadena finos marga y respuesta de marcha filtro mangas trituradora y cinta tripper nave de marga lista para arrancar.	221-RD1.M1:R $\wedge$ 211-FT1.C1:R $\wedge$ 221-BT3 OK

Tabla 13. Listado de lugares perteneciente a la red de Petri de la línea marga sin tripper.

## XI. CONCLUSIONES

El presente trabajo ha descrito los diferentes pasos que se han seguido para la realización del proceso de automatización de una planta industrial. Como se puede comprobar, gran parte del trabajo de automatización comienza mucho antes de la puesta en marcha de la instalación. Es necesario definir en un primer lugar el número total de arrancadores implicados así como las señales analógicas y digitales correspondientes a cada uno de ellos. Una vez hecho esto, se debe establecer un patrón común para nombrar cada señal, de manera que no existan dos señales con el mismo nombre.

Aunque se trate de una instalación ya en funcionamiento que se desea modernizar desde el punto de vista de control, también se hace necesario el cambio en el modo de cablear eléctricamente los distintos accionamientos. Este nuevo cableado eléctrico debe definirse con antelación mediante el diseño de los correspondientes esquemas eléctricos.

El sistema de comunicaciones elegido debe ser tal que minimice lo máximo posible la posibilidad de errores en la comunicación. El protocolo Profibus, implementado a través de fibra óptica en anillo redundante, ha demostrado sobradamente su fiabilidad y rapidez en la transmisión de datos dentro de grandes instalaciones industriales como puede ser una fábrica de cemento.

La definición de las redes de Petri, pertenecientes a las distintas líneas de trituración y almacenado estudiadas, facilita enormemente el trabajo de programación del autómat. También pueden ser utilizadas por parte del personal de mantenimiento de fábrica como herramienta para la resolución de problemas o averías en la instalación.

Una vez alcanzados todos los puntos anteriores sólo queda la implementación en campo y su puesta en marcha. Las mejoras inmediatas que se obtienen, aparte de eliminar la obsolescencia del sistema anterior, están relacionadas con la velocidad y fiabilidad en la transmisión de datos por parte del nuevo sistema de control. La facilidad en la resolución de averías se incrementa enormemente gracias a los métodos de diagnóstico de la periferia distribuida utilizada. Las posibilidades de expansión del sistema aumentan debido al nuevo tipo de PLC utilizado, más moderno y potente. Por último, las posibilidades de comunicación del sistema con el exterior están garantizadas, facilitando la posibilidad de interactuar con el mismo desde cualquier parte del mundo para su control o mantenimiento.

## XII. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado gracias a la colaboración del señor Enrique Coto González, director de la fábrica de cemento del grupo Holcim en Gádor, Almería.

Se agradece también la ayuda de los tutores de la UAL, Dr. José Luis Guzmán Sánchez y Dr. José Carlos Moreno Úbeda.

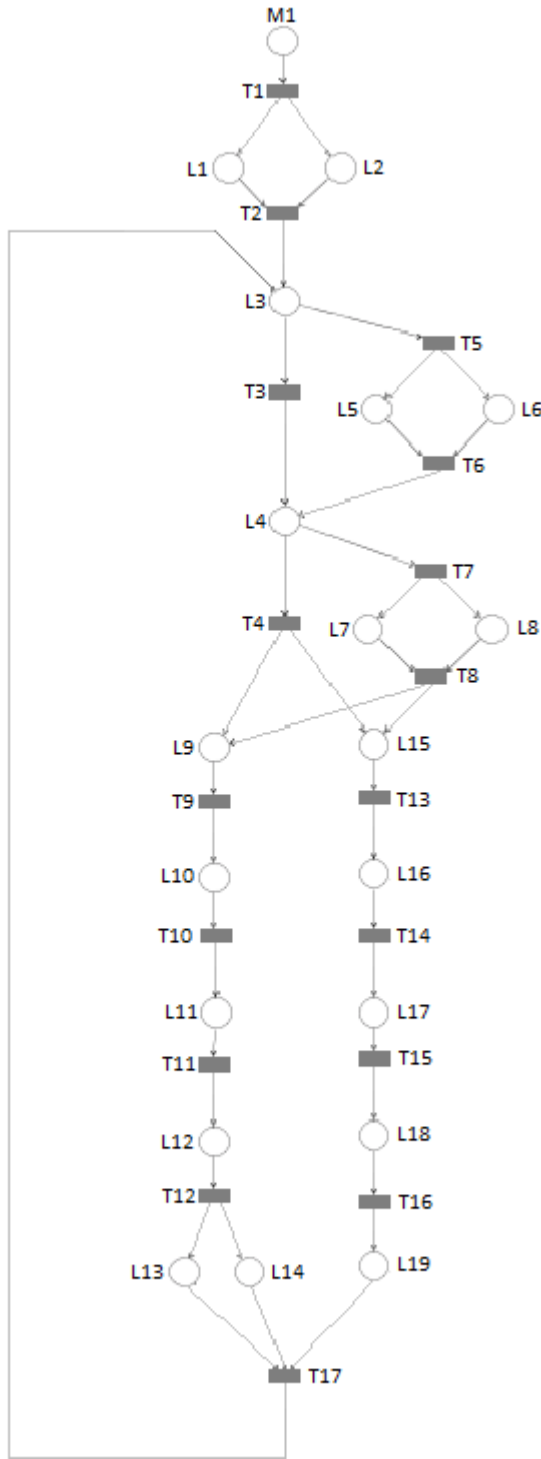


Figura 40. Diagrama de la red de Petri que representa la línea de marga sin la utilización de la banda transportadora 221-BT3.



## XIII. REFERENCIAS

- [1] <http://www.holcim.es>
- [2] <http://www.eypscap.com>
- [3] Andrés García Higuera. *El control automático en la industria*. Cuenca: Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha, 2005.
- [4] <http://isa.umh.es/asignaturas>
- [5] Theodore Wildi. *Máquinas Eléctricas y Sistemas de Potencia. Sexta Edición*. Ed. Pearson Educación, México, 2007.
- [6] <http://www.schneider-electric.com/site/home/index.cfm/es/>
- [7] <http://www.isdoel.com/flash/index.htm>
- [8] <http://www.sumintec.com>
- [9] <http://www05.abb.com/product/seitp329/6f650953505edefac1256fb900568ca4.aspx>
- [10] <http://www.abb.es/product/es/9AAC100211.aspx>
- [11] <http://www.cefem.fr/pages/en/produit/interrupteur/coffret/securite.htm>
- [12] [www.kiepe-elektrik.com/products/pull-rope-emergency-switch](http://www.kiepe-elektrik.com/products/pull-rope-emergency-switch)
- [13] <http://www.vega.com/en/Level-Radar-Radar-Sensor-VEGAPULS61.htm>
- [14] <http://www.pruftechnik.com/es/condition-monitoring/productos/sensores/product/industrial-accelerometers.html?cHash=358e08fb7c>
- [15] <http://www.schenck.es/fichaproducto.asp?Id=310>
- [16] <http://www.profibus.com/technology/profibus>
- [17] [http://www.automation.siemens.com/salesmaterial-as/brochure/es/brochure\\_simatic-et200\\_es.pdf](http://www.automation.siemens.com/salesmaterial-as/brochure/es/brochure_simatic-et200_es.pdf)
- [18] <http://www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/SIMATIC-CAT.PDF>
- [19] <http://www.automation.siemens.com/mcms/industrial-communication/es/profibus/componenetes-de-red/redes-opticas/olm/pages/olm.aspx>
- [20] [http://cache.automation.siemens.com/dnl/jE/jE1NzMyOQAA\\_48598071\\_HB/rs\\_485\\_repeater\\_manual\\_en-US\\_en-US.pdf](http://cache.automation.siemens.com/dnl/jE/jE1NzMyOQAA_48598071_HB/rs_485_repeater_manual_en-US_en-US.pdf)
- [21] [http://www.automation.siemens.com/mcms/industrial-communication/es/ie/ie\\_switches\\_media-converters/scalance-x-200-managed/pages/scalance-x-200-gestionado.aspx](http://www.automation.siemens.com/mcms/industrial-communication/es/ie/ie_switches_media-converters/scalance-x-200-managed/pages/scalance-x-200-gestionado.aspx)
- [22] <http://www.gdsys.de/en/products/kvm-extenders/dvi-kvm-extenders/dvdivision/>
- [23] José Carlos Moreno Úbeda. *Redes de Petri. Modelado y simulación de sistemas de producción*. Máster en Informática Industrial. Universidad de Almería 2012.

## XIV. ANEXO. LISTADO DE SEÑALES

En este apartado se detalla el listado de señales completo que conforma la instalación. Se puede identificar la señal por su nombre completo o código, su descripción aclara la función específica de cada señal, el lugar define en qué nodo remoto se encuentra ubicada y el tipo si es una entrada o salida tanto analógica como digital.

<b>CÓDIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>LUGAR</b>	<b>TIPO</b>
211-1R1.C1:K	Protecciones reostato machacadora caliza	CCM-1	NC
211.1R1.C1:F	Fallo reostato machacadora caliza	MC1	NC
211.1R1.L1:N	Nivel mínimo reostato machacadora caliza	MC1	NC
211.1R1.RX	Arrancador bajando	MC1	NO
211.1R1.RY	Arrancador subiendo	MC1	NO
211.1R1.T1:M	Temperatura máxima reostato machacadora caliza	MC1	NC
211.1R1.X1:X	Máxima resistencia reostato machacadora caliza	MC1	NC
211.1R1.Y1:Y	Mínima resistencia reostato machacadora caliza	MC1	NC
211-2W1.G1:D	Orden de marcha sirena zona machacadoras	CCM-6	NO
211-2W1.G1:K	Protecciones sirena zona machacadoras	CCM-6	NC
211-2W1.G2:D	Orden de marcha luz aviso arranque zona machacadoras	CCM-6	NO
211-2W1.G2:K	Protecciones luz aviso arranque zona machacadoras	CCM-6	NC
211-2W1.G3:D	Orden de marcha sirena zona cintas salida machacadoras	MC1	NO
211-2W1.G3:K	Protecciones sirena zona cintas salida machacadoras	MC1	NC
211-2W1.G4:D	Orden de marcha luz aviso arranque zona cintas salida machacadoras	MC1	NO
211-2W1.G4:K	Protecciones luz aviso arranque zona cintas salida machacadoras	MC1	NC
211-2W1.G5:D	Orden de marcha sirena zona tripper caliza	MC2	NO
211-2W1.G5:K	Protecciones sirena zona tripper caliza	MC2	NC
211-2W1.G6:D	Orden de marcha luz aviso arranque tripper caliza	MC2	NO
211-2W1.G6:K	Protecciones luz aviso arranque tripper caliza	MC2	NC
211-2W1.G7:D	Orden de marcha sirena zona tripper marga	MC2	NO
211-2W1.G7:K	Protecciones sirena zona tripper marga	MC2	NC
211-2W1.G8:D	Orden de marcha luz aviso arranque tripper marga	MC2	NO
211-2W1.G8:K	Protecciones luz aviso arranque tripper marga	MC2	NC
211-2W2.G1:D1	Orden de marcha luz roja semáforo descarga camión tolva caliza	CCM-6	NO
211-2W2.G1:K	Protecciones semáforo descarga camión tolva caliza	CCM-6	NC
211-2W2.G1:D2	Orden de marcha luz verde semáforo descarga camión tolva caliza	CCM-6	NO
211-AD1.C1:D	Orden de marcha apiladora	CCM-6	NO
211-AD1.C1:F1	Fallo general apiladora	CCM-6	NC
211-AD1.C1:L1	Nivel máximo tolván	CCM-6	NC
211-AD1.C1:R	Respuesta de marcha apiladora	CCM-6	NO
211-AD1.C1:RDY	Apiladora en automático	CCM-6	NC
211-AD1.C1:X1	Finalización de montón	CCM-6	NO

<b>CÓDIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>LUGAR</b>	<b>TIPO</b>
211-BT1.M1:D	Orden de marcha cinta salida machacadora caliza	CCM-2	NO
211-BT1.M1:K	Protecciones cinta salida machacadora caliza	CCM-2	NC
211-BT1.M1:R	Respuesta de marcha cinta salida machacadora caliza	CCM-2	NO
211-BT1.R0:J	Tirón cinta salida machacadora caliza	CCM-2	NC
211-BT1.D1:F	Desvío cinta salida machacadora caliza	MC2	NC
211-BT1.D2:F	Desvío cinta salida machacadora caliza	MC2	NC
211-BT1.M1:G	Marcha local cinta salida machacadora caliza	MC2	NO
211-BT1.R1:J	Tirón cinta salida machacadora caliza	MC2	NC
211-BT1.R2:J	Tirón cinta salida machacadora caliza	MC2	NC
211-BT1.M1:S	Paro local cinta salida machacadora caliza	MC2	NC
211-BT1.S1:N	Control de giro cinta salida machacadora caliza	MC2	NC
211-BT1.M1:U	Seccionador cinta salida machacadora caliza	MC2	NO
211-BT2.M1:D	Orden de marcha cinta subida pórticos de caliza	CCM-3	NO
211-BT2.M1:F1	Fallo arrancador cinta subida pórticos de caliza	CCM-3	NO
211-BT2.M1:F2	Sobrecarga arrancador cinta subida pórticos de caliza	CCM-3	NO
211-BT2.M1:K	Protecciones cinta subida pórticos de caliza	CCM-3	NC
211-BT2.M1:R	Respuesta de marcha cinta subida pórticos de caliza	CCM-3	NO
211-BT2.I1:PV	Intensidad cinta subida pórticos de caliza	CCM-3	4-20mA
211-BT2.R0:J	Tirón cinta subida pórticos de caliza	CCM-3	NC
211-BT2.D1:F	Desvío cinta subida pórticos de caliza	MC3	NC
211-BT2.D2:F	Desvío cinta subida pórticos de caliza	MC3	NC
211-BT2.M1:G	Marcha local cinta subida pórticos de caliza	MC3	NO
211-BT2.R1:J	Tirón cinta subida pórticos de caliza	MC3	NC
211-BT2.R2:J	Tirón cinta subida pórticos de caliza	MC3	NC
211-BT2.M1:S	Paro local cinta subida pórticos de caliza	MC3	NC
211-BT2.S1:PLS	Control de giro cinta subida pórticos de caliza	MC3	pulsos
211-BT2.M1:U	Seccionador cinta subida pórticos de caliza	MC3	NO
211-BT3.M1:D	Orden de marcha cinta tripper nave de caliza	CCM-2	NO
211-BT3.M1:K	Protecciones cinta tripper nave de caliza	CCM-2	NC
211-BT3.M1:R	Respuesta de marcha cinta tripper nave de caliza	CCM-2	NO
211-BT3.R0:J	Tirón cinta tripper nave de caliza	CCM-2	NC
211-BT3.D1:F	Desvío cinta tripper nave de caliza	MC3	NC
211-BT3.D2:F	Desvío cinta tripper nave de caliza	MC3	NC
211-BT3.M1:G	Marcha local cinta tripper nave de caliza	MC3	NO
211-BT3.R1:J	Tirón cinta tripper nave de caliza	MC3	NC
211-BT3.R2:J	Tirón cinta tripper nave de caliza	MC3	NC
211-BT3.M1:S	Paro local cinta tripper nave de caliza	MC3	NC
211-BT3.S1:PLS	Control de giro cinta tripper nave de caliza	MC3	pulsos
211-BT3.M1:U	Seccionador cinta tripper nave de caliza	MC3	NO

<b>CÓDIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>LUGAR</b>	<b>TIPO</b>
211-BT4.M1:D	Orden de marcha cinta alimentación a parque PHB	CCM-4	NO
211-BT4.M1:K	Protecciones cinta alimentación a parque PHB	CCM-4	NC
211-BT4.M1:R	Respuesta de marcha cinta alimentación a parque PHB	CCM-4	NO
211-BT4.R0:J	Tirón cinta alimentación a parque PHB	CCM-4	NC
211-BT4.D1:F	Desvío cinta alimentación a parque PHB	MC3	NC
211-BT4.D2:F	Desvío cinta alimentación a parque PHB	MC3	NC
211-BT4.M1:G	Marcha local cinta alimentación a parque PHB	MC3	NO
211-BT4.R1:J	Tirón cinta alimentación a parque PHB	MC3	NC
211-BT4.R2:J	Tirón cinta alimentación a parque PHB	MC3	NC
211-BT4.M1:S	Paro local cinta alimentación a parque PHB	MC3	NC
211-BT4.S1:PLS	Control de giro cinta alimentación a parque PHB	MC3	pulsos
211-BT4.M1:U	Seccionador cinta alimentación a parque PHB	MC3	NO
211-CA1.M1:D	Orden de marcha compresor de aire	CCM-5	NO
211-CA1.M1:K	Protecciones compresor de aire	CCM-5	NC
211-CA1.M1:R	Respuesta de marcha compresor de aire	CCM-5	NO
211-CA1.I1:PV	Intensidad compresor de aire	CCM-5	4-20mA
211-CA1.M1:R	Respuesta de marcha compresor aire	MC1	NO
211-CA1.M1:U	Seccionador compresor aire	MC1	NO
211-CY1.C1:DX	Orden de marcha dirección Gádor Tripper Caliza	CCM-6	NO
211-CY1.C1:DY	Orden de marcha dirección Almería Tripper Caliza	CCM-6	NO
211-CY1.C1:K	Protecciones Tripper Caliza	CCM-6	NC
211-CY1.C1:RX	Respuesta de marcha dirección Gádor Tripper Caliza	CCM-6	NO
211-CY1.C1:RY	Respuesta de marcha dirección Almería Tripper Caliza	CCM-6	NO
211-CY1.M1:G	Marcha local Tripper caliza	MC3	NO
211-CY1.M1:S	Paro local Tripper caliza	MC3	NC
211-CY1.M1:U	Seccionador Tripper caliza	MC3	NO
211-CY1.X1:X	Límite recorrido dirección Gádor Tripper caliza	MC3	NC
211-CY1.X2:X	Posición descarga montón 1	MC3	NC
211-CY1.X3:X	Posición descarga montón 2	MC3	NC
211-CY1.X4:X	Posición descarga montón 3	MC3	NC
211-CY1.X5:X	Posición descarga montón 4	MC3	NC
211-CY1.Y1:Y	Límite recorrido dirección Almería Tripper caliza	MC3	NC
211-DM1.V1:DX	Orden de marcha compuerta filtro dirección caliza	CCM-5	NO
211-DM1.V1:DY	Orden de marcha compuerta filtro dirección marga	CCM-5	NO
211-DM1.V1:K	Protecciones compuerta filtro	CCM-5	NC
211-DM1.X1:X	Posición compuerta filtro	MC2	NO
211-DM1.Y1:Y	Posición compuerta filtro	MC2	NO
211-DM2.X1:X	Posición compuerta desvío tripper caliza	MC3	NO
211-DM2.Y1:Y	Posición compuerta desvío tripper caliza	MC3	NO
211-FT1.C1:D	Orden de marcha filtro mangas trituradora	CCM-5	NO
211-FT1.C1:K	Protecciones filtro mangas trituradora	CCM-5	NC
211-FT1.C1:R	Respuesta de marcha filtro mangas trituradora	CCM-5	NO
211-FT1.C1:G	Marcha local desempolvado filtro mangas trituradora	MC1	NO
211-FT1.P1:N	Presión mínima desempolvado filtro mangas trituradora	MC1	NC
211-FT1.C1:S	Paro local desempolvado filtro mangas trituradora	MC1	NC
211-FT1.C1:U	Seccionador desempolvado filtro mangas trituradora	MC1	NO

<b>CÓDIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>LUGAR</b>	<b>TIPO</b>
211-GU1.M1:D	Orden de marcha sinfin filtro mangas	CCM-5	NO
211-GU1.M1:K	Protecciones sinfin filtro mangas	CCM-5	NC
211-GU1.M1:R	Respuesta de marcha sinfin filtro mangas	CCM-5	NO
211-GU1.M1:G	Marcha local sinfin filtro mangas	MC2	NO
211-GU1.M1:S	Paro local sinfin filtro mangas	MC2	NC
211-GU1.S1:N	Control de giro sinfin filtro mangas	MC2	NC
211-GU1.M1:U	Seccionador sinfin filtro mangas	MC2	NO
211-PD1.M1:K	Protecciones báscula integradora de caliza	CCM-2	NC
211-PD1.F1:PV	Tm/h báscula integradora de caliza	MC2	4-20mA
211-PD1.F2:PV	Salida Tm/h báscula integradora de caliza a analizador en continuo	CCM-6	4-20mA
211-RD1.M1:D	Orden de marcha rascador cadena finos caliza	CCM-2	NO
211-RD1.M1:K	Protecciones rascador cadena finos caliza	CCM-2	NC
211-RD1.M1:R	Respuesta de marcha rascador cadena finos caliza	CCM-2	NO
211-RD1.M1:G	Marcha local rascador cadena finos caliza	MC1	NO
211-RD1.M1:S	Paro local rascador cadena finos caliza	MC1	NC
211-RD1.S1:PLS	Control de giro rascador cadena finos caliza	MC1	pulsos
211-RD1.M1:U	Seccionador rascador cadena finos caliza	MC1	NO
211-TB1.M1:D	Orden de marcha trituradora de caliza por impactos	CCM-2	NO
211-TB1.M1:K	Protecciones trituradora de caliza por impactos	CCM-2	NC
211-TB1.M1:R	Respuesta de marcha trituradora de caliza por impactos	CCM-2	NO
211-TB1.J1:PV	Intensidad trituradora de caliza por impactos	CCM-2	4-20mA
211-TB1.M1:G	Marcha local trituradora de caliza por impactos	MC1	NO
211-TB1.M1:S	Paro local trituradora de caliza por impactos	MC1	NC
211-TB1.S1:PLS	Control de giro trituradora de caliza por impactos	MC1	pulsos
211-TB1.J1:PV	Intensidad trituradora de caliza por impactos	CCM-2	4-20mA
211-TB1.N1:PV	Vibraciones trituradora de caliza por impactos	MC1	4-20mA
211-TB1.T1:PV	Temperatura bobinado motor	MC1	PT100
211-TL1.L1:K	Protecciones nivel de llenado tolva descarga camiones caliza	CCM-2	NC
211-TL1.L1:PV	Nivel de llenado tolva descarga camiones caliza	CCM-2	4-20mA
211-TP1.J1:PV	Intensidad alimentador de placas caliza	CCM-1	4-20mA
211-TP1.R0:J	Tirón cinta placas caliza	CCM-1	NC
211-TP1.S1:PV	Respuesta velocidad alimentador de placas caliza	CCM-1	4-20mA
211-TP1.S1:SP	Set Point velocidad alimentador de placas caliza	CCM-1	4-20mA
211-TP1.U1:D	Orden de marcha alimentador de placas caliza	CCM-1	NO
211-TP1.U1:F	Fallo variador alimentador de placas caliza	CCM-1	NC
211-TP1.U1:K	Protecciones alimentador de placas caliza	CCM-1	NC
211-TP1.U1:R	Respuesta de marcha alimentador de placas caliza	CCM-1	NO
211-TP1.M1:DEC	Bajar velocidad local cinta placas caliza	MC1	NO
211-TP1.M1:G	Marcha local cinta placas caliza	MC1	NO
211-TP1.M1:INC	Subir velocidad local cinta placas caliza	MC1	NO
211-TP1.R1:J	Tirón cinta placas caliza	MC1	NC
211-TP1.R2:J	Tirón cinta placas caliza	MC1	NC
211-TP1.M1:S	Paro local cinta placas caliza	MC1	NC
211-TP1.S1:PLS	Control de giro cinta placas caliza	MC1	pulsos
211-TP1.M1:U	Seccionador cinta placas caliza	MC1	NO

<b>CÓDIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>LUGAR</b>	<b>TIPO</b>
211-TP1.M2:D	Orden de marcha vent. Refrig. Motor alimentador de placas caliza	CCM-1	NO
211-TP1.M2:K	Protecciones vent. Refrig. Motor alimentador de placas caliza	CCM-1	NC
211-TP1.M2:R	Respuesta de marcha vent. Refrig. Motor alimentador de placas caliza	CCM-1	NO
211-TP1.M2:G	Marcha local vent. Refrig. Motor alimentador de placas caliza	MC1	NO
211-TP1.M2:S	Paro local vent. Refrig. Motor alimentador de placas caliza	MC1	NC
211-TP1.M2:U	Seccionador vent. Refrig. Motor alimentador de placas caliza	MC1	NO
211-VE1.M1:D	Orden de marcha vent. Desemp. Filtro mangas trituradoras	CCM-5	NO
211-VE1.M1:K	Protecciones vent. Desemp. Filtro mangas trituradoras	CCM-5	NC
211-VE1.M1:R	Respuesta de marcha vent. Desemp. Filtro mangas trituradoras	CCM-5	NO
211-VE1.M1:G	Marcha local vent. Desemp. Filtro mangas trituradoras	MC1	NO
211-VE1.M1:S	Paro local vent. Desemp. Filtro mangas trituradoras	MC1	NC
211-VE1.S1:N	Control de giro vent. Desemp. Filtro mangas trituradoras	MC1	NC
211-VE1.M1:U	Seccionador vent. Desemp. Filtro mangas trituradoras	MC1	NO
211-VR1.M1:D	Orden de marcha exclusiva evacuación filtro mangas trituradoras	CCM-5	NO
211-VR1.M1:K	Protecciones exclusiva evacuación filtro mangas trituradoras	CCM-5	NC
211-VR1.M1:R	Respuesta de marcha exclusiva evacuación filtro mangas trituradoras	CCM-5	NO
211-VR1.M1:G	Marcha local exclusiva evacuación filtro mangas trituradoras	MC1	NO
211-VR1.M1:S	Paro local exclusiva evacuación filtro mangas trituradoras	MC1	NC
211-VR1.S1:N	Control de giro exclusiva evacuación filtro mangas trituradoras	MC1	NC
211-VR1.M1:U	Seccionador exclusiva evacuación filtro mangas trituradoras	MC1	NO
221-1R1.C1:K	Protecciones reostato machacadora marga	CCM-1	NC
221-1R1.C1:F	Fallo reostato machacadora marga	MC1	NC
221-1R1.L1:N	Nivel mínimo reostato machacadora marga	MC1	NC
221-1R1.RX	Arrancador bajando	MC1	NO
221-1R1.RY	Arrancador subiendo	MC1	NO
221-1R1.T1:M	Temperatura máxima reostato machacadora marga	MC1	NC
221-1R1.X1:X	Máxima resistencia reostato machacadora marga	MC1	NC
221-1R1.Y1:Y	Mínima resistencia reostato machacadora marga	MC1	NC
221-2W2.G1:D1	Orden de marcha luz roja semáforo descarga camión tolva marga	CCM-6	NO
221-2W2.G1:K	Protecciones semáforo descarga camión tolva marga	CCM-6	NC
221-2W2.G1:D2	Orden de marcha luz verde semáforo descarga camión tolva marga	CCM-6	NO
221-BT1.M1:D	Orden de marcha cinta salida machacadora marga	CCM-1	NO
221-BT1.M1:K	Protecciones cinta salida machacadora marga	CCM-1	NC
221-BT1.M1:R	Respuesta de marcha cinta salida machacadora marga	CCM-1	NO
221-BT1.R0:J	Tirón cinta salida machacadora marga	CCM-1	NC
221-BT1.D1:F	Desvío cinta salida machacadora marga	MC2	NC
221-BT1.D2:F	Desvío cinta salida machacadora marga	MC2	NC
221-BT1.M1:G	Marcha local cinta salida machacadora marga	MC2	NO
221-BT1.R1:J	Tirón cinta salida machacadora marga	MC2	NC
221-BT1.R2:J	Tirón cinta salida machacadora marga	MC2	NC
221-BT1.M1:S	Paro local cinta salida machacadora marga	MC2	NC
221-BT1.S1:PLS	Control de giro cinta salida machacadora marga	MC2	pulsos
221-BT1.M1:U	Seccionador cinta salida machacadora marga	MC2	NO

<b>CÓDIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>LUGAR</b>	<b>TIPO</b>
221-BT2.M1:D	Orden de marcha cinta subida pórticos de marga	CCM-5	NO
221-BT2.M1:F	Fallo arrancador cinta subida pórticos de marga	CCM-5	NO
221-BT2.M1:K	Protecciones cinta subida pórticos de marga	CCM-5	NC
221-BT2.M1:R	Respuesta de marcha cinta subida pórticos de marga	CCM-5	NO
221-BT2.R0:J	Tirón cinta subida pórticos de marga	CCM-5	NC
221-BT2.I1:PV	Intensidad cinta subida pórticos de marga	CCM-5	4-20mA
221-BT2.D1:F	Desvío cinta subida pórticos de marga	MC3	NC
221-BT2.D2:F	Desvío cinta subida pórticos de marga	MC3	NC
221-BT2.M1:G	Marcha local cinta subida pórticos de marga	MC3	NO
221-BT2.R1:J	Tirón cinta subida pórticos de marga	MC3	NC
221-BT2.R2:J	Tirón cinta subida pórticos de marga	MC3	NC
221-BT2.M1:S	Paro local cinta subida pórticos de marga	MC3	NC
221-BT2.S1:PLS	Control de giro cinta subida pórticos de marga	MC3	pulsos
221-BT2.M1:U	Seccionador cinta subida pórticos de marga	MC3	NO
221-BT3.M1:D	Orden de marcha cinta tripper nave de marga	CCM-1	NO
221-BT3.M1:K	Protecciones cinta tripper nave de marga	CCM-1	NC
221-BT3.M1:R	Respuesta de marcha cinta tripper nave de marga	CCM-1	NO
221-BT3.R0:J	Tirón cinta tripper nave de marga	CCM-1	NC
221-BT3.D1:F	Desvío cinta tripper nave de marga	MC3	NC
221-BT3.D2:F	Desvío cinta tripper nave de marga	MC3	NC
221-BT3.M1:G	Marcha local cinta tripper nave de marga	MC3	NO
221-BT3.R1:J	Tirón cinta tripper nave de marga	MC3	NC
221-BT3.R2:J	Tirón cinta tripper nave de marga	MC3	NC
221-BT3.M1:S	Paro local cinta tripper nave de marga	MC3	NC
221-BT3.S1:PLS	Control de giro cinta tripper nave de marga	MC3	pulsos
221-BT3.M1:U	Seccionador cinta tripper nave de marga	MC3	NO
221-CY1.C1:DX	Orden de marcha dirección Gádor Tripper Marga	CCM-6	NO
221-CY1.C1:DY	Orden de marcha dirección Almería Tripper Marga	CCM-6	NO
221-CY1.C1:K	Protecciones Tripper Marga	CCM-6	NC
221-CY1.C1:RX	Respuesta de marcha dirección Gádor Tripper Marga	CCM-6	NO
221-CY1.C1:RY	Respuesta de marcha dirección Almería Tripper Marga	CCM-6	NO
221-CY1.M1:G	Marcha local Tripper marga	MC3	NO
221-CY1.M1:S	Paro local Tripper marga	MC3	NC
221-CY1.M1:U	Seccionador Tripper marga	MC3	NO
221-CY1.X1:X	Límite recorrido dirección Gádor Tripper marga	MC3	NC
221-CY1.X2:X	Posición descarga montón 1	MC3	NC
221-CY1.X3:X	Posición descarga montón 2	MC3	NC
221-CY1.X4:X	Posición descarga montón 3	MC3	NC
221-CY1.X5:X	Posición descarga montón 4	MC3	NC
221-CY1.Y1:Y	Límite recorrido dirección Almería Tripper marga	MC3	NC
221-DM2.X1	Posición compuerta desvío tripper marga	MC3	NO
221-DM2.Y1	Posición compuerta desvío tripper marga	MC3	NO

<b>CÓDIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>LUGAR</b>	<b>TIPO</b>
221-RD1.M1:D	Orden de marcha rascador cadena finos marga	CCM-1	NO
221-RD1.M1:K	Protecciones rascador cadena finos marga	CCM-1	NC
221-RD1.M1:R	Respuesta de marcha rascador cadena finos marga	CCM-1	NO
221-RD1.M1:G	Marcha local rascador cadena finos marga	MC1	NO
221-RD1.M1:S	Paro local rascador cadena finos marga	MC1	NC
221-RD1.S1:PLS	Control de giro rascador cadena finos marga	MC1	pulsos
221-RD1.M1:U	Seccionador rascador cadena finos marga	MC1	NO
221-TB1.M1:D	Orden de marcha trituradora de marga por impactos	CCM-1	NO
221-TB1.M1:K	Protecciones trituradora de marga por impactos	CCM-1	NC
221-TB1.M1:R	Respuesta de marcha trituradora de marga por impactos	CCM-1	NO
221-TB1.M1:G	Marcha local trituradora de marga por impactos	MC1	NO
221-TB1.M1:S	Paro local trituradora de marga por impactos	MC1	NC
221-TB1.S1:PLS	Control de giro trituradora de marga por impactos	MC1	pulsos
221-TB1.J1:PV	Intensidad trituradora de marga por impactos	CCM-1	4-20mA
221-TB1.N1:PV	Vibraciones trituradora de marga por impactos	MC1	4-20mA
221-TB1.T1:PV	Temperatura bobinado motor	MC1	PT100
221-TL1.L1:K	Protecciones nivel de llenado tolva descarga camiones marga	CCM-1	NC
221-TL1.L1:PV	Nivel de llenado tolva descarga camiones marga	CCM-1	4-20mA
221-TP1.J1:PV	Intensidad alimentador de placas marga	CCM-1	4-20mA
221-TP1.R0:J	Tirón cinta placas marga	CCM-1	NC
221-TP1.S1:PV	Respuesta velocidad alimentador de placas marga	CCM-1	4-20mA
221-TP1.U1:D	Orden de marcha alimentador de placas marga	CCM-1	NO
221-TP1.S1:SP	Set Point velocidad alimentador de placas marga	CCM-1	4-20mA
221-TP1.U1:K	Protecciones alimentador de placas marga	CCM-1	NC
221-TP1.U1:R	Respuesta de marcha alimentador de placas marga	CCM-1	NO
221-TP1.U1:F	Fallo variador alimentador de placas marga	CCM-1	NC
221-TP1.M1:DEC	Bajar velocidad local cinta placas marga	MC1	NO
221-TP1.M1:G	Marcha local cinta placas marga	MC1	NO
221-TP1.M1:INC	Subir velocidad local cinta placas marga	MC1	NO
221-TP1.R1:J	Tirón cinta placas marga	MC1	NC
221-TP1.R2:J	Tirón cinta placas marga	MC1	NC
221-TP1.M1:S	Paro local cinta placas marga	MC1	NC
221-TP1.S1:PLS	Control de giro cinta placas marga	MC1	pulsos
221-TP1.M1:U	Seccionador cinta placas marga	MC1	NO
221-TP1.M2:D	Orden de marcha vent. Refrig. Motor alimentador de placas marga	CCM-1	NO
221-TP1.M2:K	Protecciones vent. Refrig. Motor alimentador de placas marga	CCM-1	NC
221-TP1.M2:R	Respuesta de marcha vent. Refrig. Motor alimentador de placas marga	CCM-1	NO
221-TP1.M2:G	Marcha local vent. Refrig. Motor alimentador de placas marga	MC1	NO
221-TP1.M2:S	Paro local vent. Refrig. Motor alimentador de placas marga	MC1	NC
221-TP1.M2:U	Seccionador vent. Refrig. Motor alimentador de placas marga	MC1	NO









La gran mayoría de los procesos industriales llevan siendo controlados mediante autómatas programables desde hace más de 20 años. Uno de los problemas que presentan estas instalaciones debido al paso del tiempo es la obsolescencia de los sistemas electrónicos de control así como del software utilizado. Por tanto, pasado el tiempo de vida útil de estos componentes, se hace necesario el cambio en el sistema de control de la planta.

La fábrica de cementos de la compañía suiza Holcim situada en el pueblo de Gádor en Almería decidió cambiar su sistema de control debido precisamente a los problemas anteriormente expuestos. Este trabajo explica cómo se ha ejecutado el cambio de dicho sistema en la zona de trituración de materia prima de esta planta.

La gran parte del trabajo de automatización de una planta ya en funcionamiento debe realizarse antes de la implementación en campo y su puesta en marcha. Es necesario definir con antelación cual será la instrumentación de campo a utilizar, qué tipo y disposición de bus de comunicaciones se implantará y cuál será el autómata que controle los enclavamientos y las secuencias de arranque y paro de máquinas.

The majority of industrial processes are being controlled with programmable automatons since more than 20 years. One problem these installations suffer because of the time is the obsolescence of electronic control systems as well as the used software. Thus, when the life expectancy of these devices is over, it is compulsory to change the control system of the plant. The Swiss cement factory of Holcim Gádor in Almería decided to change its control system because of the problems explained before. This work explains how it has been executed the change in this control system in the crushing area of raw material of the plant. Most of the automation work in a running industrial plant must be done before the implementation in site and its start up. It is necessary to define in advance what will be the instrumentation to use, what kind and structure of communication bus will be implemented and what automaton will control the interlocks and starts and stops sequences.

