

**“MODELAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE  
POTABILIZACION DE AGUA, ORIENTADO  
AL DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE  
CONTROL SUPERVISORIO, CASO EMAPAL  
EP - AZOGUES”**



**“MODELAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE  
POTABILIZACION DE AGUA, ORIENTADO AL  
DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE CONTROL  
SUPERVISORIO, CASO EMAPAL EP - AZOGUES”**

**AUTOR:**

**JAIME EDUARDO ROJAS CORONEL**

Ingeniero Electrónico

Egresado de la Maestría en Control y Automatización Industriales

**DIRIGIDO POR:**

**MARIELA CERRADA LOZADA, PHD.**

Universidad de Los Andes, Mérida-Venezuela

Investigadora del Programa Prometeo



**CUENCA – ECUADOR**

**2015**

**Datos de catalogación bibliográfica**

**ROJAS CORONEL JAIME EDUARDO**

**“MODELAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE POTABILIZACION DE AGUA, ORIENTADO AL DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE CONTROL SUPERVISORIO, CASO EMAPAL EP - AZOGUES”**

Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca – Ecuador, 2015

MAESTRIA EN CONTROL Y AUTOMATIZACION INDUSTRIALES

Formato 170 x 240 mm

Páginas: 127

*Breve reseña de los autores e información de contacto*

*Autor:*



**JAIME EDUARDO ROJAS CORONEL**

Ingeniero Electrónico

Egresado de la Maestría en Control y Automatización Industriales

[jaimerc2103@gmail.com](mailto:jaimerc2103@gmail.com)

*Dirigido por:*



**MARIELA CERRADA LOZADA**

Universidad de Los Andes, Mérida-Venezuela

Investigadora del Programa Prometeo

[cerradam@ula.ve](mailto:cerradam@ula.ve)

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

©2015 Universidad Politécnica Salesiana.

CUENCA – ECUADOR

ROJAS CORONEL JAIME EDUARDO.

“MODELAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE POTABILIZACION DE AGUA, ORIENTADO AL DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE CONTROL SUPERVISORIO, CASO EMAPAL EP - AZOGUES”

IMPRESO EN ECUADOR – PRINTED IN ECUADOR

---

---

# INDICE GENERAL

---

1	INTRODUCCION.....	1
1.1	Generalidades de los Procesos de Potabilización de Agua.....	1
1.2	Generalidades de la Planta de Tratamiento de Maguarcay.....	6
1.3	Definición del Problema.....	16
1.4	Objetivos.....	17
1.4.1	Objetivo General.....	17
1.4.2	Objetivos Específicos.....	17
1.5	Justificación.....	17
2	MARCOS METODOLOGICOS PARA MODELAR PROCESOS DE NEGOCIO ORIENTADOS A LA AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL.....	19
2.1	Modelado de Sistemas de Negocios.....	19
2.2	Metodología IDEF.....	21
2.3	Modelado de Procesos en Business Modeling Method – BMM.....	23
2.4	Redes de Petri.....	31
2.5	Metodología GEMMA.....	35
3	MODELO DE PROCESOS DE LA PLANTA DE POTABILIZACION MAHUARCAY DE LA EMPRESA EMAPAL EP.....	41
3.1	Cadena de Valor.....	41
3.2	Modelo Funcional de la Planta de Tratamiento de Agua.....	44
3.3	Jerarquización del Proceso de Potabilización.....	46
3.4	Descripción de los Procesos.....	48
3.4.1	Descripción del proceso de Coagulación.....	48
3.4.2	Descripción del proceso de Floculación.....	50
3.4.3	Descripción del proceso de Sedimentación.....	52
3.4.4	Descripción del proceso de Filtración.....	52
3.4.5	Descripción del proceso de Desinfección.....	54
3.5	Diagrama de Actividades.....	56

3.5.1	Diagrama de actividades del proceso “Preparación de sulfato de aluminio” .....	56
3.5.2	Diagrama de actividades del proceso “Dosificación de sulfato de aluminio” .....	59
3.5.3	Diagrama de actividades del proceso “Preparación de polímero” .....	59
3.5.4	Diagrama de actividades del proceso “Dosificación del polímero” .....	62
3.5.5	Diagrama de actividades del proceso “Filtrado con carbón activo” ....	63
3.5.6	Diagrama de actividades del proceso “Lavado de filtro” .....	66
4	MODELADO Y CONTROL DE LOS PROCESOS DE POTIBILIZACION DE LA PLANTA DE MAHUARCAY CON REDES DE PETRI .....	69
4.1	Descripción de la Red de Petri del Proceso Preparación de Sulfato de Aluminio.....	69
4.2	Descripción de la Red de Petri del Proceso Preparación de Polímeros .....	76
4.3	Descripción de la Red de Petri del Proceso de Retro Lavado de Filtros.....	82
5	DESARROLLO DE GEMMA ORIENTADO AL CONTROL SUPERVISORIO. ....	87
5.1	Desarrollo de GEMMA para el Proceso de Preparación de Sulfato de Aluminio.....	88
5.2	Desarrollo de GEMMA para el Proceso de Preparación de Polímeros.....	98
5.3	Desarrollo de GEMMA para el Proceso de Lavado de Filtros .....	107
5.4	Simulación de Funcionamiento de GEMMA de los Procesos.....	111
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	117
6.1	Conclusiones.....	117
6.2	Recomendaciones .....	119
	Anexo 1 .....	123
	BIBLIOGRAFIA.....	125

---

---

## INDICE DE FIGURAS

---

---

Figura 1.1 Diagrama de bloques del proceso de potabilización en la PTM.....	7
Figura 1.2 Diagrama General del proceso de potabilización de la PTM. ....	8
Figura 1.3 Caudalímetro electrónico.....	10
Figura 1.4 Vertedero rectangular .....	10
Figura 1.5 Resalto hidráulico dosificadora .....	11
Figura 1.6 Flauta.....	11
Figura 1.7 Compuerta que regula el ingreso de agua al floculador .....	13
Figura 1.8 Floculador .....	13
Figura 1.9 Sedimentador de placas paralelas .....	14
Figura 1.10 Lecho filtrante .....	15
Figura 1.11 Batería de filtros .....	15
Figura 1.12 Punto de inyección de cloro en la cámara de contacto .....	16
Figura 2.1 Sistemas de Negocio de una empresa. ....	20
Figura 2.2 Diagrama IDEF0. ....	23
Figura 2.3 Estructura de la cadena de Valor de Porter .....	26
Figura 2.4 Ejemplo de Jerarquía de procesos en UML Business. ....	27
Figura 2.5 Diagrama de descripción de procesos en notación UML Business .....	28
Figura 2.6 Esquema general de un diagrama de actividades .....	29
Figura 2.7 Ejemplo red de Petri. ....	32
Figura 2.8 Modos de funcionamiento GEMMA .....	36
Figura 2.9 Estructura general de GEMMA. ....	39
Figura 3.1 Cadena de Valor empresa de agua. ....	42
Figura 3.2 IDEF0 nivel 1 del proceso de potabilización de la planta de Mahuar cay... ..	44
Figura 3.3 IDEF0 nivel 2 del proceso de potabilización de la planta Mahuar cay .....	45
Figura 3.4 Jerarquización del proceso de coagulación. ....	46
Figura 3.5 Jerarquización del proceso de floculación y sedimentación.....	47
Figura 3.6 Jerarquización del proceso de filtración. ....	47
Figura 3.7 Jerarquización del proceso de desinfección. ....	48
Figura 3.8 Descripción del proceso de coagulación.....	49
Figura 3.9 Descripción del subproceso de preparación de sulfato de aluminio.....	49
Figura 3.10 Descripción del proceso de dosificación de sulfato de aluminio.....	50
Figura 3.11 Descripción del proceso de Floculación. ....	50
Figura 3.12 Descripción del proceso de preparación de polímero. ....	51
Figura 3.13 Descripción del proceso de dosificación de polímero.....	51
Figura 3.14 Descripción del proceso de Sedimentación. ....	52

Figura 3.15 Descripción del proceso de Filtración.....	53
Figura 3.16 Descripción del proceso de filtrado con carbón activo. ....	53
Figura 3.17 Descripción del proceso de lavado de filtros. ....	54
Figura 3.18 Descripción del proceso de Desinfección. ....	54
Figura 3.19 Descripción del proceso de dosificación de cloro. ....	55
Figura 3.20 Descripción del proceso de control de regulación del nivel de agua almacenada. ....	55
Figura 3.21 Tanques mezcla sulfato de aluminio.....	57
Figura 3.22 Diagrama de actividades preparación de sulfato de aluminio. ....	58
Figura 3.23 Diagrama de actividades dosificación de sulfato de aluminio. ....	59
Figura 3.24 Diagrama del proceso de preparación de mezcla de polímero .....	60
Figura 3.25 Diagrama de actividades del proceso mezcla de polímeros. ....	62
Figura 3.26 Diagrama de actividades del proceso de dosificación de polímero.....	63
Figura 3.27 Diagrama del banco de filtros.....	64
Figura 3.28 Diagrama de actividades del proceso de filtrado con carbon activo.....	66
Figura 3.29 Diagrama de actividades del retro lavado de filtro 1.....	66
Figura 4.1 Red de Petri del funcionamiento de cada tanque del proceso de mezcla de sulfato de aluminio. ....	70
Figura 4.2 Red de Petri del proceso de mezcla de sulfato de aluminio controlado. ....	75
Figura 4.3 Red de Petri del proceso de mezcla de polímeros. ....	76
Figura 4.4 Red de Petri del proceso de mezcla de polímero controlado.....	81
Figura 4.5 Red de Petri del proceso de retro lavado de filtros no controlado.....	82
Figura 4.6 Red de Petri del proceso de retro lavado de filtros controlada. ....	86
Figura 5.1 GRAFCET producción normal nivel 1 proceso de preparación de sulfato de aluminio.....	88
Figura 5.2 GRAFCET producción normal nivel 2 proceso de preparación de sulfato de aluminio.....	89
Figura 5.3 GEMMA del proceso de preparación de sulfato de aluminio .....	90
Figura 5.4 GRAFCET maestro y de seguridad proceso preparación de sulfato de aluminio.....	93
Figura 5.5 GRAFCET G0 de producción normal controlado por G400 y G30 del proceso de preparación de sulfato de aluminio .....	94
Figura 5.6 GRAFCET G100 puesta del sistema en marcha de preparación del proceso de preparación de sulfato de aluminio .....	95
Figura 5.7 GRAFCET G200 producción en modo manual del proceso de preparación de sulfato de aluminio.....	96
Figura 5.8 GRAFCET de preparación de condiciones iniciales del proceso de preparación de sulfato de aluminio .....	97



Figura 5.9 GRAFCET producción normal nivel 1 proceso de preparación de polímero .....	98
Figura 5.10 GRAFCET producción normal nivel 2 proceso de preparación de polímero .....	99
Figura 5.11 GEMMA del proceso de preparación de polímero .....	100
Figura 5.12 GRAFCET maestro y de seguridad proceso preparación de polímero...	103
Figura 5.13 GRAFCET G0 de producción normal controlado por G400 y G30 del proceso de preparación de polímero .....	104
Figura 5.14 GRAFCET G100 puesta del sistema en marcha de preparación del proceso de preparación de polímero .....	105
Figura 5.15 GRAFCET G200 producción en modo manual del proceso de preparación de polímero.....	106
Figura 5.16 GRAFCET de preparación de condiciones iniciales del proceso de preparación de polímero .....	107
Figura 5.17 GRAFCET de funcionamiento normal del proceso de lavado de filtros	108
Figura 5.18 GRAFCET del supervisor del proceso de lavado de filtros .....	108
Figura 5.19 GEMMA del proceso de lavado de filtros .....	109
Figura 5.20 GRAFCET enriquecido del proceso de lavado de filtros.....	110
Figura 5.21 Chasis Virtual SoftLogix .....	111
Figura 5.22 GRAFCET G0 modo automático preparación sulfato aluminio .....	112
Figura 5.23 HMI del proceso de preparación de sulfato de aluminio.....	113
Figura 5.24 Simulación del GRAFCET correspondiente al GEMMA de lavado de filtros .....	113
Figura 5.25 Simulación del GRAFCET correspondiente al supervisor de lavado de Filtros .....	114
Figura 5.26 Simulación del GRAFCET correspondiente al lavado del Filtro1 .....	114
Figura 5.27 Simulación del GRAFCET correspondiente al lavado del Filtro2 .....	115
Figura 5.28 Simulación del GRAFCET correspondiente al lavado del Filtro3 .....	115
Figura 5.29 Simulación del GRAFCET correspondiente al lavado del Filtro4 .....	116
Figura 5.30 HMI para simulación del proceso de lavado de Filtros.....	116

---

---

## INDICE DE TABLAS

---

Tabla 1.1 Instrumentos y equipos actuales de los procesos de la PTM.....	9
Tabla 1.2 Datos técnicos de los floculadores .....	13
Tabla 2.1 Actividades y Productos del Modelo de Procesos de Negocio.....	25
Tabla 2.2 Símbolos de los diagramas de actividades. ....	30
Tabla 3.1 Descripción de los procesos primarios de la planta.....	43
Tabla 3.2 Detalle de los elementos de control para la mezcla de sulfato de aluminio. ....	57
Tabla 3.3 Detalle de los elementos de control para la de preparacion de mezcla de polímero .....	60
Tabla 3.4 Detalle de los elementos de control que conforman el banco de filtros.....	64
Tabla 4.1 Lugares de la red de Petri del proceso de mezcla de sulfato de aluminio. ....	71
Tabla 4.2 Transiciones de la red de Petri del proceso de mezcla de sulfato de aluminio .....	71
Tabla 4.3 Lugares de la red de Petri del proceso mezcla de polímeros. ....	77
Tabla 4.4 Transiciones de la red de Petri del proceso mezcla de polímeros.....	78
Tabla 4.5 Lugares de la red de Petri del proceso de retro lavado de filtros. ....	83
Tabla 4.6 Transiciones de la red de Petri del proceso de retro lavado de filtros .....	83
Tabla 5.1 Elementos pupitre operador preparación sulfato de aluminio .....	92
Tabla 5.2 Elementos pupitre operador preparación de polímero.....	102
Tabla A1 Símbolos utilizados por UML Business para modelar procesos de negocio. ....	123

## **Dedicatoria**

A mi esposa, hijos y padres quienes son el pilar de mi vida, la inspiración que hace que cada día sea un motivo de superación. Gracias por el apoyo brindado.

*Ing. Jaime Rojas Coronel.*



## **PREFACIO**

Este trabajo de tesis titulado “Modelado de los Sistemas de Potabilización del Agua orientado al diseño de los sistemas de control supervisorio Caso EMAPAL”, requisito para la obtención del título de Magister en Automatización y Control Industriales, es una investigación que presenta los modelos de los procesos de negocio y los modelos de control supervisorio de los subprocesos inherentes al proceso de Potabilización del Agua de la Empresa EMAPAL EP, utilizando las metodologías apropiadas que permitan tratar el tema de la automatización de una manera estructurada y ordenada. Para la elaboración del presente trabajo se utilizaron las siguientes metodologías: IDEF enfocada a la automatización a nivel de planta, en la que se establece una visión funcional del proceso de potabilización por medio de diagramas que sirvieron como base para establecer la cadena de valor y llegar a un mayor grado de detalle utilizando la metodología del modelado de negocios BMM en su parte de modelado de procesos de negocios con la cual se desarrollaron los diagramas de actividades, determinando los subprocesos a ser automatizados. Los diagramas de actividades fueron modelados con Redes de Petri y con dichos modelos se calcularon los controladores supervisorios para los subprocesos seleccionados. También se utilizó la guía de los modos de marcha y parada GEMMA para definir todos los posibles estados de funcionamiento de los subprocesos a ser automatizados, llegando a obtener los gráficos de funciones de control de estados y transiciones GRAFCETs que servirán para la futura implementación en los controladores lógicos programables PLCs. Los GRAFCETs obtenidos fueron simulados en un PLC virtual con el software “RSLogix 5000 Emulate” a fin de validar la propuesta de control.

Los resultados que aquí se presentan servirán como base para la automatización industrial en la empresa EMAPAL y otras similares, específicamente en los procesos de: preparación de sulfato de aluminio, preparación de polímeros y lavado de filtros, lo cual se considera la contribución principal de este trabajo,



# PRÓLOGO

En el presente trabajo de tesis se presentan el diseño y simulación de un sistema de control supervisorio para los subprocesos de: preparación de sulfato de aluminio, preparación de polímeros y lavado de filtros del proceso de potabilización de la planta de tratamiento de Mahuarcay, perteneciente a la Empresa EMAPAL EP. El trabajo está dividido en cinco capítulos con el objetivo de dar a conocer los pasos a seguir basados en algunos conceptos para el modelado de sistemas de automatización industrial, y lograr un diseño de control supervisorio acorde a las necesidades de la empresa.

En el capítulo I, se detallan las generalidades y conceptualizaciones de las plantas de tratamiento de agua, así como una introducción a los modelos de manejo de empresas similares a nivel regional, nacional y local hasta enfocarse en una descripción general de la planta de tratamiento de Mahuarcay. En este capítulo se esquematiza además, el objetivo general, los objetivos específicos y la justificación del problema.

En el capítulo II, se definen algunos conceptos, metodologías y técnicas de modelos conceptuales y de operación que servirán como base para el sistema de automatización; específicamente los de modelado “Integration Definition for Function Modeling IDEF”, “Business Modeling Method BMM” y la guía de operación de modos de marcha y parada “GEMMA”.

En el capítulo III, se especifica la técnica de modelado IDEF en la cual se describe y analiza las funciones y relaciones de los procesos del sistema de potabilización, para luego enfocar con más detalle mediante el método de modelado BMM, la jerarquía de estos procesos, los modelos de procesos y el diagrama de actividades en las etapas de potabilización del agua.

En el capítulo IV, se puntualiza la modelación de los procesos seleccionados para ser controlados por un sistema de automatización a través de las redes de PETRI, y se diseña el sistema de control considerando las restricciones de funcionamiento especificadas.

En el capítulo V, se particulariza la guía GEMMA y se incorporan a partir de un modelo gráfico todos los posibles estados de puesta en marcha y parada de los procesos, los procesos a ser analizados son: preparación de sulfato de aluminio, preparación de polímeros y lavado de filtros.

Finalmente se dan las conclusiones y recomendaciones las cuales indican en general que para el diseño de una exitosa automatización en los procesos industriales es necesario coordinar procesos y metodologías que permitan conceptualizar el contexto general del sistema de negocios y producción, lo cual sirve como guía, en empresas de agua potable por las ventajas competitivas que implica la automatización como herramienta tecnológica que mejora tiempos y permite realizar un adecuado manejo de recursos humanos y materiales.



## **Agradecimientos**

Agradezco ante todo a Dios, faro y luz de mi camino quien es la fuerza que guía cada uno de mis pasos, gracias a mi familia por el apoyo moral y emocional brindado en todo momento.

Mi gratitud imperecedera a los funcionarios de EMAPAL, quienes me abrieron las puertas de la institución para el levantamiento de la información requerida.

Un agradecimiento especial a la Dra. Mariela Cerrada, por su especial dedicación, por sus conocimientos y experiencia impartidos en la dirección de esta tesis.

*Ing. Jaime Eduardo Rojas Coronel.*



---

---

# CAPITULO I

---

## 1 INTRODUCCION

En el presente trabajo se realiza un análisis conceptual de los procesos de la planta de potabilización de agua EMAPAL y una propuesta de sistemas de control automático para algunos procesos que actualmente se encuentran en operación manual.

En este sentido, el contenido del presente capítulo abarca una descripción general de los procesos de potabilización de agua y la descripción específica del proceso llevado a cabo por la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado del Cantón Azogues EMAPAL-EP, en su planta de tratamiento ubicada en el sector de Mahuarca, además se analiza la situación presente de los procesos de potabilización en plantas de similares características, en las cuales parte o la totalidad de sus procesos, en la actualidad se encuentran automatizadas mejorando por tanto la eficiencia y eficacia de la producción y distribución del agua potabilizada en las áreas de injerencia. En este capítulo también se establecen los objetivos y la justificación del presente trabajo, el mismo que como se demostrará en líneas posteriores busca un modelo de los procesos de potabilización, orientado al diseño del control supervisorio.

### 1.1 Generalidades de los Procesos de Potabilización de Agua

El agua es un elemento esencial para la vida humana, para la salud básica y para la supervivencia, así como para la producción de alimentos y para las actividades económicas. Se denomina agua potable o agua para el consumo humano, al agua que puede ser consumida sin restricción debido a que, gracias a un proceso de purificación, no representa un riesgo para la salud. El término se aplica al agua que cumple con las normas de calidad promulgadas por las autoridades locales e internacionales.

El suministro de agua potable es un tema que ha ocupado el interés del hombre desde la Antigüedad. Si nos remontamos en el tiempo, ya en Grecia clásica se construían acueductos y tuberías de presión para asegurar el suministro local. En algunas zonas se construían y construyen cisternas o aljibes para recoger las aguas pluviales. Estos depósitos suelen ser subterráneos para que el agua se mantenga fresca y sin luz, lo que favorecería el desarrollo de algas.

En Europa se calcula con un gasto medio por habitante de entre 150 y 200 L de agua potable al día aunque se consumen como bebida tan sólo entre 2 y 3 litros. En muchos países el agua potable es un bien cada vez más escaso y se teme que puedan generarse conflictos bélicos por la posesión de sus fuentes. Es por esta razón que incluso algunos se atreven a decir que no será el oro el motivo del conflicto sino en realidad el agua.

De acuerdo con datos divulgados por el programa de monitorización del abastecimiento de agua potable patrocinado en conjunto por la OMS y UNICEF, el 87 % de la población mundial, es decir, aproximadamente 5900 millones de personas (marzo de 2010), dispone ya de fuentes de abastecimiento de agua potable, lo que significa que el mundo está en vías de alcanzar, e incluso de superar, la meta de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) relativa al agua potable (Salud, 2010). La preocupación de las entidades mundiales es importante porque el abastecer de agua potabilizada es un modo de prevención de salud para los seres humanos y coadyuva al desarrollo y supervivencia incluso en lugares donde hasta hace poco no se pensaba que se podría llegar con este surtido.

El tratamiento de agua no es un procedimiento nuevo, durante mucho tiempo se ha estado investigando, formulando procesos y equipos que ayuden a mejorar la calidad del agua, dado que el agua es la fuente o el medio para hacer muchas de las actividades humanas y también fuerte soporte para los diferentes inventos y formas de vida en la actualidad (Montoya & Gonzáles, 2011).

Como referencia, existen experiencias muy importantes alrededor del mundo donde se han implementado procesos tecnológicos destinados a la eficiencia y productividad, uno de estos es la Planta Potabilizadora de La Contraparada en Murcia, España, en funcionamiento desde el año 1974, es una instalación totalmente automatizada que incorpora a su proceso de potabilización los sistemas de ozonización y filtración sobre lechos de carbón activo. El 25% del agua que se bebe en Murcia procede de esta planta. Dentro de las últimas mejoras introducidas, destaca el control automático y en continuo de la calidad del agua bruta y del agua potabilizada que, entre otras variables, incorpora un nuevo Sistema de Control de la posible Toxicidad del agua bruta destinada a la potabilización. Sistema totalmente novedoso en España, que representa una innovación tecnológica importante y aumenta las garantías de idoneidad del agua destinada a la potabilización (Empresa Municipal de Aguas y Saneamiento de Murcia, 2009).

Así mismo, en Mendoza provincia de Argentina, la empresa del grupo Pescarmona ICSA, y la distribuidora de agua, iniciaron un proyecto para automatizar la prestación

y control del servicio y apoyados por ICSA, que posee experiencia en desarrollos de este tipo no sólo en el país sino en América Latina, han desarrollado una estrategia, para automatizar el sistema de consumo y modernizar el abastecimiento. Concretamente, al sistema actual de distribución de agua potable se le aplicó un control a través de software y equipamiento tecnológico desarrollado por ICSA que permite encontrar las pérdidas y medir el caudal (Ceppi, 2014). Otra práctica con excelentes resultados es la de la SEDAPAL, que es la empresa estatal dedicada a la prestación de los servicios de saneamiento, como agua potable y alcantarillado sanitario, para la ciudad de Lima. El proyecto comprendió el diseño, fabricación, pruebas, transporte, instalación en campo, integración y puesta en servicio de equipos de automatización (Concentradores de Datos Scout), sistema de comunicaciones e integración a un Sistema SCADA Survalent con Doble Redundancia para 53 estaciones remotas entre Pozos, Reservorios y Rebombes (PROCETRADI S.A.C, 2014).

En la realidad de nuestro territorio nacional, las plantas potabilizadoras de agua al igual que en el resto del mundo han ido incorporando cada vez mejores prácticas para el manejo y producción del agua potable, en concordancia incluso con la constitución del Ecuador que propende el buen vivir o suma Kawsai, en donde la dotación del agua y por ende la salud de los individuos es un derecho consagrado en la carta magna, han ido incorporando cada vez mejores prácticas para el manejo y producción del agua potable, actualmente poseen procesos productivos cada vez más complejos, y en los que coexiste una gran diversidad de elementos: autómatas, ordenadores, accionamientos neumáticos, electroválvulas, bombas, sensores de nivel, sensores de turbidez, sensores de caudal, motores, transmisores, etc.

En particular es importante citar la experiencia de la Planta de tratamiento de TIXAN la cual abastece de agua a la ciudad de Cuenca, República del Ecuador. La Construcción de la primera etapa de esta planta se realizó desde enero de 1.994 hasta Abril de 1.997, su capacidad inicial de tratamiento es de 8401lt/s. Al igual que la planta de Mahuarca, Tixán es una planta del tipo convencional integrada por los procesos de coagulación, sedimentación, filtración rápida y desinfección (ETAPA EP, 2013). Esta planta cuenta con un sistema de control supervisorio que garantiza la calidad del agua tratada.

Sin duda, uno de los proyectos más importantes en este tema en el país es el caso de Quito la capital del Ecuador donde se ha implementado el proyecto SCADA Sistema de Distribución de Agua de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento, el cual surge por la necesidad imperante de visualizar y controlar en

tiempo real la medición de los niveles de tanques, caudales de distribución en sectores y subsectores y presiones en las líneas con los objetivos de optimizar operaciones y evitar desbordes de agua tratada ha llevado a instalar sistemas de automatización en varios distritos de Quito, que es como se segmentó el proyecto. Con este fin la empresa a través de una Licitación Pública Internacional, instaló macro medidores de caudal electromagnéticos con registradores de datos y MODEM (EPMAPS, 2014).

Estos son ejemplos exitosos de cómo el control y la automatización pueden ser una herramienta indispensable para proyectos como el del agua potable desde la captación hasta la distribución, demuestran como la tecnología es el pilar para el desarrollo de los pueblos y el futuro hacia mejores condiciones de vida de sus habitantes.

Con la apertura de fronteras promovida por la Globalización el Benchmarking ha sido el apalancamiento a nivel mundial para que empresas emulen aquellos productos, servicios y procesos de trabajo que pertenezcan a organizaciones que evidencien las mejores prácticas en temas de automatización de empresas de agua potable, con el propósito de ofertar a nivel nacional e internacional negocios de mejoramiento de procesos de producción del líquido vital a pequeña, mediana y gran escala.

Ya situándonos en el contexto local, la encargada del abastecimiento del líquido vital en la capital de la provincia del Cañar es EMAPAL- EP, empresa pública de capital cerrado, que se dedica a proveer servicios públicos de alcantarillado sanitario, alcantarillado pluvial, tratamiento de aguas servidas y de agua potable a la Municipalidad Azogues. EMAPAL-EP, en su misión de ser una empresa eficiente, comprometida con el manejo integral del agua, viene realizando acciones coordinadas para mejorar sus procesos a fin de garantizar la salud pública a través de la prestación de este servicio básico. La empresa en la actualidad no tiene a su disposición soluciones tecnológicas que permitan automatizar el proceso del servicio público de abastecimiento de agua, por lo que es necesaria la implementación de un sistema que posibilite mejorar la gestión de este importante servicio. Existen mejoras que deben ser implementadas en los procesos de potabilización que garanticen la calidad del agua potabilizada y por lo tanto la salud pública ya que este es un servicio básico de la sociedad, es por esto que la empresa pública EMAPAL-EP, debe implementar este tipo de mejoras para cumplir su misión y visión con la colectividad.

La automatización de los procesos de negocio, desde los sistemas de información, control y decisión que manejan el conocimiento completo de lo que sucede en la empresa, se ha convertido en una necesidad para las empresas. Para este fin se han establecido métodos que aplican modelos que describen gráficamente los objetivos

que la organización debe alcanzar, los procesos y actividades que permiten lograr estos objetivos, las reglas o marco legal que deben cumplirse, los recursos o entidades que se requieren para ejecutar los procesos, los actores y su estructura organizacional (organigrama), y las tecnologías utilizadas para aumentar la eficiencia y eficacia de los procesos (Montilva, 1999). Por lo tanto, nuevas técnicas, herramientas, métodos y metodologías son necesarios para hacer frente a la complejidad de estos sistemas, como lo estructuran en su Método para la Automatización Integral de Sistemas de Producción Continua METAS (Montilva, et al., 2001). METAS establece una macro visión del sistema empresarial estableciendo como objetivo principal del método el desarrollo de planes estratégicos de integración o planes maestros de automatización. El enfoque posee una estructura jerárquica que está compuesta por tres tipos de actividades: fases, pasos y tareas. Esta estructura está basada en el método de planificación estratégica de sistemas de información de Steven Spewak. METAS posee nueve fases, que son: 1. Modelado preliminar del negocio, 2. Modelado del proceso productivo, 3. Definición de los requerimientos de información, automatización e integración empresarial, 4. Diseño de la Arquitectura de Procesos de Gestión, 5. Diseño de la Arquitectura de Objetos de Datos, 6. Diseño de la Arquitectura de Aplicaciones, 7. Definición y especificación de los Sistemas de Integración, 8. Diseño de la Arquitectura de Tecnología de Información & Comunicaciones y 9. Elaboración del Plan de Automatización Cada una de estas fases se divide en pasos y estos, a su vez, en tareas.

La fase 1, Modelado Preliminar del Sistema del Negocios, tiene por objetivo ayudar al grupo de automatización a obtener un conocimiento global del negocio objeto de estudio. Esta fase incluye la determinación y documentación de los objetivos del sistema empresarial, sus funciones, sus objetos de negocios y su estructura organizacional.

La fase 2, Modelado del Proceso Productivo Continuo, su propósito de es obtener una visión global de todas las plantas, esto es, un conocimiento integral del proceso productivo propiamente dicho, de sus tecnologías y métodos de producción.

Como punto de partida llevaremos a cabo en el presente trabajo la fase de modelado del proceso productivo de potabilización de agua, orientado al diseño del control supervisorio, como una primera aproximación del desarrollo de la fase 1 y 2 de METAS, como aporte para futuros trabajos que integren todas las necesidades de automatización de la empresa es decir generen el plan maestro de automatización de la empresa.

## **1.2 Generalidades de la Planta de Tratamiento de Maguarcay**

Toda la información que a continuación se detalla ha sido proporcionada por los funcionarios de la empresa EMAPAL mediante entrevistas y documentación alusiva a los intereses de este trabajo.

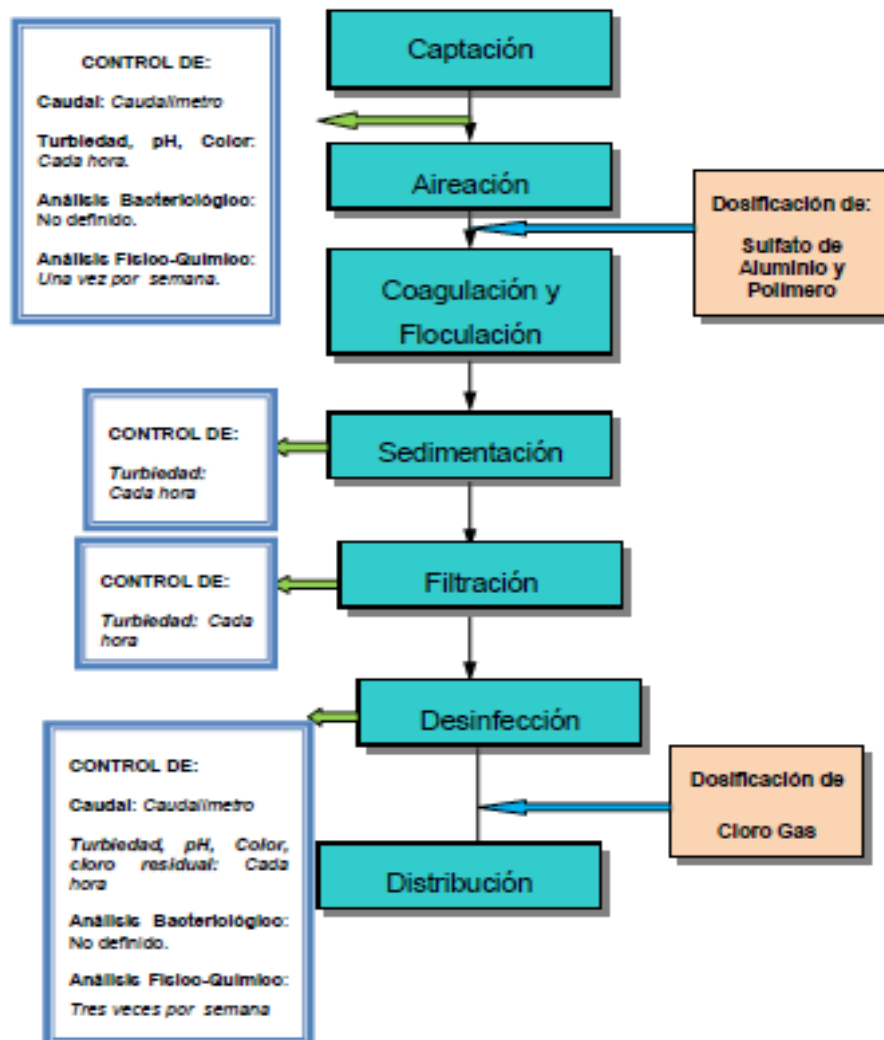
La EMAPAL-EP tiene actualmente a 10.017 abonados. Las plantas de tratamiento de Mahuarcay, Uchupucun y Zhindilig generan 200 litros/segundo, lo que permite el normal abastecimiento.

La Planta de Tratamiento de Mahuarcay (PTM), se encuentra al noreste de la ciudad de Azogues, a 2810 msnm y a unos 5 Km del centro de la ciudad (sector poblado). Está situado en la parroquia Bayas en el sector denominado como Legabuga en la comunidad de Mahuarcay (zona rural) y de ahí su nombre. Inició sus operaciones el 14 de febrero del año 2005. Es una Planta de tratamiento físico químico de filtración rápida con procesos de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección, con una Capacidad de producción de: min 50lt/s y máx. 110lt/s

La PTM es una planta convencional con operación a gravedad, integrada por los procesos de: Aforo, Coagulación, Floculación, Sedimentación, Filtración rápida y Desinfección, con edificaciones complementarias para almacenamiento y dosificación de químicos, laboratorios de control, sala de operación, así como vías para circulación interna, jardines y espacios verdes.

El proceso de potabilización de agua se puede ver en la Figura 1.1.





**Figura 1.1** Diagrama de bloques del proceso de potabilización en la PTM

**Fuente:** Cortesía de EMAPAL-EP

En la Figura 1.2, se esquematiza en un diagrama de bloques el proceso de potabilización que se lleva a cabo en la PTM, en el cual el control de cada uno de los subprocesos se realiza de manera totalmente manual, por medio del operador encargado, aunque existen instrumentos y equipos que podrían ayudar a la automatización de los subprocesos. Estos instrumentos se detallan en la Tabla 1.1



**Tabla 1.1** Instrumentos y equipos actuales de los procesos de la PTM

Subproceso	Instrumento	Cantidad	Equipo	Cantidad
Captación	Caudalímetro	1		
	Sensor de PH y Turbiedad	1		
Coagulación	Sensor de nivel	2	Motor agitador	2
Floculación	Sensor de nivel	2	Motor agitador	2
			PLC	1
			Bomba dosificadora	4
Filtración			Electro válvula	8
			PLC	1

Fuente: Autor

A continuación se da una descripción de los subprocesos:

#### **A) AFORO**

El aforo se lo realiza mediante dos tuberías que vienen de los procesos de captación, en las cuales se realizan mediciones del caudal de ingreso a la planta por medio de un caudalímetro electrónico para la primera tubería y por medio de un vertedero rectangular en el segundo caso, ver Figura 1.3 y Figura 1.4.



**Figura 1.3** *Caudalímetro electrónico*

**Fuente:** *Cortesía de EMAPAL-EP*



**Figura 1.4** *Vertedero rectangular*

**Fuente:** *Cortesía de EMAPAL-EP*

## ***B) COAGULACION***

Esta unidad cuenta con una caja de entrada de flujo ascendente, el agua luego de pasar por el vertedero corre por unas gradas, generándose el resalto hidráulico en la base de la misma ver Figura 1.5, punto en el que se aplica el coagulante. En esta unidad se realiza la mezcla completa del coagulante con el agua cruda.

El gradiente producido en el resalto al pie del vertedero, se aprovecha para producir en un tiempo corto la dispersión de la solución del coagulante, el coagulante empleado en la PTM es el sulfato de aluminio, el cual se aplica en forma uniforme mediante una tubería perforada llamada flauta ver Figura 1.6, alimentada por un dosificador de nivel constante y orificio variable, cuya posición se puede variar para optimizar la mezcla.



**Figura 1.5** Resalto hidráulico dosificadora

**Fuente:** Cortesía de EMAPAL-EP



**Figura 1.6** Flauta

**Fuente:** Cortesía de EMAPAL-EP

Dentro de esta unidad de tratamiento denominada mezcla rápida se desarrolla la coagulación. La coagulación es el resultado de dos fenómenos:

El *primero*, esencialmente químico, consiste en las reacciones del coagulante con el agua y la formación de especies hidrolizadas con carga positiva. Este proceso depende de la concentración del coagulante y el pH final de la mezcla.

El *segundo*, fundamentalmente físico, consiste en el transporte de especies hidrolizadas para que hagan contacto con las impurezas del agua (Romero Rojas, 2002).

Este proceso es muy rápido, toma desde décimas de segundo hasta cerca de 100 segundos.

### **C) FLOCULACION**

Una vez dispersado el coagulante, se induce una agitación lenta en el agua, que permita la aglomeración de las partículas desestabilizadas y de lugar al crecimiento del floculo.

Ese crecimiento es el proceso de floculación que se produce en los floculadores por el contacto entre partículas. El término floculación se refiere a la aglomeración de partículas. Una vez desestabilizados los coloides, se provee una mezcla suave de las partículas para incrementar la tasa de encuentros o colisiones entre ellas sin romper o disturbar los agregados preformados. De la misma manera que la coagulación, la floculación es influenciada por fuerzas químicas y físicas tales como la carga eléctrica de las partículas, la capacidad de intercambio, el tamaño y la concentración del floculo, el pH, la temperatura del agua y la concentración de los electrolitos (Romero Rojas, 2002).

En la PTM luego de la mezcla rápida el agua es conducida por un canal que se divide en dos mediante una pared central. Estos canales conducen y reparten el agua para los dos módulos de la planta, cada módulo tiene un floculador de tabiques de flujo horizontal.

El agua que circula por el canal izquierdo ingresa en el *floculador 1* y su caudal se regula con una compuerta localizada en la entrada.

El agua del *floculador 2* llega por el canal derecho y se regula por una compuerta ubicada en la entrada, ver Figura 1.7.

El floculador está dividido en tres zonas, Figura 1.8, con gradiente decreciente de 60, 30 y 20 s<sup>-1</sup> y un tiempo de retención de 25 minutos, con tiempos parciales de 5, 10 y 10 minutos, respectivamente.



**Figura 1.7** Compuerta que regula el ingreso de agua al floculador

**Fuente:** Cortesía de EMAPAL-EP



**Figura 1.8** Floculador

**Fuente:** Cortesía de EMAPAL-EP

**Tabla 1.2** Datos técnicos de los floculadores

ZONA	TIEMPO PARCIAL MINUTOS	GRADIENTE MEDIO $G, s^{-1}$
1. Inicial	5	60
2. Media	10	30
3. Final	10	20
TOTAL	25	

**Fuente:** Autor

#### ***D) SEDIMENTACION***

Cada módulo de la PTM tiene dos unidades de sedimentadores de placas paralelas, de flujo ascendente, es decir la Planta cuenta con ocho secciones de sedimentación. Los sedimentadores se los ha proyectado de flujo laminar, compuestas de placas paralelas (2,4 x 1,20 m  $e=0,008$  m); separación de 6 cm, inclinación 60°. Se dispone de dos “corridos” de placas para cada unidad. La zona de sedimentación cubre un espacio de 2,4 x 5,0 m.

Según memorias técnicas para el diseño de la planta se escogió una carga superficial baja de  $120 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-día}$ , que representa condiciones adecuadas para los floculo de bajo peso y velocidad de sedimentación (Ordoñez, 2002).

Cada sección de sedimentación cuenta con cinco tubos perforados que recolectan el agua sedimentada, ver Figura 1.9, con separación de 0,83 m, entre ejes, cada tubo tiene 17 orificios de 1” con separación de 13 cm entre ejes; tiene 55 placas, a excepción de la última sección que solamente tiene 48 placas.

Para el almacenamiento temporal de lodos se ha diseñado una tolva continua, con inclinación de paredes de 60°. La extracción de los lodos se realiza por descarga controlada mediante válvulas de acción manual, estos lodos circulan a la cámara de evacuación para luego fluir hacia los desagües generales.



**Figura 1.9** *Sedimentador de placas paralelas*

**Fuente:** *Cortesía de EMAPAL-EP*



### ***E) FILTRACION***

La PTM tiene dos baterías de filtros con cuatro unidades de filtración cada una, del tipo denominados filtros hidráulicos de lecho dual antracita-arena, operación a taza declinante, lavado (mutuo) con flujo procedente de las otras unidades, es decir la planta cuenta en total con ocho filtros.

El área filtrante se ha dividido en dos secciones por medio de la estructura que evacúa el agua de lavado por la parte superior y permite la recolección de agua filtrada y la entrada del agua de lavado por la parte inferior mediante dos difusores con orificios colocados debajo del fondo falso, Figura 1.10. Esta disposición permite una recolección uniforme del agua filtrada y el ingreso también uniforme del agua de lavado. El fondo falso está conformado con viguetas prefabricadas en forma de “V invertida”.

La concepción en dos baterías de filtros, Figura 1.11, cada uno compuesto de cuatro unidades, garantiza el lavado de un filtro, siempre que el caudal de la planta sea igual o superior al 50% del caudal nominal.



**Figura 1.10** *Lecho filtrante*

**Fuente:** *Cortesía de EMAPAL-EP*



**Figura 1.11** *Batería de filtros*

**Fuente:** *Cortesía de EMAPAL-EP*

## **F) DESINFECCION**

La cámara de contacto tiene como función asegurar un tiempo de contacto fijo entre el agua y el desinfectante, de tal modo de asegurar la remoción de bacterias, virus y parásitos presentes en el agua.

La desinfección en la planta se realiza mediante la aplicación de gas cloro, envasado en cilindros a presión de una tonelada, esta operación se realiza mediante dosificadores al vacío y una alimentación del desinfectante en solución, la inyección se realiza en una zona de elevado gradiente de velocidad para que se produzca una dispersión instantánea y uniforme en toda la masa, inmediatamente antes de la cámara de contacto, Figura 1.12.

Luego de la dispersión de la solución desinfectante el agua tratada ingresa a la cámara de contacto, formada por tabiques de flujo horizontal con un tiempo de contacto de 10 minutos, con condiciones que garantiza una eficiencia óptima del desinfectante.



**Figura 1.12** *Punto de inyección de cloro en la cámara de contacto*

**Fuente:** *Cortesía de EMAPAL-EP*

## **1.3 Definición del Problema**

La situación actual en la que se controla el proceso de potabilización de agua de la empresa “EMAPAL” en su planta de Mahuarcay es totalmente manual y depende de los operadores, que pueden estar capacitados para dichas tareas, pero pueden surgir situaciones anómalas en las cuales no sepan cómo reaccionar apropiadamente y ocasionar pérdidas en el proceso, debido al funcionamiento descoordinado de la planta de tratamiento de agua. En síntesis: El problema, podemos decir, es el mantenimiento

de las operaciones de control de los procesos de forma manual. Es por ello que se hace necesario iniciar un estudio para la proposición de sistemas de control automático y a futuro el diseño de un sistema de control supervisorio que disminuya las perdidas en el proceso de potabilización de agua. Este primer estudio está referido al modelado de los subprocesos de potabilización en el marco de las metodologías para modelado de negocios y de flujos de trabajo tanto a nivel conceptual como a nivel operacional. Posteriormente se hace propuesta preliminar de control automático para los procesos que pueden ser automatizados, luego de haber determinados las necesidades de automatización, a partir de los modelos conceptuales.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Desarrollar los modelos de procesos, modos de marcha y parada de la planta de potabilización de agua de Mahuarcay, orientados al diseño de los sistemas de control supervisorio de dichos procesos.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Levantar la información del proceso de potabilización de agua de la planta de Mahuarcay.
- Conocer las metodologías de modelado, orientados a la implementación de sistemas de automatización.
- Desarrollar los modelos de procesos de la planta de potabilización de agua.
- Establecer los modelos de modos de marcha y parada de los procesos, orientados al diseño de los sistemas de control supervisorio.

## **1.5 Justificación**

En el proceso de potabilización de agua que lleva a cabo la empresa “EMAPAL”, se viene dando de una forma manual lo cual conlleva a una serie de inconvenientes y problemas que se pueden presentar o se están presentando en las distintas etapas del

tratamiento del agua. Por ejemplo, la cantidad de sulfato de aluminio que requiere el tratamiento depende de la turbiedad del agua la cual puede variar repentinamente sin que el operador tenga esto en cuenta, lo cual ocasiona un desperdicio del sulfato y también puede tener impactos ambientales ya que se ocupa una cantidad mayor y en el proceso de filtrado dichos elementos se saturarían mucho más rápido, conllevando a tener que lavarlos en intervalos de tiempo menores. Esto genera una mayor cantidad de lodos que son devueltos al lecho de la quebrada, lo que causa un daño ambiental. Depender de operadores hace vulnerable el proceso ya que es un proceso continuo.

El diseño y futura implementación de sistemas automatizados de monitorización y control, permite garantizar la calidad del agua y buscar la eficiencia del proceso, evitando mayores costos de insumos y costos ambientales, beneficiando de esta manera a la empresa, la colectividad y el medio ambiente.

La empresa municipal de agua potable y alcantarillado del cantón Azogues provincia del Cañar “EMAPAL”, en su misión de ser una empresa eficiente, comprometida con el manejo integral del agua, viene realizando acciones coordinadas para mejorar sus procesos a fin de garantizar la salud pública a través de la prestación de un servicio básico.

Por los motivos mencionados, se propone realizar el modelado del sistema de potabilización de agua, orientado al diseño de los sistemas de control supervisorio, caso EMAPAL”, como punto de partida para determinar y proponer soluciones, a las necesidades de monitorización y control.

---

---

## CAPITULO II

---

# 2 MARCOS METODOLOGICOS PARA MODELAR PROCESOS DE NEGOCIO ORIENTADOS A LA AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

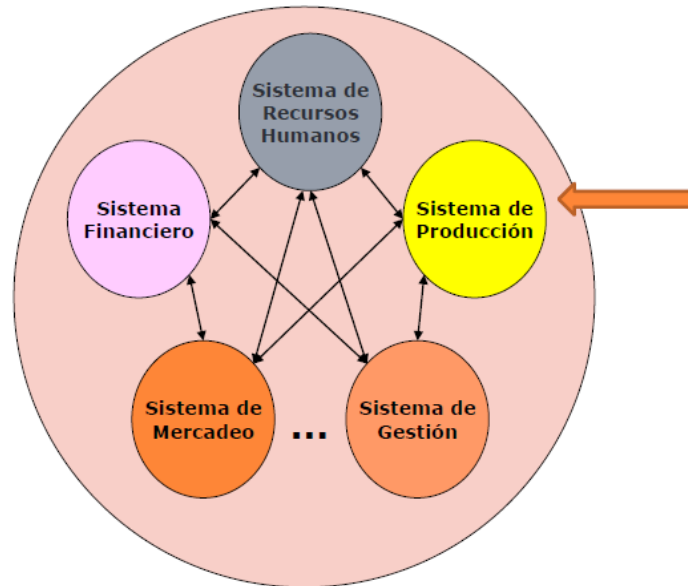
En este capítulo se presentan algunos conceptos, metodologías y técnicas, que permiten proponer modelos conceptuales y de operación que servirán de base para la proposición del sistema de automatización integrada. Específicamente se presentan los marcos de modelado “Integration Definición for Function Modeling IDEF”, “Business Modeling Method BMM” y la guía de operación de modos de marcha y parada “GEMMA”.

### 2.1 Modelado de Sistemas de Negocios

El término “sistema de negocio” es usado para denotar a una empresa u organización o a una parte de ella. Una empresa u organización es “un sistema de actividades humanas (realizadas con o sin instrumentos) diseñadas y formalmente realizadas con el propósito de cumplir un fin prefijado y explícitamente predefinido” (Fuenmayor, 2001).

Los sistemas de negocios enmarcan todos los procesos de gestión, objetos de negocios y elementos organizacionales asociados a la toma de decisiones del sistema empresarial. El sistema de negocios cubre los tres niveles jerárquicos de la pirámide de automatización y se encarga de realizar los procesos de planificación, programación, organización, administración o gestión de recursos, dirección empresarial y control gerencial del proceso productivo.

Una empresa puede ser vista como un conjunto organizado de sistemas de negocio como se puede apreciar en la Figura 2.1.



**Figura 2.1** *Sistemas de Negocio de una empresa.*

**Fuente:** (Montilva A & Barrios , 2004)

Un Sistema de Negocios está compuesto por un conjunto organizado de actividades procesos de negocio que son ejecutados por actores (miembros de la organización) interrelacionadas denominado para alcanzar un objetivo de negocios predefinido y son activados por eventos que son regulados por las reglas del negocio y consumen, usan e involucran objetos del negocio que requieren información para ejecutarse (Montilva A & Barrios , 2004). Por lo tanto para poder entender las relaciones entre las diferentes actividades y procesos de negocio es necesario modelarlos con el objetivo obtener las necesidades de automatización de los procesos o subprocesos de los sistemas de negocios de la empresa.

Los sistemas organizativos son difíciles de comprender sin un método apropiado de análisis debido a su amplitud y complejidad. Una organización puede estar formada por un buen número de áreas funcionales, departamentos y puestos, con múltiples puntos de contacto entre sí. Un modelo proporciona la oportunidad de organizar y documentar la información sobre un sistema (Vernadat, 1996). Por lo tanto, la finalidad del modelado del negocio es describir cada proceso, especificando sus datos, actividades (o tareas), roles (o agentes) y reglas de negocio (García Molina, et al., 2007). (Kosanke K, 2003), resumen los objetivos del modelado en: (1) la adquisición de conocimiento explícito sobre los procesos de negocio en la operativa del negocio,

(2) la explotación de dicho conocimiento en proyectos de reingeniería o mejora, (3) la ayuda a la toma de decisiones y (4) la facilidad de interoperabilidad entre los procesos de negocio.

(Curtis, et al., 1992), afirman que existen cuatro puntos de vista en cuanto al modelado de los procesos de negocio: vista funcional (qué), la cual representa la dependencia funcional entre los elementos del proceso; vista dinámica (cuándo, cómo), que proporciona una secuenciación y control de la información sobre el proceso; vista informacional, que incluye la descripción y relación entre las entidades que son producidas, consumidas o incluso manipuladas por los procesos, y la vista organizacional (quién, dónde) que describe quién desarrolla cada tarea o función y dónde se desarrolla dentro de la organización.

Para el presente trabajo se utilizaran el método IDEF para la descripción de los aspectos funcionales, y BMM para el modelado de los procesos involucrados en la cadena de valor del negocio.

Debido a la naturaleza compleja y dinámica de las organizaciones y sus procesos, los modelos son necesarios para entender el comportamiento de las mismas y diseñar los nuevos sistemas así como mejorar el funcionamiento de los existentes. Las siguientes metodologías y técnicas se han desarrollado para facilitar la comunicación y la captura de información. A continuación se explican brevemente algunas de las técnicas más significativas en el modelado de procesos de negocio.

## **2.2 Metodología IDEF**

Con IDEF podemos modelar actividades independientemente de la organización y el tiempo. La traducción literal de las siglas IDEF es Integration Definition for Function Modeling (Definición de la integración para la modelización de las funciones). IDEF consiste en una serie de normas que definen la metodología para la representación de funciones modelizadas (Assurance Quality Assessors, 2014).

IDEF permite describir de una manera gráfica un proceso de negocio capturando las relaciones que existen entre funciones o actividades, mediante una jerarquía de diagramas que inician en el nodo raíz llamado A-0 y constituye la actividad principal del modelo, esta actividad se puede dividir en actividades de nivel inferior que progresivamente se pueden desarrollar para llegar al nivel de detalle deseado en el modelo.

Cada actividad se modela como una caja rectangular y en base a sus entradas (necesarias para realizar la actividad) y salidas (resultados de la actividad) de flujos de información y material, controles requeridos para su realización (parte superior de la caja), y mecanismos o recursos empleados para su ejecución (parte inferior de la caja).

Con objeto de favorecer la interpretación de los diagramas, así como de asegurar un mínimo de detalle, se recomienda que estos tengan un mínimo de tres actividades y un máximo de seis. Igualmente, se recomienda la utilización de una frase verbal activa para designar la actividad, por ejemplo: mecanizar molde, montar y ajustar molde, etc (Rios Chueco, et al., 2007).

Estos modelos consisten en una serie de diagramas jerárquicos junto con unos textos y referencias cruzadas entre ambos que se representan mediante unos rectángulos o cajas y una serie de flechas (Rios Chueco, et al., 2007).

Así vemos que las principales ventajas que presenta este sistema son estas:

- Es una forma unificada de representar funciones o sistemas
- Su lenguaje es simple pero riguroso y preciso.
- Permite establecer unos límites de representación de detalle establecido universalmente.
- Puede ser representada con diversos paquetes informáticos como el iGraff Process o Microsoft Visio.

Es por estas funcionalidades que se escogió la metodología para describir de una manera general las funciones de la planta potabilizadora de Mahuarca y luego usando BMM llegar al nivel de detalle para lograr los diagramas de actividades de los procesos enmarcados dentro del sistema de negocio de la empresa EMAPAL EP.

En la Figura 2.2 se puede ver que un diagrama IDEF0 está compuesto por una caja de diagrama de contexto que contiene la función de alto nivel que va a ser modelizada, junto con sus ingresos, salidas, controles y mecanismos. Las flechas modelizan un canal abierto de datos u objetos desde una fuente a un uso. Dentro de la caja está el nombre para describir la función a ser modelizada, también hay un número de caja que se sitúa en la esquina inferior derecha de una caja para identificar dicha caja en un diagrama. A partir del diagrama de contexto pueden surgir diagramas de contexto adicionales para detallar un diagrama de nivel superior o llamado diagrama padre. Es



decir los diagramas están compuestos por cajas y flechas que cumplen normas de representación desde los diagramas de alto nivel a los niveles inferiores de acuerdo al nivel de detalle que se quiere llegar en el modelo, también cumplen reglas de sintaxis para la numeración de los diagramas cajas y nodos.

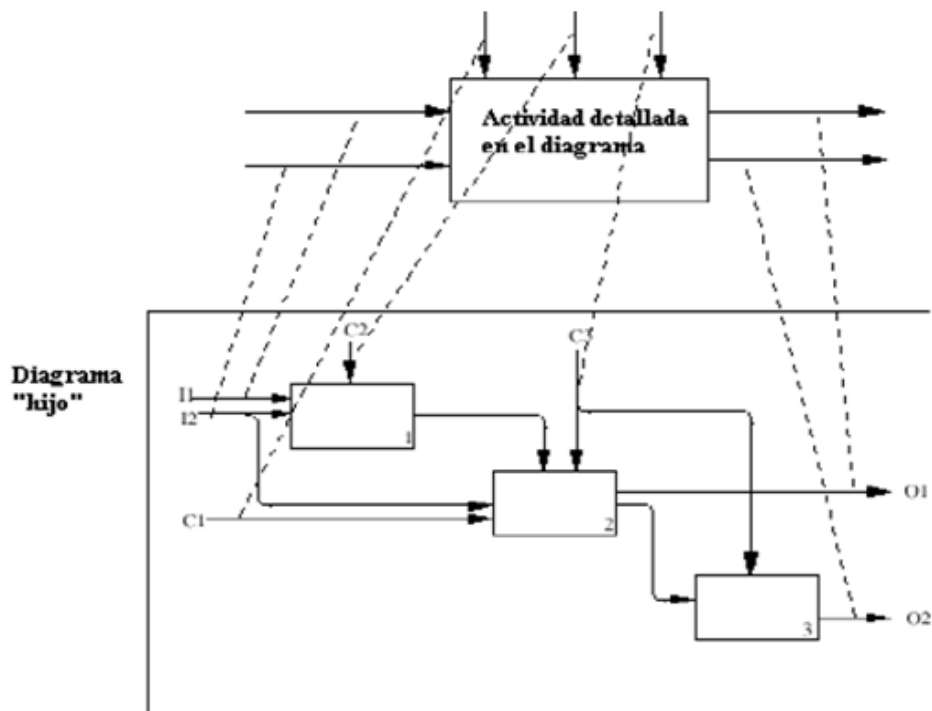


Figura 2.2 Diagrama IDEF0.

Fuente: (Marca & McGowan, 1993)

### 2.3 Modelado de Procesos en Business Modeling Method – BMM

El BMM (Business Modeling Method) es un método de modelado de negocio orientado al desarrollo de sistemas de información empresarial, que utiliza como lenguaje de modelado el lenguaje UML (Unified Modeling Language) y su extensión UML Business. Con ayuda de estos lenguajes se facilita el modelado de los conceptos

u objetos (objetivos, procesos, actividades, actores, estructura organizativa, recursos, reglas de negocio, eventos) fundamentales o principales de la empresa y sus relaciones. El método BMM es usado para capturar las características particulares de cada uno de los aspectos del Sistema de Negocios que se requiere representar, como objetivos, procesos de negocio, actores, estructura organizacional, reglas de negocio, objetos de negocio, etc.

En este trabajo se requiere capturar los procesos de potabilización, las actividades de estos, y los actores involucrados en estas actividades; para poder definir la automatización de los mismos.

El Método de Modelado de Negocios (*Business Modeling Method - BMM*) está compuesto por diferentes modelos y submodelos que se orientan a describir de manera detallada los conceptos presentes en el sistema de negocios. En este trabajo hacemos uso del Modelo de Procesos para lograr la descripción de los procesos de negocio asociados al proceso de potabilización que se está estudiando. Los detalles sobre el resto de los modelos de BMM pueden revisarse en (Montilva A & Barrios , 2004).

Los procesos de negocio son un conjunto de actividades interrelacionadas que permiten alcanzar las metas del negocio (Montilva A & Barrios , 2004). Puede clasificarse en dos procesos:

- Procesos Primarios: razón de ser de la organización.
- Procesos de Apoyo: procesos administrativos y técnicos básicos de cualquier organización.

La relación entre dichos procesos es lo que se llama Cadena de Valor y dichos procesos de negocio deben ser representados como una jerarquía de procesos y actividades que va desde los procesos de alto nivel y los de más bajo nivel (nivel de actividades).

Las actividades que deben ejecutarse para lograr el modelo de procesos y los productos que deben obtenerse al finalizar el modelado se muestran en la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1** *Actividades y Productos del Modelo de Procesos de Negocio*

Pasos	Actividades Técnicas	Producto
Modelado de <b><i>Procesos del Negocio</i></b>	<p>Modelar la cadena de valor del SN</p> <p>Elaborar el diagrama jerárquico de procesos</p> <p>Modelar cada proceso de bajo nivel usando diagramas de proceso</p> <p>Modelar las actividades de los procesos de bajo nivel usando diagramas de actividades</p>	Modelo de <b><i>Procesos de Negocio</i></b>

**Fuente:** (Montilva A & Barrios , 2004)

En los siguientes párrafos se detalla cómo desarrollar las actividades del modelado de procesos de negocios y como herramienta fundamental del desarrollo de estas actividades se usa el Lenguaje Unificado de Modelado UML. Los diagramas UML son la representación gráfica de una colección de elementos con sus relaciones, ofreciendo así una vista del sistema a modelar. Para poder presentar de forma correcta un sistema, el lenguaje presenta una amplia variedad de diagramas para así visualizar el sistema desde diversas perspectivas. Los elementos fundamentales de esta herramienta se presentan en el ANEXO 1.

### **Cadena de valor**

Michael Porter propuso la cadena de valor como la principal herramienta para identificar fuentes de generación de valor para el cliente. Cada empresa realiza una serie de actividades para diseñar, producir, comercializar, entregar y apoyar a su producto o servicio.

La técnica de cadena de valor tiene por objetivo identificar las actividades que se realizan en una empresa, organizadas en bloques básicos con los que la empresa crea valor para los clientes que utilizan sus productos o servicios.

El estudio de las actividades de la cadena de valor de una empresa, nos permite saber cuál es el origen y comportamiento de los costos y a su vez, cuáles son las actividades que generan valor o que permiten ser redefinidas, mejoradas o suprimidas para

garantizar mayor calidad, productividad y eficiencia. La estructura de la cadena de valor de Porter, distingue dos tipos de actividades, las primarias que son todas aquellas que tienen una vinculación directa con el proceso de fabricación, distribución, venta o servicio postventa del producto, y las actividades de apoyo que se corresponden con todas aquellas vinculadas con al aprovisionamiento, tareas de infraestructura, recursos humanos y la investigación y desarrollo como se puede ver en la Figura 2.3.

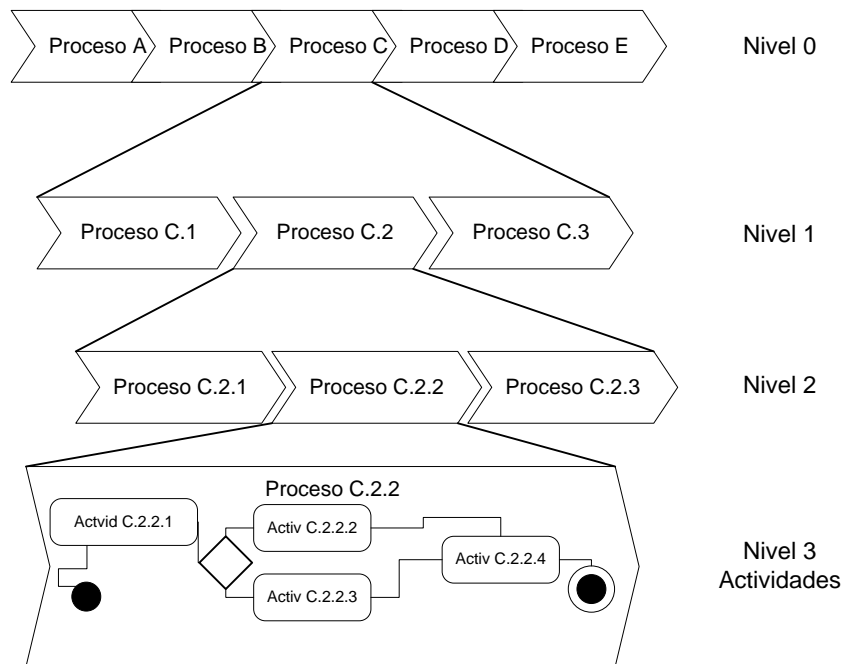


**Figura 2.3** Estructura de la cadena de Valor de Porter

Fuente: (Laudon Kenneth, 2008)

### Jerarquía de Procesos

A partir de la cadena de valor un proceso complejo puede ser descompuesto repetidamente en un conjunto de subprocesos cada vez más simples, formando una jerarquía de procesos que deben mantener la integridad y la coherencia entre ellos. Los procesos de más bajo nivel de la jerarquía se describen a través de un conjunto interrelacionado de actividades. Los procesos principales se deben descomponer hasta llegar a subprocesos que puedan ser descritos como un procedimiento o conjunto de actividades como se puede apreciar en el ejemplo de la Figura 2.4.

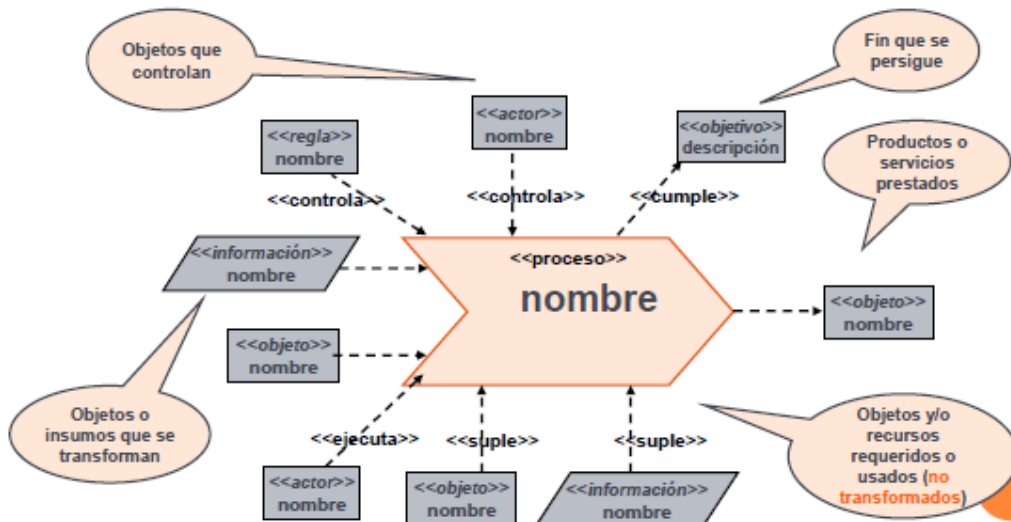


**Figura 2.4** Ejemplo de Jerarquía de procesos en UML Business.

**Fuente:** (Montilva A & Barrios , 2004)

### Diagramas de Proceso

Cada proceso de bajo nivel de la jerarquía se puede describir separadamente usando Diagramas de Descripción de Procesos en notación UML Business de (Eriksson & Penker, 2000). Estos diagramas detallan los objetos o insumos que se transforman, los objetos que controlan esta transformación, el objetivo que se persigue y los objetos o recursos requeridos o usados para obtener los productos o servicios prestados, la estructura del diagrama se puede ver en la Figura 2.6.



**Figura 2.5** Diagrama de descripción de procesos en notación UML Business

**Fuente:** (Eriksson & Penker, 2000)

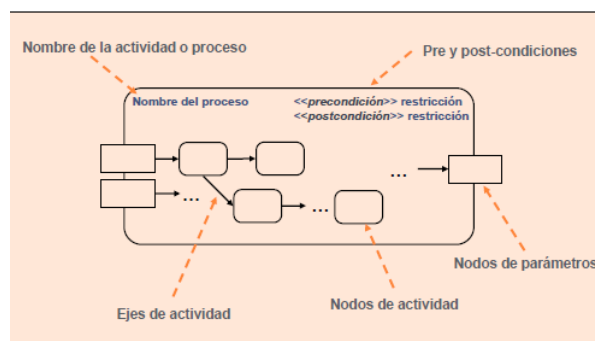
En el diagrama de la Figura 2.5 se representan los objetos, reglas y actores que interactúan con un proceso. Los objetos de negocio son creados, usados, requeridos, consumidos, producidos por los procesos de negocio. Pueden ser físicos (Ej. Personas, animales, plantas, máquinas, entre otros) o abstractos (Ej. Punto, línea, conceptos, ideas, entre otros) (Montilva A & Barrios , 2004). Un objeto de negocio es una entidad concreta o abstracta que es de vital importancia para el sistema de negocio o empresarial (Montilva A & Barrios , 2004). Los Actores del negocio son los miembros del sistema de negocios que tiene bajo su responsabilidad la ejecución de un rol y son los que controlan los procesos de negocio; éstos pueden ser internos o externos. Los actores internos son aquellos que forman parte del sistema de negocio y desempeñan un rol en las actividades del negocio, ellos pueden representar una persona o una máquina (Montilva A & Barrios , 2004). Los actores externos son aquellos que no forman parte del sistema de negocio, es decir, interactúan con el sistema para satisfacer ciertas necesidades o proveer recursos. (Ej. Clientes, proveedores, accionistas y/o actores de otros sistemas) (Montilva A & Barrios , 2004). Finalmente, los procesos de negocios son controlados, restringidos o condicionados por las reglas de negocio, las cuales constituyen toda la colección de políticas y restricciones que son aplicadas en una organización (Montilva A & Barrios , 2004).

## Diagramas de actividades

Un proceso de negocios es un conjunto estructurado de actividades ejecutadas por actores para alcanzar un objetivo, este conjunto es organizado de acuerdo a una secuencia denominada flujo de trabajo el cual puede ser modelado utilizando varias notaciones como Business Process Modeling Notation BPMN y Diagramas de Actividades de UML 2 que es la notación que utilizaremos para el presente trabajo. EL objetivo de los diagramas de actividades es modelar el flujo de trabajo de aquellos procesos de bajo nivel en la jerarquía de procesos, para describir que acciones se requieren para ejecutar el proceso, en qué orden se realizan estas acciones, que hacen estas acciones, que reciben y que transforman o producen, donde tienen lugar estas o quien las ejecuta. Debe entenderse que una acción es la unidad fundamental de especificación de comportamiento en un diagrama de actividades y que es atómica es decir no se puede descomponer en otras acciones, una acción toma objetos de entradas y los transforma en uno o más objetos de salida.

El diagrama de actividades se construye como un grafo dirigido compuesto por un conjunto de tres nodos.






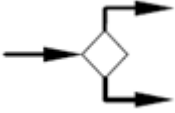

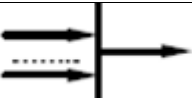
Nodos de actividad que representan acciones, nodos de control usados para controlar los flujos y nodos de objetos que representan datos. Además se tienen un conjunto de ejes que conectan los nodos. La estructura general de un diagrama de actividades se puede ver en la Figura 2.6, y los símbolos para representar el diagrama se los puede ver en la Tabla 2.2.











**Figura 2.6** Esquema general de un diagrama de actividades

**Fuente:** (Montilva A & Barrios , 2004)

**Tabla 2.2** Símbolos de los diagramas de actividades.

Nombre	Símbolos	Descripción
Acción		Nodo de actividad  Primitiva ejecutable de asignación o computación
Nodo de inicio		Nodo de control que indica el <b>inicio</b> de un flujo de control cuando una actividad es invocada
Nodo fin de actividad		Nodo de control que Indica el <b>fin</b> de todos los flujos dentro de una actividad. Muestra el fin de la actividad
Flujo de control		Eje de actividad para flujo de control. Conecta dos acciones. Usado para indicar secuencia
Flujo de objetos		Eje de actividad para flujo de objetos. Conecta acciones con nodos de objetos o pines
Nodo de decisión		Nodo de control que selecciona entre dos o más flujos de salida
Nodo de mezcla (merge)		Nodo de control que une dos o más flujos alternativos
(Join) Nodo de concurrencia		Nodo de control que sincroniza múltiples flujos



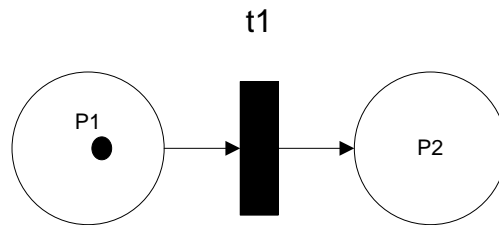
(Fork) Nodo de sincronización		Nodo de control que divide un flujo en dos o más flujos concurrentes (paralelos)
Nodos de objeto		Nodo de objetos usados en los flujos de objetos. Representan objetos de datos o información
Conector		Usados para separar un flujo y re-establecer su conexión en un diagrama
Pin		Usado para indicar valores de entrada o salida en una acción
Manejador de excepciones		Nodo que indica la ejecución de una acción excepcional invocada desde otra acción
Acción señal de envío		Acción que indica la creación de una señal que es transmitida a otra acción receptora
Acción de señal de aceptación		Acción que espera la ocurrencia de un evento para disparar una señal a otra acción receptora
Acción evento de tiempo		Acción que espera la ocurrencia de un evento temporal (fecha/hora) para disparar una señal a otra acción receptora

Fuente: (Montilva Barrios 2012)

## 2.4 Redes de Petri

Las redes de Petri fueron introducidas en 1962 por Carl Adam Petri, son un formalismo alternativo y utilizado en esencia para modelar sistemas discretos, una red Petri está representada por un diagrama compuesto por cuatro bloques: plazas,

transiciones, arcos y marcas (o tokens, por su denominación en inglés). Los lugares representan un lugar o espacio que es o será utilizado dentro de un sistema, representan los posibles estados del sistema. Las transiciones permiten relacionar dos plazas y son las acciones o eventos que causan cambios en los estados. Los arcos o flechas permitirán unir las plazas o transiciones para así armar el modelo de red permitiendo indicar el sentido del flujo, no se podrán conectar dos plazas empleando un solo arco. Los tokens equivalen a una marca dentro del sistema y que a su vez se ubican en las plazas es decir representan unidades de materia prima, productos en proceso y productos terminados. En la Figura 2.7 se puede ver un ejemplo de una red Petri en la cual se observan dos plazas, dos arcos y una transición además de un token en la plaza o lugar 1.



**Figura 2.7** Ejemplo red de Petri.

**Fuente:** Autor

Formalmente la representación matemática de una red de Petri es con un grafo bipartito dirigido, descrito por la tupla:

$$(P, T, D^+, D^-)$$

Donde

P es un conjunto finito de lugares o plazas  $P = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_n\}$ .

T es un conjunto finito de transiciones  $T = \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_n\}$ .

$D^+$  y  $D^-$  son matrices enteras con elementos no negativos representando la relación entre lugares y transiciones.

Sea  $\mathbf{Z}$  el conjunto de los enteros y sea  $\mathbf{n}$  el número de lugares y  $\mathbf{m}$  el número de transiciones. Los arcos conectando transiciones a lugares son descritos por la matriz

$D^+ \in \mathbf{Z}^{n \times m}$  y los arcos conectando los lugares con las transiciones son descritos por la matriz  $D^- \in \mathbf{Z}^{n \times m}$

$$D^+ = \begin{bmatrix} & t_1 & \dots & t_m \\ d_{11}^+ & \dots & d_{1m}^+ \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{n1}^+ & \dots & d_{nm}^+ \end{bmatrix} P_n$$

$$D^- = \begin{bmatrix} & t_1 & \dots & t_m \\ d_{11}^- & \dots & d_{1m}^- \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{n1}^- & \dots & d_{nm}^- \end{bmatrix} P_n$$

La matriz de incidencia queda definida como:

$$D = D^+ - D^-$$

A partir de la representación matemática de la red se puede calcular controladores de sistemas de eventos discretos SED, modelados por redes de Petri.

El supervisor para SED usando Redes de Petri es un dispositivo de realimentación que pone límites al comportamiento en lazo abierto de la planta no controlada. El sistema en lazo cerrado no incluye nuevos comportamientos no presentes en la planta no supervisada (Moody & Antsaklis, 1998).

Las redes invariantes son Redes de Petri que exhiben una propiedad estructural particular que depende de la estructura del grafo y no del marcado inicial. Se pueden calcular controladores basados en invarianza (Moody & Antsaklis, 1998). Los lugares invariantes forman un conjunto de lugares cuyas fichas permanecen constantes para todos los marcados posibles. Dichos lugares representan un vector n-dimensional, asociado con los n lugares de la red, con entradas 0 y no cero, donde las entradas no cero corresponden a lugares que pertenecen a un invariante particular.

Un lugar invariante está definido como un vector entero  $x \in \mathbf{Z}^n$  que satisface:

$$x^T \mu = x^T \mu_0 \quad (1)$$

Donde  $\mu_0$  es el marcado inicial y  $\mu$  cualquier marcado posterior.

La condición que permite (1), es que:

$$x^T D = 0 \quad (2)$$

El objetivo de control supervisorio es restringir las marcas alcanzables  $\mu_p$  de una planta, tal que:

$$l^T \mu_p \leq b \quad (3)$$

Donde  $l$  es un vector de peso entero  $l^T = [l_1 \ l_2 \ \dots \ l_n]$  y  $b$  es un escalar entero.

El controlador es una Red de Petri, definida por su matriz de incidencia  $D_c$ , construida a partir de las transiciones de la planta y conjunto de lugares separados (lugares del controlador). La red controlada (sistema en lazo cerrado) es una Red de Petri, definida por su matriz de incidencia  $D$ , construida a partir de matriz de incidencia de la planta y la adicionada por el controlador (Moody & Antsaklis, 1998).

La desigualdad (3) puede ser transformada en una igualdad, introduciendo una variable de holgura  $\mu_c$  :

$$l^T \mu_p + \mu_c = b \quad (4)$$

Esta variable representa un nuevo lugar  $c$  que mantiene las fichas extras requeridas para mantener la igualdad. Se asegura que  $\mu_c$  es no negativo por definición.

Cada restricción del tipo (3) incorpora un lugar en el controlador. Así el número de lugares del controlador viene definido por el número de restricciones, es decir cada lugar del controlador incorpora una nueva fila en la matriz de incidencia  $D$  del sistema controlado.

De (4) se deriva el teorema que sintetiza el controlador del modelo de la red de Petri y se enuncia a continuación (Moody & Antsaklis, 1998).

Teorema: Si

$$b - L\mu_{p0} \geq 0 \quad (5)$$

El controlador de la red de Petri queda definido como:

$$D_c = -LD_p \quad (6)$$

$$\mu_{c0} = b - L\mu_{p0} \quad (7)$$

El cual implementa las restricciones definidas para el sistema cuando el controlador es incluido en el sistema de lazo cerrado el cual quedaría definido como:

$$D = \begin{bmatrix} D_p \\ D_c \end{bmatrix}$$

Donde

$D \in Z^{(n_c+n) \times m}$  es la matriz de incidencia del sistema en lazo cerrado.

$D_p$  y  $D_c$  con las matrices de incidencia de la planta y el controlador respectivamente.

Y el vector de marcado  $\mu \in Z^{n_c+n}$  y la marca inicial  $\mu_0$  son:

$$\mu = \begin{bmatrix} \mu_p \\ \mu_c \end{bmatrix} \quad \mu_0 = \begin{bmatrix} \mu_{p0} \\ \mu_{c0} \end{bmatrix}$$

El enfoque del diseño de controladores con redes de Petri es usar supervisores para lograr ciertos vectores de estado.

## 2.5 Metodología GEMMA

La guía GEMMA presenta una metodología integradora concebida para clarificar el rol del operario humano en el ciclo de automatización de sistemas complejos con aplicación en el control y supervisión de procesos industriales (Ponsa, et al., 2007).

En la automatización de una máquina es necesario prever todos los estados posibles: funcionamiento manual o semiautomático, paradas de emergencia, puesta en marcha y, además, el propio automatismo debe ser capaz para detectar defectos en la parte operativa y colaborar con el operario o técnico de mantenimiento para su puesta en marcha y reparación, entre otras.

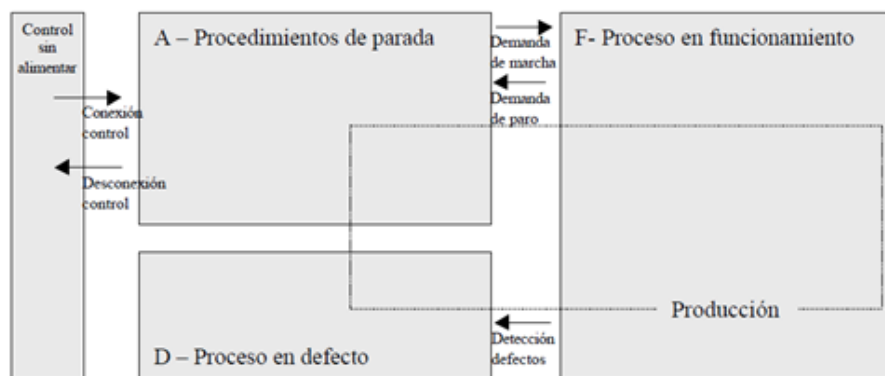
La agencia ADEPA (Agence nationale pour le Développement de la Production Appliquée à l'industrie) desarrolló la guía GEMMA (Guide d'Études des Modes de Marches et d'Arrêts), se trata de una metodología que incluye los modos de marcha y paro del control secuencial, el funcionamiento correcto del proceso controlado junto con anomalías e incluso el tratamiento de situaciones de emergencia en prevención de posibles daños humanos o materiales. Es decir una representación organizada de todos los modos o estados de Marcha y Paradas en que se puede encontrar un proceso de

producción automatizado y orienta sobre los saltos o transiciones que pueden darse de un estado a otro (Ponsa & Villanova, 2005).

Un automatismo consta de dos partes fundamentales: el sistema de producción y el control del mismo (ordenador, autómatas programables). El sistema de producción puede encontrarse en tres situaciones, en las cuales el sistema puede estar o no produciendo:

- funcionando, por lo tanto está en producción;
- parado, o en proceso de parada;
- en defecto, circunstancias en las cuales o bien el producto derivado no es aprovechable o lo es, si se manipula adecuadamente a posteriori.

El gráfico GEMMA muestra estas situaciones (control sin alimentación, funcionamiento, parada y defecto) con rectángulos grises y un quinto rectángulo, marcado en líneas discontinuas, que indica que el sistema productivo está en producción ver Figura 2.8.



**Figura 2.8** Modos de funcionamiento GEMMA

**Fuente:** (Ponsa & Villanova, 2005) .

Cada una de estas situaciones se subdivide de forma que al final la guía GEMMA presenta 17 estados de funcionamiento posible. Que se describen a continuación.

Grupo F. Procedimientos de funcionamiento

F1 - Producción normal. Estado en que la máquina produce normalmente. Es el estado más importante y en él se deben realizar las tareas por las cuales la máquina ha sido construida.

F2 - Marcha de preparación. Son las acciones necesarias para que la máquina entre en producción (precalentamiento, preparación de componentes,...).

F3 - Marcha de cierre. Corresponde a la fase de vaciado y/o limpieza que en muchas máquinas debe llevarse a cabo antes de la parada o del cambio de algunas de las características del producto.

F4 - Marchas de verificación sin orden. En este caso la máquina, normalmente por orden del operario, puede realizar cualquier movimiento o unos determinados movimientos preestablecidos. Es el denominado control manual y se utiliza para funciones de mantenimiento y verificación.

F5 - Marchas de verificación con orden. En este caso la máquina realiza el ciclo completo de funcionamiento en orden pero al ritmo fijado por el operador. Se utiliza también para tareas de mantenimiento y verificación. En este estado la máquina puede estar en producción. En general, se asocia al control semiautomático.

F6 - Marchas de test. Sirve para realizar operaciones de ajuste y mantenimiento preventivo, por ejemplo: comprobar si la activación de los sensores se realiza en un tiempo máximo, curvas de comportamiento de algunos actuadores,...

#### Grupo A. Procedimiento de paradas y puestas en marcha

A1 - Paradas en el estado inicial. Se corresponde con el estado de reposo de la máquina. La máquina normalmente se representa en este estado en los planos de construcción y en los esquemas eléctricos.

A2 - Parada solicitada al final del ciclo. Es un estado transitorio en que la máquina, que hasta el momento estaba produciendo normalmente, debe producir solo hasta acabar el ciclo y pasar a estar parada en el estado inicial.

A3 - Parada solicitada en un estado determinado. Es un estado en que la máquina se detiene en un estado determinado que no coincide con el final de ciclo. Es un estado transitorio de evolución hacia A4.

A4 - Parada obtenida. Es un estado de reposo de la máquina distinto al estado inicial.

A5 - Preparación para la puesta en marcha después de un defecto. Es en este estado donde se procede a todas las operaciones, de: vaciado, limpieza, reposición de un determinado producto,..., necesarias para la puesta de nuevo en funcionamiento de la máquina después de un defecto.

A6 - Puesta del sistema en el estado inicial. En este estado se realiza el retorno del sistema al estado inicial (reinicio). El retorno puede ser manual (coincidiendo con F4) o automático.

A7 - Puesta del sistema en un estado determinado. Se retorna el sistema a una posición distinta de la inicial para su puesta en marcha, puede ser también manual o automático.

#### Grupo D. Procedimientos de defecto

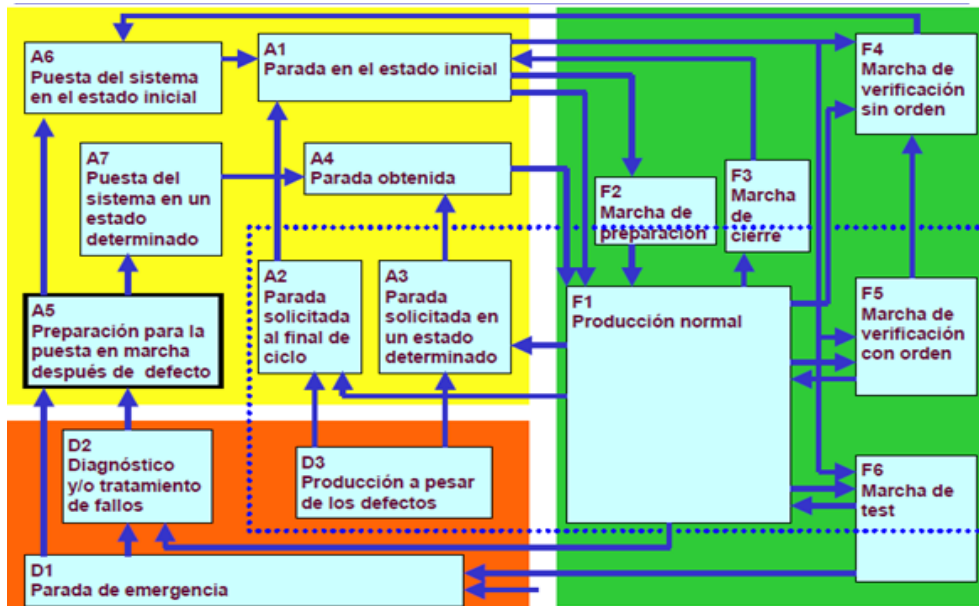
D1 - Parada de emergencia. Es el estado, que se consigue después de una parada de emergencia, en donde deben tenerse en cuenta tanto las paradas como los procedimientos y precauciones necesarias para evitar o limitar las consecuencias debidas a defectos.

D2 - Diagnóstico y/o tratamiento de fallos. Es en este estado que la máquina puede ser examinada después de un defecto y, con ayuda o sin del operador, indicar los motivos del fallo para su rearme.

D3 - Producción a pesar de los defectos. Corresponde a aquellos casos en que se deba continuar produciendo a pesar de los defectos. Se incluye en estas condiciones casos en que, por ejemplo, sea necesario finalizar un reactivo no almacenable, en que se pueda substituir transitoriamente el trabajo de la máquina por la de un operario hasta la reparación de la avería,..

Además de los procedimientos de funcionamiento, la guía GEMMA muestra, en líneas discontinuas, los caminos que permiten evolucionar de un estado a otro. Para no complicar el gráfico solo se presentan los caminos más usuales y será tarea del diseñador añadir los caminos necesarios para cada aplicación en particular. En algunos casos hay algunas flechas sin procedencia, se utilizan para indicar que puede accederse a este estado desde todos los demás Figura 2.9.





**Figura 2.9** Estructura general de GEMMA.

**Fuente:** (Ponsa & Villanova, 2005)

La guía GEMMA es un gráfico de soporte al diseñador de automatismos. El procedimiento a seguir en su utilización consiste en:

- Estudiar los estados necesarios de la máquina a automatizar, anotando en cada uno de los rectángulos la descripción correspondiente y posibles variantes, si las hay. Aquellos estados que no serán utilizados se marcan con una cruz, indicando así que no se han considerado.
- Estudiar entre que estados será posible la evolución. La guía permite mostrar de forma gráfica todos los caminos deseados, marcando estos con una línea continua.
- Finalmente, de forma parecida a como se indican las transiciones en GRAFCET, se marcan las condiciones necesarias para poder seguir un determinado camino. En algunas ocasiones un determinado camino no tiene una condición específica o determinada, en este caso puede no ponerse indicación o es posible utilizar la condición que la acción anterior sea completa.

Los pasos para aplicar GEMMA a la automatización de procesos, se listan a continuación:

- 1) Determinar los aspectos generales del proceso y generar el GRAFCET (Graphe de Comands Etape Transition) de producción normal.
- 2) Determinar los sensores y actuadores adecuados.
- 3) GRAFCET tecnológico del estado de producción normal.
- 4) Estudiar que estados de GEMMA son necesarios en la automatización.
- 5) Definir las condiciones de evolución entre los diferentes estados.
- 6) Definir el pupitre de control (operador).
- 7) Preparar el GRAFCET final.
- 8) Escoger la tecnología de control: número de autómatas programables, tipos de entrada y salidas, reguladores industriales, bus de comunicación.
- 9) Programación.
- 10) Pruebas antes de la instalación.
- 11) Instalación, puesta a punto y pruebas.

---

---

## **CAPITULO III**

---

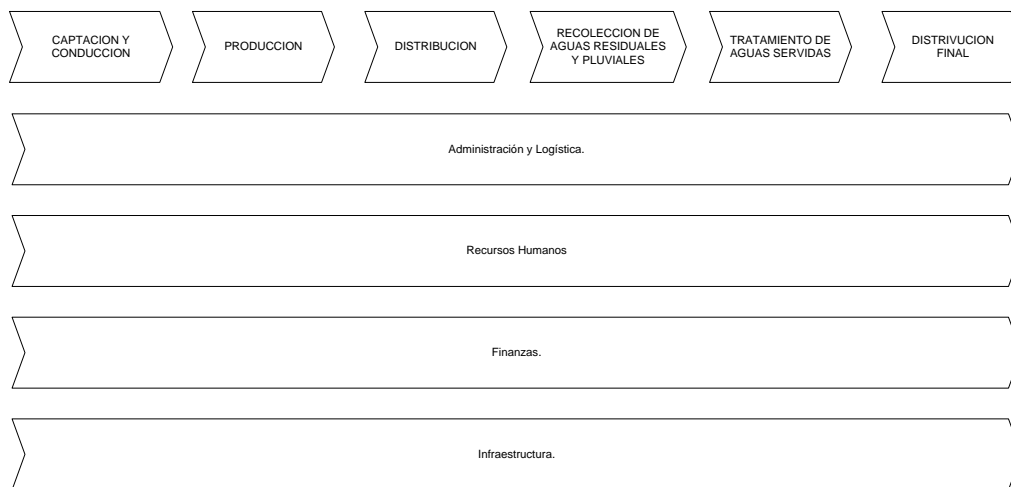
### **3 MODELO DE PROCESOS DE LA PLANTA DE POTABILIZACION MAHUARCAY DE LA EMPRESA EMAPAL EP**

Como objetivo principal de la empresa está la gestión integral del recurso hídrico, desde la cuenca (alta) de captación hasta la cuenca (baja) de disposición final, para garantizar la disponibilidad del agua (calidad y cantidad), sostenibilidad del servicio y la salud ambiental.

Para determinar un modelo del proceso de potabilización de la empresa EMAPAL-EP, (Empresa Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y saneamiento ambiental) inicialmente se procederá a determinar una aproximación funcional con la técnica del modelado IDEF0 con el propósito de describir y analizar las funciones y relaciones de los procesos del sistema de potabilización, para seguidamente determinar con mayor detalle, utilizando el método de modelado de sistemas de negocios BMM, la jerarquía de los procesos, el detalle de estos procesos y el diagrama de actividades de los procesos de potabilización de agua.

#### **3.1 Cadena de Valor**

Para los negocios de potabilización de agua una cadena de valor aceptada es la dada en la Figura 3.1, la cual será utilizada en la empresa EMAPAL, para el desarrollo de los modelos funcionales con IDEF0 y el modelo de procesos con BMM.



**Figura 3.1** Cadena de Valor empresa de agua.

**Fuente:** Autor

Para describir el modo en el que se desarrollan las acciones y actividades de la empresa, partimos de la cadena de valor de la empresa la cual tiene los siguientes procesos primarios.

1. Captación y Conducción.
2. Producción
3. Reservas y Distribución
4. Recolección de Aguas residuales y pluviales.
5. Tratamiento de aguas servidas.

La Tabla 3.1 presenta una descripción general de cada uno de estos procesos.

**Tabla 3.1** Descripción de los procesos primarios de la planta

Captación y Conducción.	Conjunto de obras hidráulicas que permiten captar el agua superficial de los afluentes del río Tabacay (Nudpud, Llaucay, Condoryacu), y conducir mediante redes de tuberías a gravedad y canal abierto hasta la planta de tratamiento.
Producción.	Conjunto de procesos unitarios de tratabilidad convencional de agua.
Reservas y Distribución.	Tanques de almacenamiento de agua potable y redes de tuberías de distribución por gravedad, y conexiones domiciliarias.
Recolección de Aguas Residuales y pluviales	Conexión domiciliaria, pozos de revisión y redes de recolección de aguas residuales y pluviales.
Tratamiento de Aguas Servidas	Planta de tratamiento de aguas residuales. (lodos activados)
Disposición final.	Devolver a la cuenca baja las aguas residuales tratadas.

Fuente: Autor

Los procesos de apoyo son:

1. Infraestructura de la empresa.
2. Recursos Humanos.
3. Finanzas.
4. Administración y Logística.

El presente trabajo tiene como objetivo modelar uno de los procesos primarios de la cadena de valor, el cual corresponde al proceso de producción.

### 3.2 Modelo Funcional de la Planta de Tratamiento de Agua

El proceso a modelar de la cadena de valor es el de Producción, en el cual con la herramienta de modelado IDEF0, se ha logrado definir las entradas, salidas, controles y mecanismos, ver Figura 3.2. En este proceso se realiza la potabilización del agua cruda que viene del proceso de captación y conducción para luego pasar a ser distribuida. Las entradas de este proceso son el agua cruda que viene del proceso de captación es decir agua no tratada, los insumos químicos como el sulfato de aluminio, polímeros y cloro, que son mezclados con el agua para cambiar sus características. Sus salidas son agua potable, información de cantidad y calidad del agua tratada, indicadores de potabilización es decir propiedades físicas y químicas del agua tratada, información que es recopilada por los ingenieros químicos a cargo del proceso, y lodos que son residuos del proceso de sedimentación y filtración; los controles del proceso son definidos por la Normativa INEN1108 que especifica los parámetros de calidad del agua, la dirección técnica conformada por los ingenieros a cargo del proceso, la demanda establecida por la administración de la empresa, la capacidad instalada, y la información de cantidad y calidad producida; apoyados por los mecanismos del sistema de potabilización, los recursos humanos, las tecnologías y el mantenimiento.

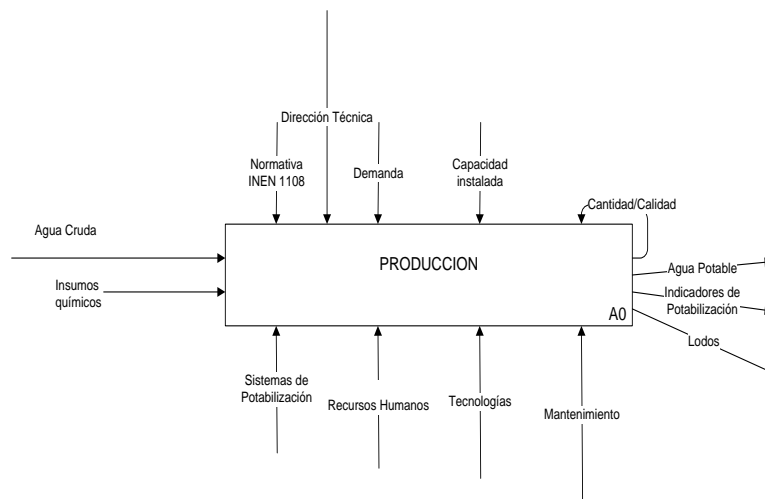
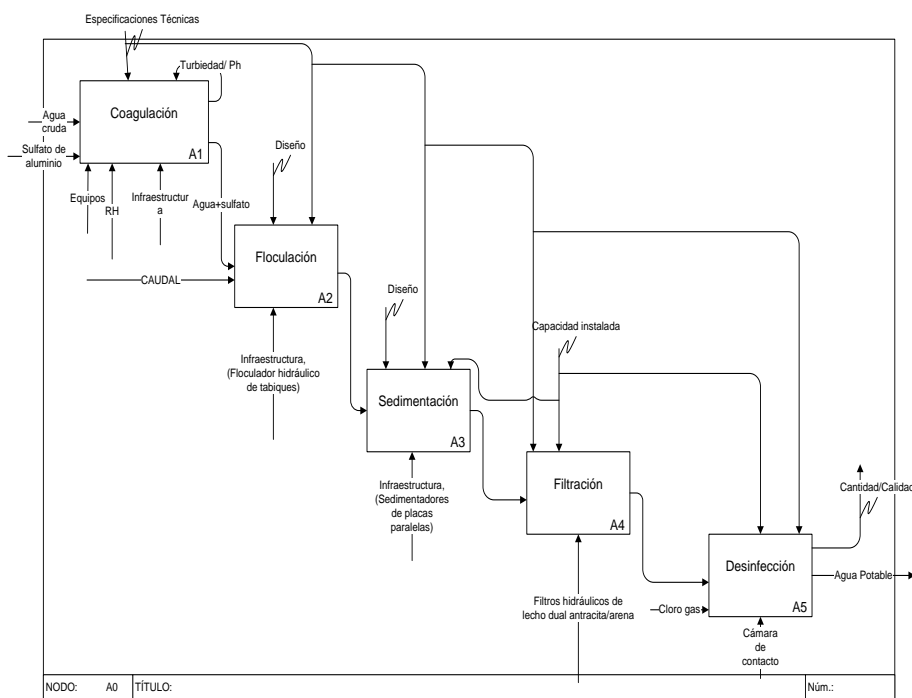


Figura 3.2 IDEF0 nivel 1 del proceso de potabilización de la planta de Mahuarcay.

Fuente: Autor

A su vez el proceso, de producción se descompone en procesos unitarios que son definidos como se muestra en la Figura 3.3, en la que se puede observar las funciones de cada proceso unitario con sus respectivas entradas, salidas, controles y mecanismos. Como por ejemplo el subproceso de coagulación, en el cual las entradas son agua cruda y sulfato de aluminio; este a la vez está controlado por especificaciones técnicas y niveles de turbiedad establecidos, los mecanismos empleados para lograr las salidas que son la infraestructura con la que cuenta la planta además de los operadores y los equipos.



**Figura 3.3** IDEF0 nivel 2 del proceso de potabilización de la planta Mahuar cay

**Fuente:** Autor

Con la especificación funcional de la Figura 3.2 y Figura 3.3, hemos logrado modelar gráficamente de una manera estructurada y jerarquizada, cómo se llevan a cabo las funciones del proceso de potabilización así como también las relaciones entre estas. A partir de esta aproximación funcional del proceso de potabilización se llegará a definir

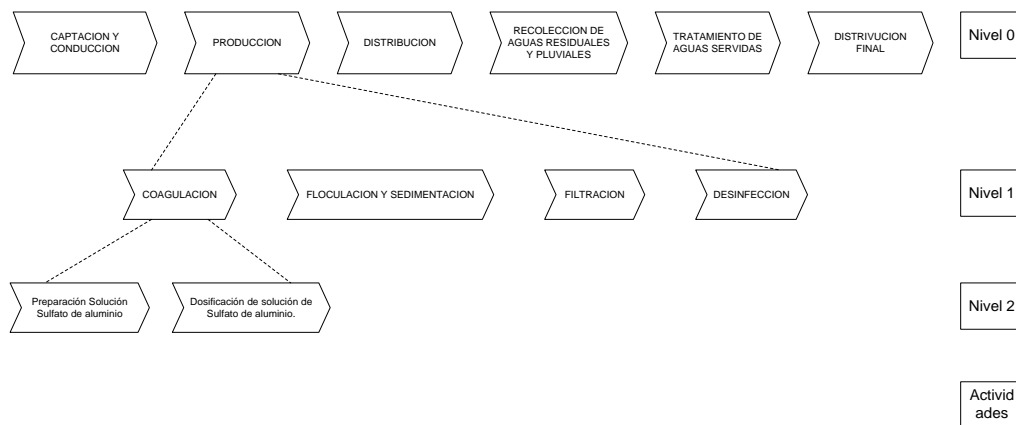
un modelo detallado del proceso de potabilización empleando el modelado de procesos del negocio descrito en la metodología BMM.

### 3.3 Jerarquización del Proceso de Potabilización

Debemos describir cada proceso como un procedimiento o conjunto de actividades por lo cual se ha decidido utilizar la jerarquización del proceso descrita en el método BMM.

Los procesos fundamentales de la potabilización fueron definidos en la cadena de valor de Porter de la Figura 3.1, estos a su vez se descomponen en subprocesos, como se muestra en el diagrama de jerarquía de procesos de las Figura 3.4, Figura 3.5, Figura 3.6 y Figura 3.7, donde se definen las interrelaciones que existen entre los procesos, sus entradas y salidas.

En la Figura 3.4 podemos observar la jerarquización del proceso de coagulación el cual tiene como subprocesos la preparación de una solución de sulfato de aluminio y agua y la dosificación de esta mezcla, bajo especificaciones técnicas establecidas por los técnicos que trabajan en la planta, en base a medidas de caudal de ingreso y turbiedad de ingreso del agua cruda.

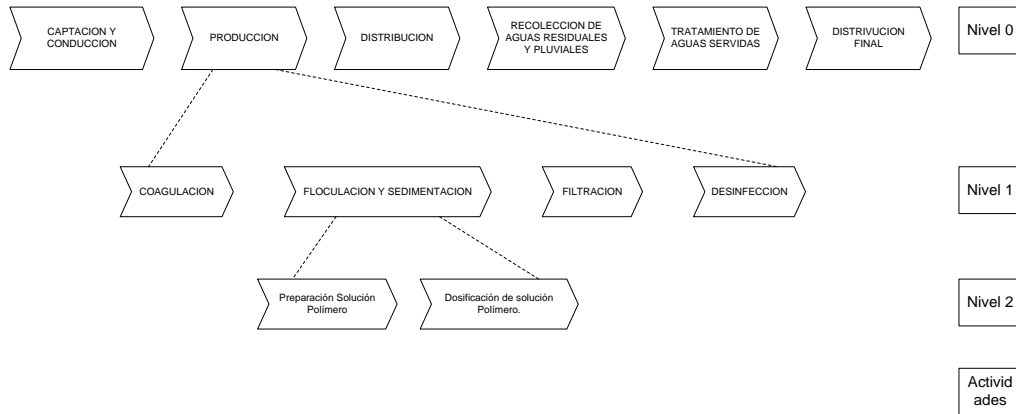


**Figura 3.4** Jerarquización del proceso de coagulación.

**Fuente:** Autor



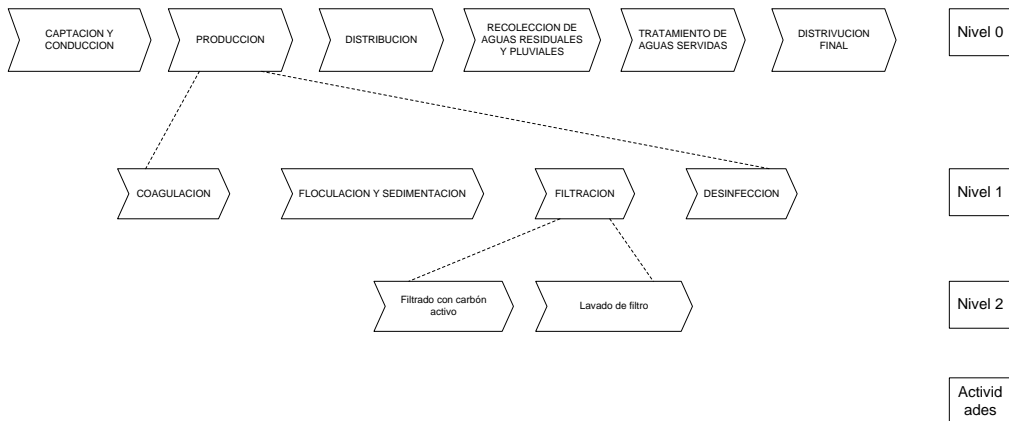
En la Figura 3.5 se puede ver el proceso de floculación y sedimentación que se descompone en dos subprocesos que son los de preparación de solución de agua más polímeros y dosificación de esta solución.



**Figura 3.5** Jerarquización del proceso de floculación y sedimentación.

**Fuente:** Autor

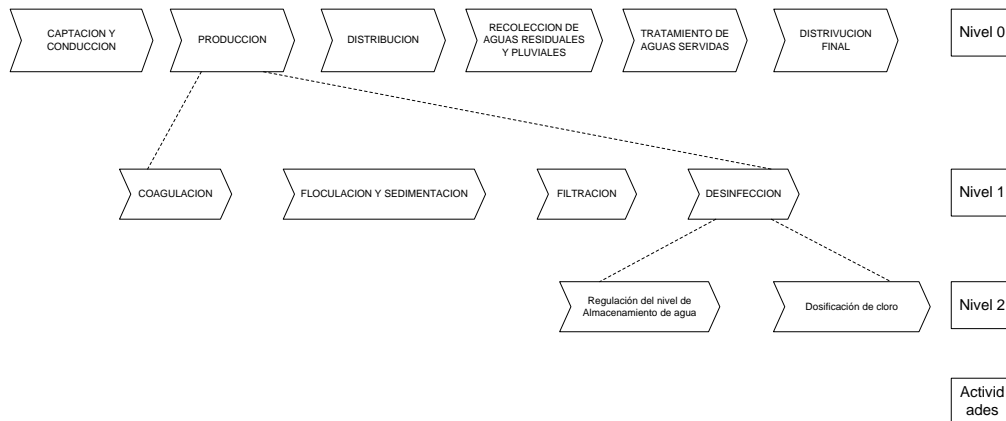
En la Figura 3.6 se presenta el proceso de filtración con los subprocesos de filtrado con carbón activo y lavado del filtro.



**Figura 3.6** Jerarquización del proceso de filtración.

**Fuente:** Autor

Por último, en la jerarquización de los procesos de producción tenemos el proceso de desinfección, que consta de los subprocesos de control de nivel del tanque elevado y dosificación de cloro, ver Figura 3.7.



**Figura 3.7** Jerarquización del proceso de desinfección.

Fuente: Autor

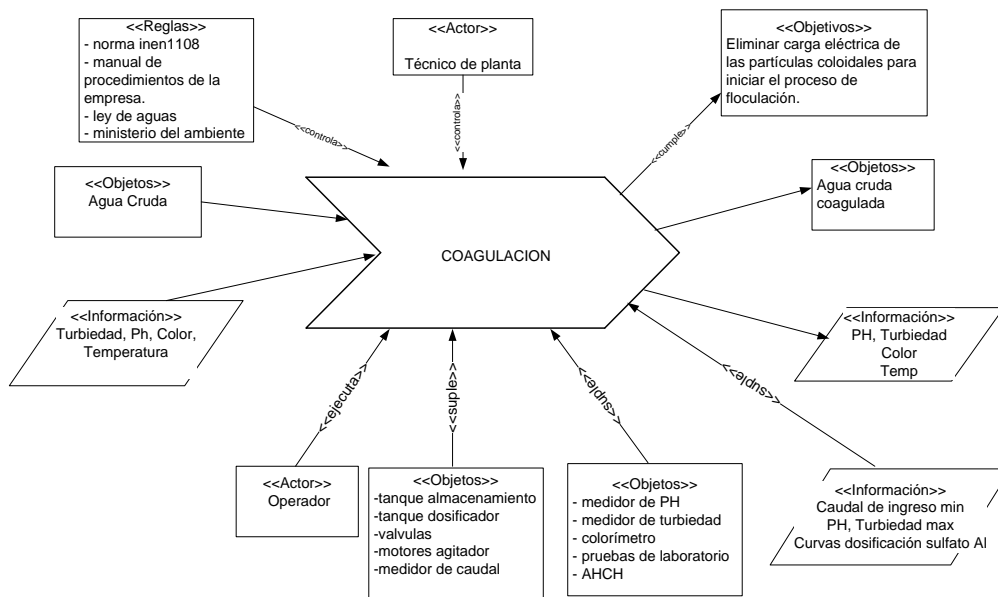
### 3.4 Descripción de los Procesos

El proceso de nivel 0 correspondiente a la producción se describió con la metodología IDEF como se presenta en la Figura 3.2 y la Figura 3.3. Los procesos definidos en el nivel 1 y nivel 2, de la jerarquía de procesos, serán descritos con mayor detalle en diagramas de descripción de Procesos propuestos en BMM. El detalle de las actividades de nivel 3 se muestra con diagramas de actividades en la sección 3.5.

Los procesos descritos, con sus objetos de entrada-salida, objetivos, información de entrada-salida, y los actores que regulan y controlan el proceso se presentan en las siguientes figuras.

#### 3.4.1 Descripción del proceso de Coagulación

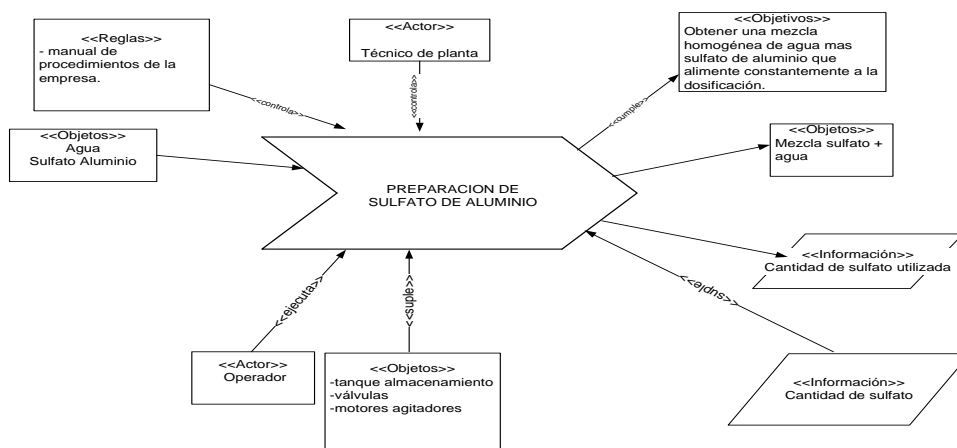
El proceso de coagulación tiene como objetivo eliminar la carga eléctrica de las partículas coloidales para iniciar el proceso de floculación, lo cual se logra a través de la dosificación de sulfato de aluminio en el caudal de agua cruda. En este proceso intervienen infraestructura, equipos, operador, para los cuales sus acciones son reguladas por las normas y el técnico encargado del proceso. Todo esto se puede apreciar en la Figura 3.8.



**Figura 3.8** Descripción del proceso de coagulación.

Fuente: Autor

El proceso de coagulación se descompone en dos subprocesos y cuya descripción grafica en notación UML Business de (Eriksson & Penker, 2000), se muestra en la Figura 3.9 y Figura 3.10 .



**Figura 3.9** Descripción del subproceso de preparación de sulfato de aluminio.

Fuente: Autor

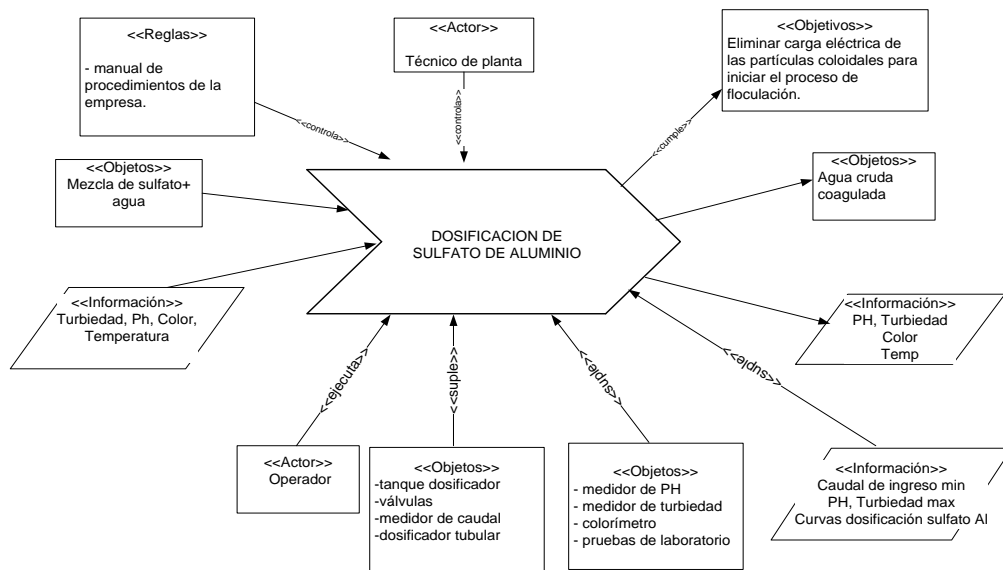


Figura 3.10 Descripción del proceso de dosificación de sulfato de aluminio.

Fuente: Autor

### 3.4.2 Descripción del proceso de Floculación

El proceso de floculación tiene como objetivo eliminar los sólidos suspendidos en el agua mediante el tabique de floculación ayudado de la dosificación de polímeros para lograr flóculos de mayor tamaño y es decantar con mayor rapidez en el tabique, las interacciones entre los objetivos, objetos, controles, entradas y salidas de este proceso se pueden ver en la Figura 3.11.

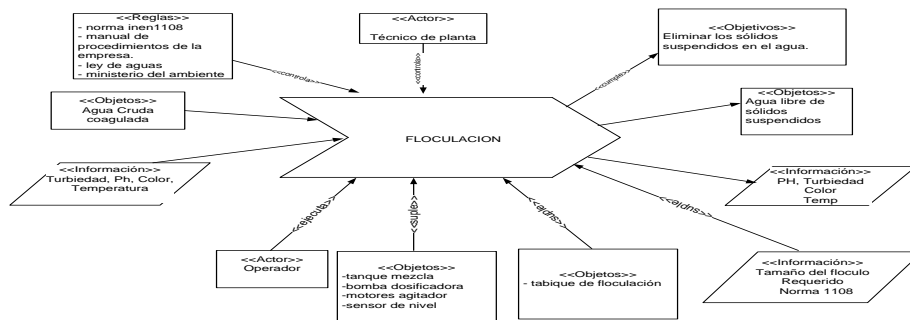


Figura 3.11 Descripción del proceso de Floculación.

Fuente: Autor

El proceso de floculación se descompone en dos subprocesos y cuya descripción grafica en notación UML Business de (Eriksson & Penker, 2000), se muestra en la Figura 3.12 y Figura 3.13.

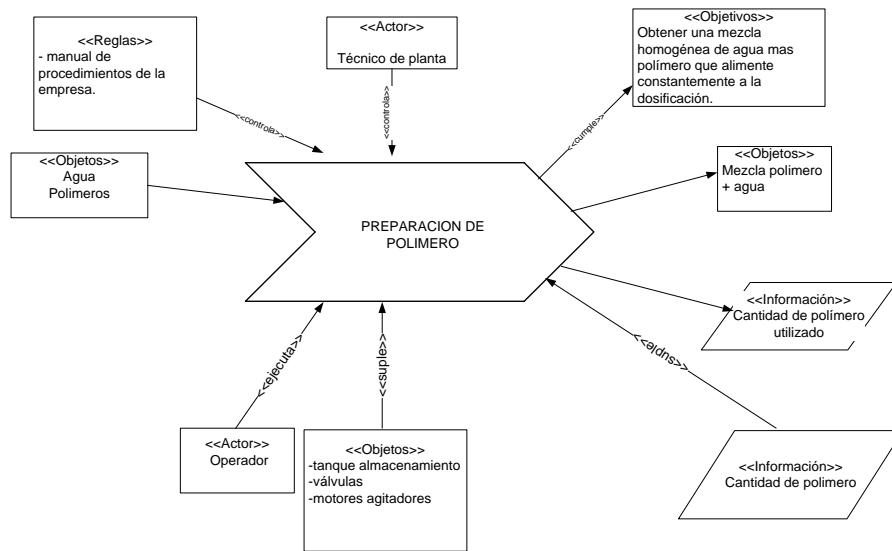


Figura 3.12 Descripción del proceso de preparación de polímero.

Fuente: Autor

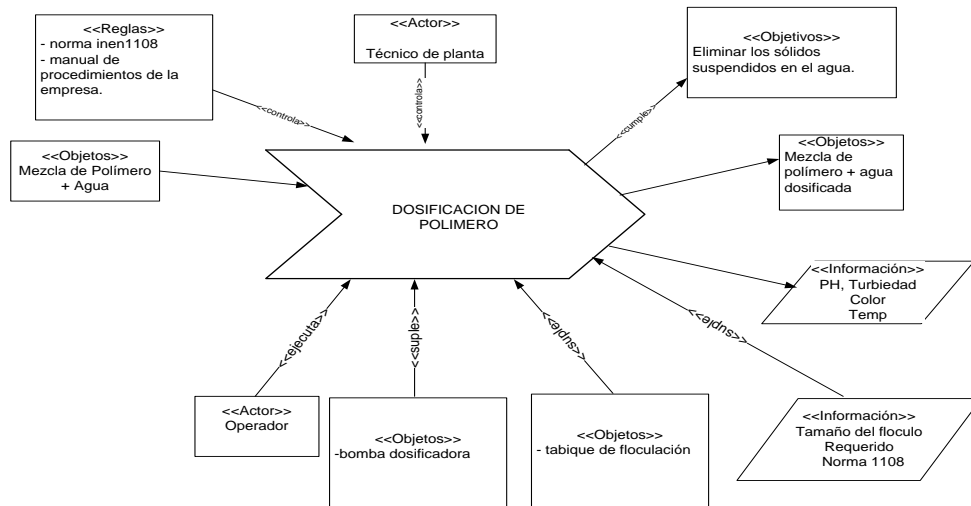


Figura 3.13 Descripción del proceso de dosificación de polímero.

Fuente: Autor

### 3.4.3 Descripción del proceso de Sedimentación

En el proceso de sedimentación el objetivo principal es eliminar los flocúlos pequeños que han pasado el proceso de floculación y disminuir la turbiedad a parámetros establecidos. Este proceso se lleva a cabo en un sedimentador de placas paralelas, el cual es supervisado por el técnico encargado de la planta. En la Figura 3.14 se pueden observar los objetivos, objetos, entradas y salidas de este proceso.

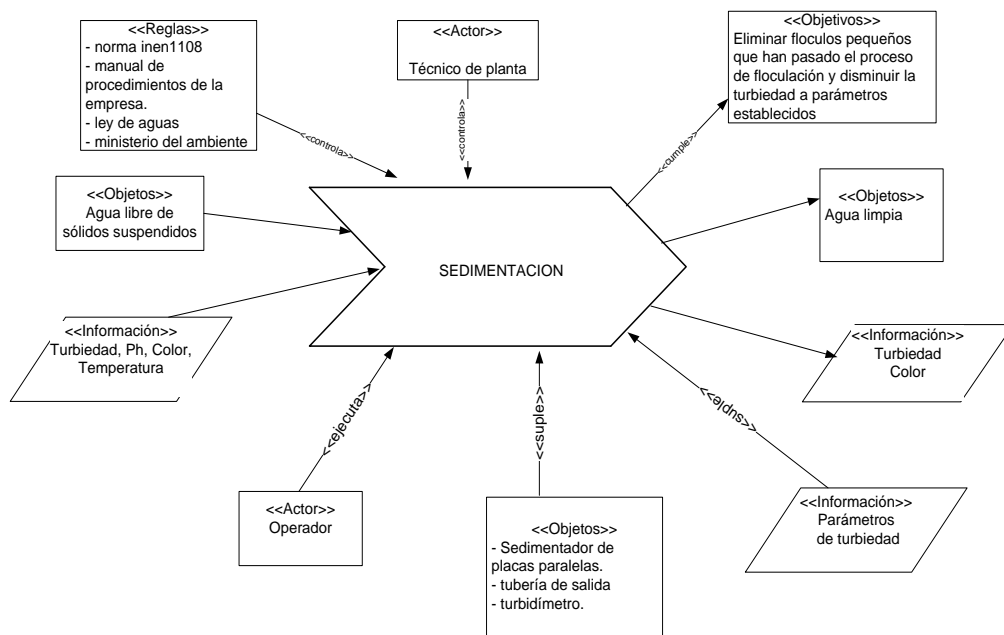
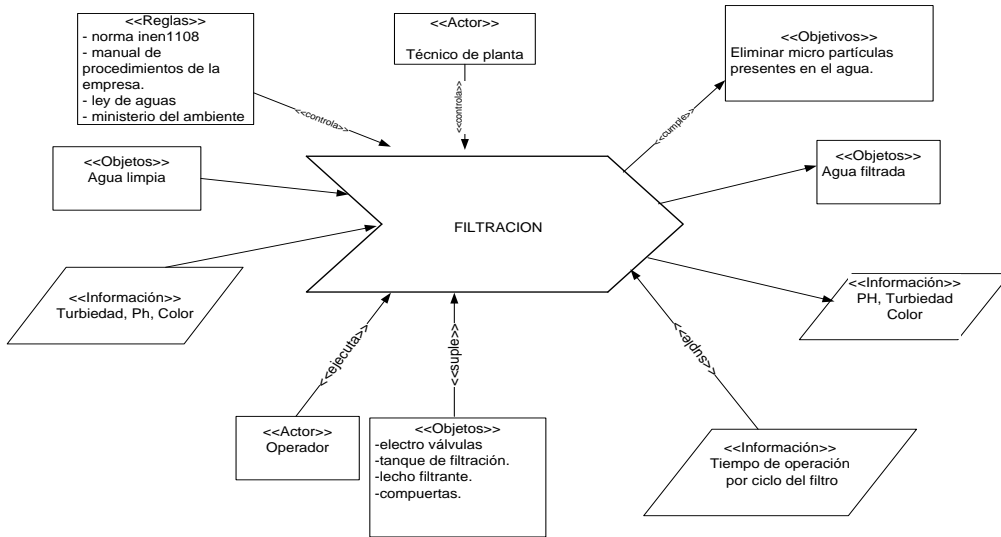


Figura 3.14 Descripción del proceso de Sedimentación.

Fuente: Autor

### 3.4.4 Descripción del proceso de Filtración

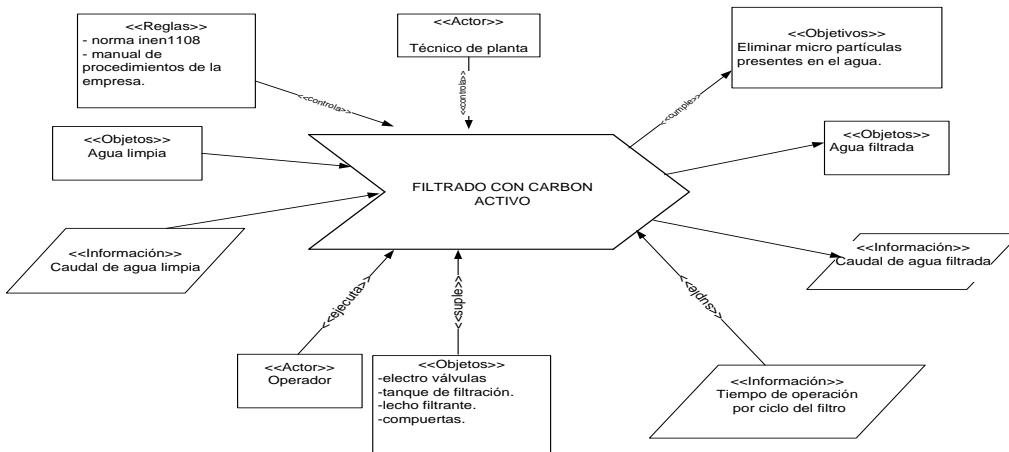
El proceso de filtración elimina las micro partículas presentes en el agua mediante una cámara de filtración con elementos como el carbón activo, la cual debe ser lavada luego de un tiempo de operación debido a la saturación del filtro por partículas. La descripción de este proceso en el lenguaje UML Business Model se puede apreciar en la Figura 3.15.



**Figura 3.15** Descripción del proceso de Filtración

Fuente: Autor

El proceso de filtración se descompone en dos subprocesos y cuya descripción grafica en notación UML Business de (Eriksson & Penker, 2000), se muestra en la Figura 3.16 y Figura 3.17.



**Figura 3.16** Descripción del proceso de filtrado con carbón activo.

Fuente: Autor

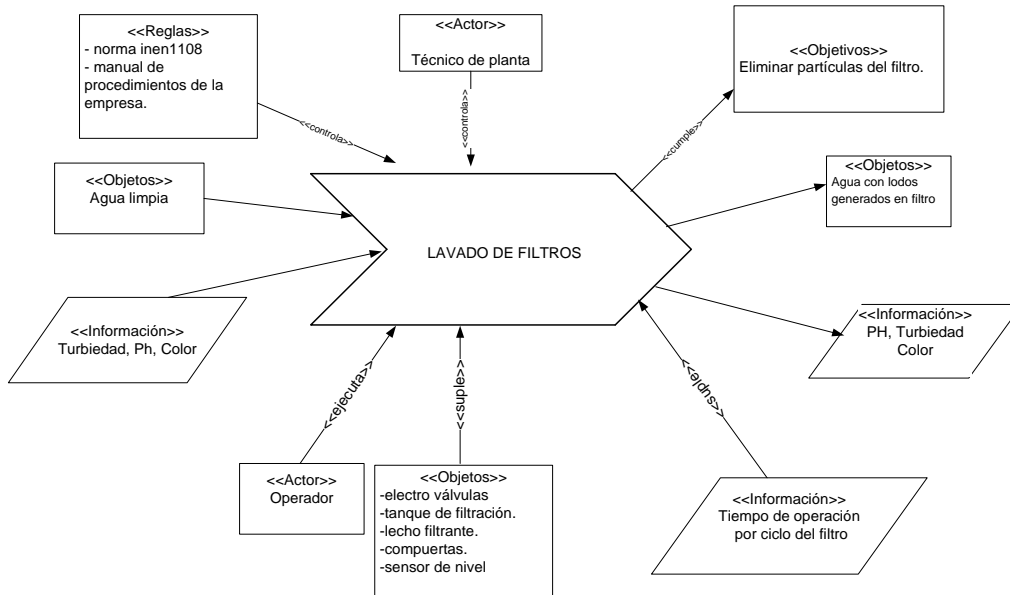


Figura 3.17 Descripción del proceso de lavado de filtros.

Fuente: Autor

### 3.4.5 Descripción del proceso de Desinfección

Eliminar microorganismos presentes en el agua y obtener agua apta para el consumo humano es el objetivo principal del proceso de desinfección, el cual se puede ver en la Figura 3.18, donde se han establecidos los actores, objetos, objetivos de este proceso.

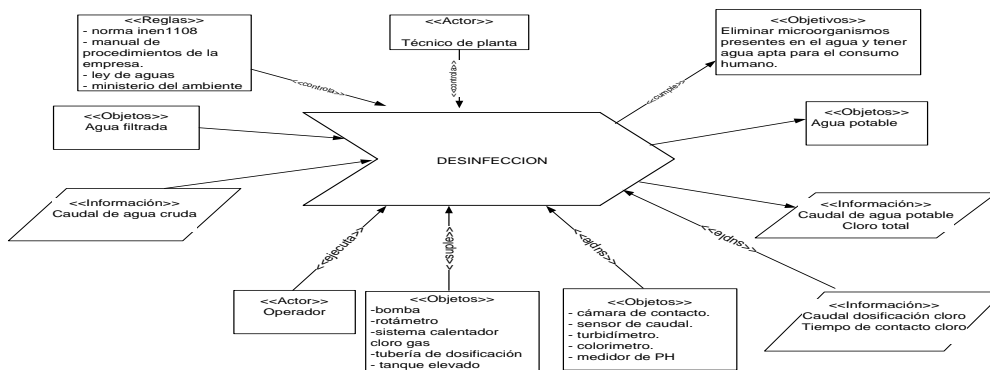


Figura 3.18 Descripción del proceso de Desinfección.

Fuente: Autor



El proceso de desinfección se descompone en dos subprocesos y cuya descripción grafica en notación UML Business de (Eriksson & Penker, 2000), se muestran en la Figura 3.19, Figura 3.20.

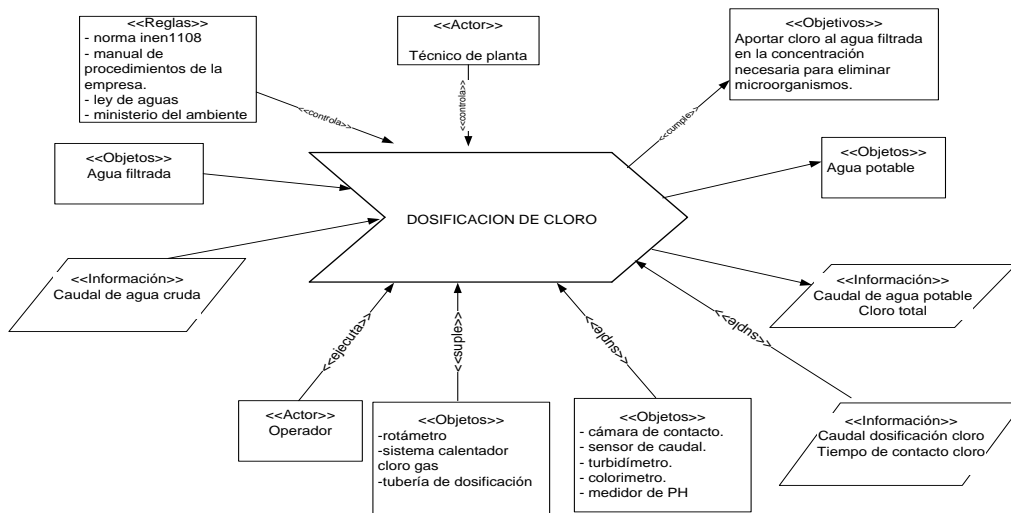


Figura 3.19 Descripción del proceso de dosificación de cloro.

Fuente: Autor

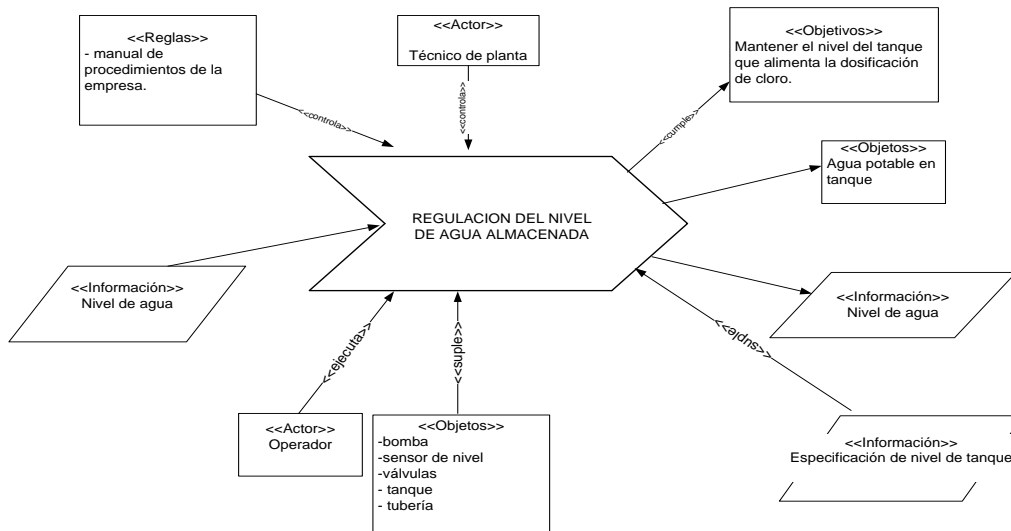


Figura 3.20 Descripción del proceso de control de regulación del nivel de agua almacenada.

Fuente: Autor

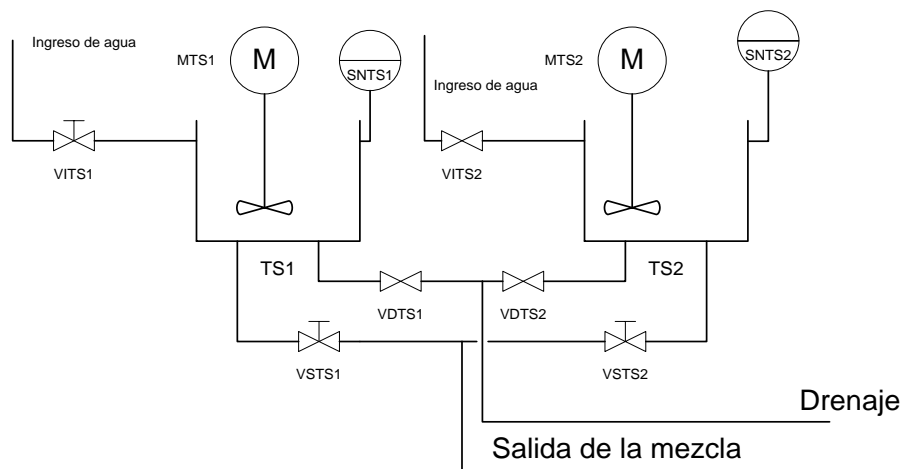
## **3.5 Diagrama de Actividades**

Luego de un análisis de los procesos descritos en el punto 3.4, los procesos de bajo nivel de la jerarquía aplicada se modelan mediante diagramas de actividades en la notación UML 2. En este trabajo, estamos interesados en desarrollar las actividades de control a las que pueda estar sujeto cada subproceso de bajo nivel (nivel 3). Los diagramas de actividades permitirán realizar un análisis, y posteriormente proponer las necesidades de automatización de cada subproceso apoyados de la guía GEMMA. Es necesario acotar que las actividades de algunos procesos no son sujetas a automatización, sin embargo, de igual manera se desarrollarán sus diagramas.

Se presentan a continuación los diagramas de actividades de los subprocesos de bajo nivel.

### **3.5.1 Diagrama de actividades del proceso “Preparación de sulfato de aluminio”**

Las actividades de este subproceso se realizan de manera manual y constan de dos tanques en los cuales se mezcla agua con sulfato de aluminio, estos tanques se encuentran interconectados y van alimentando la dosificación alternadamente es decir mientras el tanque 1 esté con producto sobre un nivel específico, el tanque 2 estará listo para iniciar la mezcla y luego cuando se haya vaciado el tanque 1, comienza el vaciado del tanque 2 y así sucesivamente. Debido a que existen secuencias de acciones repetitivas, como la apertura y cierre de válvulas, este subproceso puede ser automatizado y será analizado bajo un modelo de redes Petri para su posterior automatización. En la Figura 3.21 se puede ver los elementos que conforman este sistema, y en la Tabla 3.2 el detalle de los elementos.



**Figura 3.21** Tanques mezcla sulfato de aluminio

**Fuente:** Autor

**Tabla 3.2** Detalle de los elementos de control para la mezcla de sulfato de aluminio

Actuador	Descripción	Valores posibles		
VITS1	Válvula de ingreso de agua al tanque de sulfato 1	Abierta	Cerrada	
MTS1	Motor agitador tanque de sulfato 1	Encendido	Apagado	
VDTS1	Válvula drenaje tanque de sulfato 1	Abierta	Cerrada	
VSTS1	Válvula de salida tanque de sulfato 1	Abierta	Cerrada	
VITS2	Válvula de ingreso de agua al tanque de sulfato 2	Abierta	Cerrada	
MTS2	Motor agitador tanque de sulfato 2	Encendido	Apagado	

VDTS2	Válvula drenaje tanque de sulfato 2	Abierta	Cerrada	
VSTS2	Válvula de salida tanque de sulfato 2	Abierta	Cerrada	
<b>Sensores</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valores posibles</b>		
SNTS1	Sensor de nivel tanque de sulfato 1	Vacío	Medio	lleno
SNTS2	Sensor de nivel tanque de sulfato 2	Vacío	Medio	Lleno

Fuente: Autor

Se ha desarrollado un diagrama de actividades que modela el subproceso de preparación de sulfato de aluminio, dicho diagrama se muestra en la Figura 3.22.

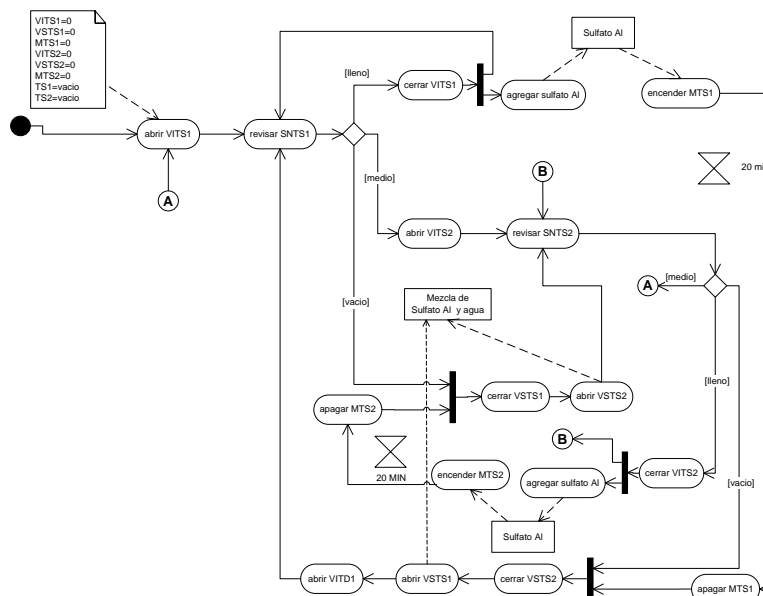


Figura 3.22 Diagrama de actividades preparación de sulfato de aluminio.

Fuente: Autor

### 3.5.2 Diagrama de actividades del proceso “Dosificación de sulfato de aluminio”

El control de la dosificación de sulfato se realiza de manera manual. Se toma la mezcla del proceso de preparación y mediante un dosificador tubular, que se regula manualmente por número de vueltas, de acuerdo a los datos proporcionados por el laboratorio de la planta, caudal de entrada y turbiedad de entrada, se dosifica el sulfato mediante una flauta, sobre el caudal de ingreso de agua cruda. En el presente trabajo no se analizará la automatización de este proceso debido a que los elementos que controlan el proceso son manuales y su parametrización depende de la información que brinda el laboratorio. El diagrama de actividades que modela las actividades de dosificación de sulfato se muestra en la Figura 3.23.

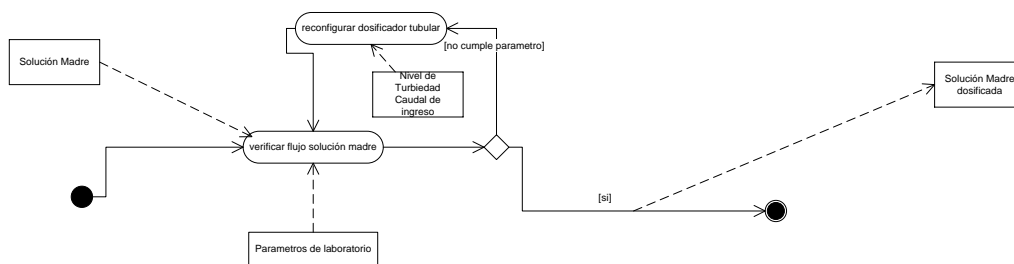


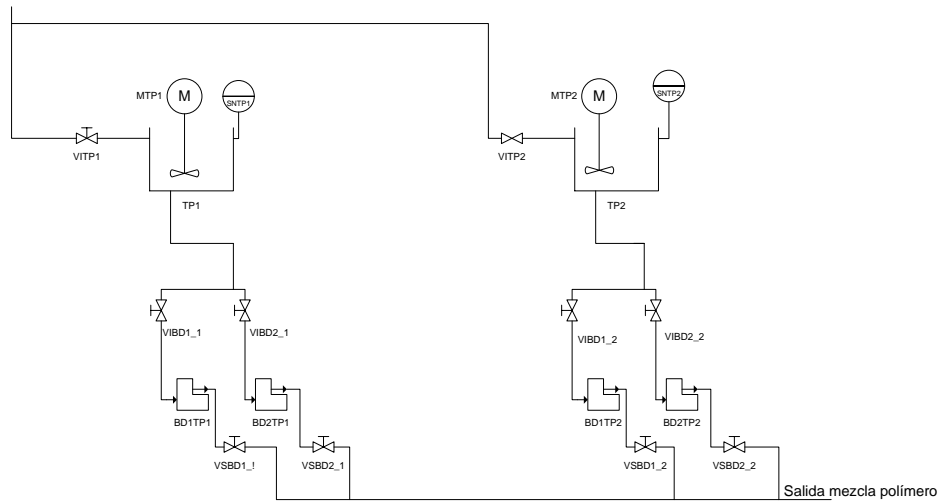
Figura 3.23 Diagrama de actividades dosificación de sulfato de aluminio.

Fuente: Autor

### 3.5.3 Diagrama de actividades del proceso “Preparación de polímero”

El control de las actividades de la preparación de polímero se realiza de manera manual y consta de dos tanques en los cuales se mezcla agua con polímero. Estos tanques se encuentran interconectados y van alimentando la dosificación alternadamente es decir mientras el tanque 1 este con producto sobre un nivel específico, el tanque 2 estará listo para iniciar la mezcla y luego cuando se haya vaciada el tanque 1, comienza el vaciado del tanque 2 y así sucesivamente. Debido a que existen secuencias de acciones repetitivas, como la apertura y cierre de válvulas, encendido y apagado de bombas, este subproceso puede ser automatizado y será analizado bajo un modelo de redes Petri para su posterior automatización. En la Figura 3.24 se puede ver los elementos que conforman este sistema y en la Tabla 3.3 el detalle de estos elementos.

PREPARACION DE LA MEZCLA POLIMERO MAS AGUA



**Figura 3.24** Diagrama del proceso de preparación de mezcla de polímero

Fuente: Autor

**Tabla 3.3** Detalle de los elementos de control para la de preparación de mezcla de polímero

Actuador	Descripción	Valores Posibles		
VITP1	Válvula de ingreso de agua al tanque de polímero 1	Abierta	Cerrada	
MTP1	Motor agitador tanque de polímero 1	Encendido	Apagado	
VIBD1_1	Válvula de ingreso bomba dosificadora 1 tanque polímero 1	Abierta	Cerrada	
VIBD2_1	Válvula de ingreso bomba dosificadora 2 tanque polímero 1	Abierta	Cerrada	
BD1TP1	Bomba dosificadora 1 tanque polímero 1	Encendida	Apagada	

VSBD1_1	Válvula de salida bomba dosificadora 1 tanque polímero 1	Abierta	Cerrada	
BD2TP1	Bomba dosificadora 2 tanque polímero 1	Encendida	Apagada	
VSBD2_1	Válvula de salida bomba dosificadora 2 tanque polímero 1	Abierta	Cerrada	
VITP2	Válvula de ingreso de agua al tanque de polímero 2	Abierta	Cerrada	
MTP2	Motor agitador tanque de polímero 2	Encendido	Apagado	
VIBD1_2	Válvula de ingreso bomba dosificadora 1 tanque polímero 2	Abierta	Cerrada	
VIBD2_2	Válvula de ingreso bomba dosificadora 2 tanque polímero 2	Abierta	Cerrada	
BD1TP2	Bomba dosificadora 1 tanque polímero 2	Encendida	Apagada	
VSBD1_2	Válvula de salida bomba dosificadora 1 tanque polímero 2	Abierta	Cerrada	
BD2TP2	Bomba dosificadora 2 tanque polímero 2	Encendida	Apagada	
VSBD2_2	Válvula de salida bomba dosificadora 2 tanque polímero 2	Abierta	Cerrada	
<b>Sensor</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valores posibles</b>		
SNTP1	Sensor de nivel tanque	Vacío	Medio	Lleno

	de polímero 1			
SNTP2	Sensor de nivel tanque de polímero 2	Vacío	Medio	Lleno

Fuente: Autor

Se ha desarrollado un diagrama de actividades que modela el subproceso de preparación de polímero, dicho diagrama se muestra en la Figura 3.25.

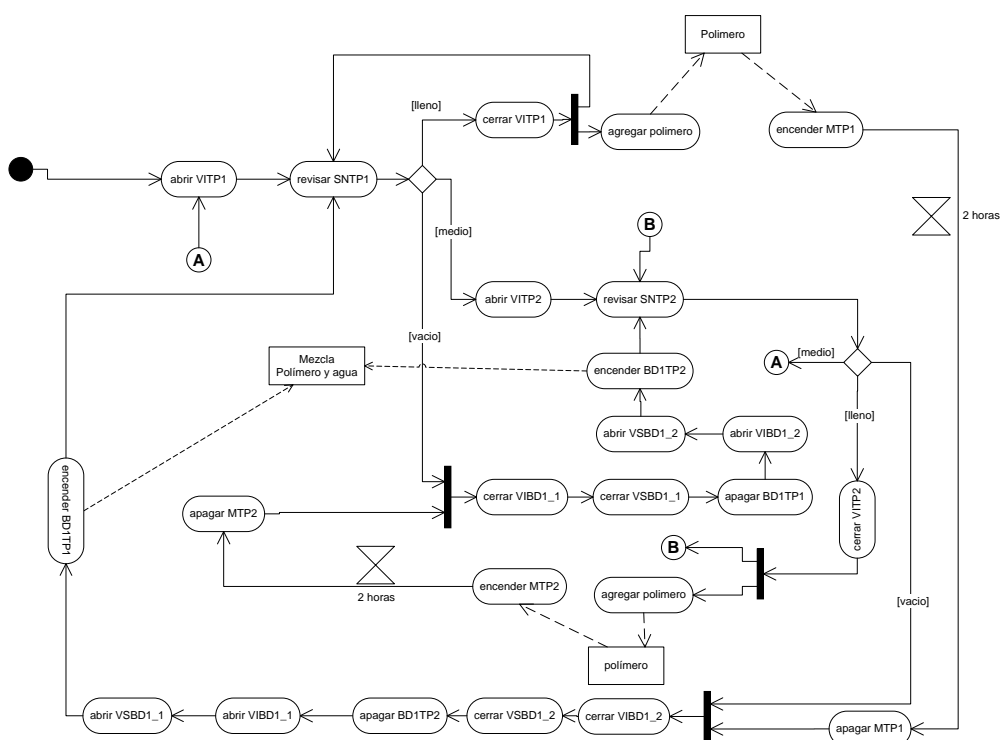


Figura 3.25 Diagrama de actividades del proceso mezcla de polimeros.

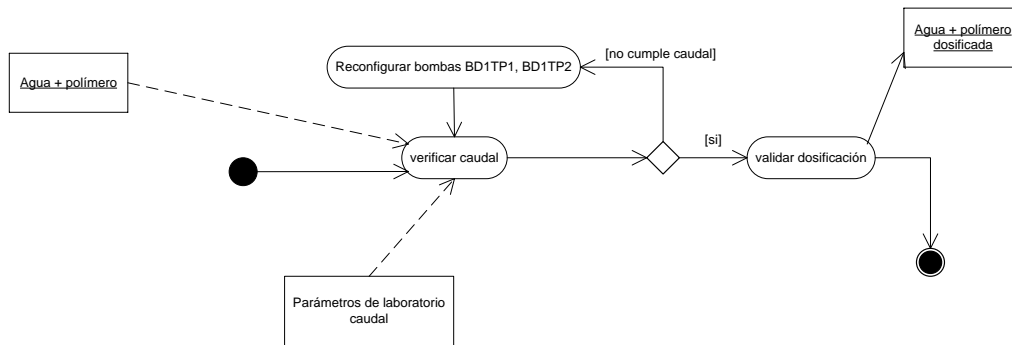
Fuente: Autor

### 3.5.4 Diagrama de actividades del proceso “Dosificación del polímero”

La dosificación del polímero se realiza mediante bombas dosificadoras que son encendidas y apagadas en el proceso de preparación de polímeros, pero son reguladas manualmente de acuerdo a parámetros de laboratorio, por lo que la regulación del caudal de salida de las bombas no está sujeta a ser automatizado. Existen dos bombas



por cada tanque ya que existe redundancia en caso de un daño en una de ellas. Las actividades asociadas a este proceso se describen en la Figura 3.26.

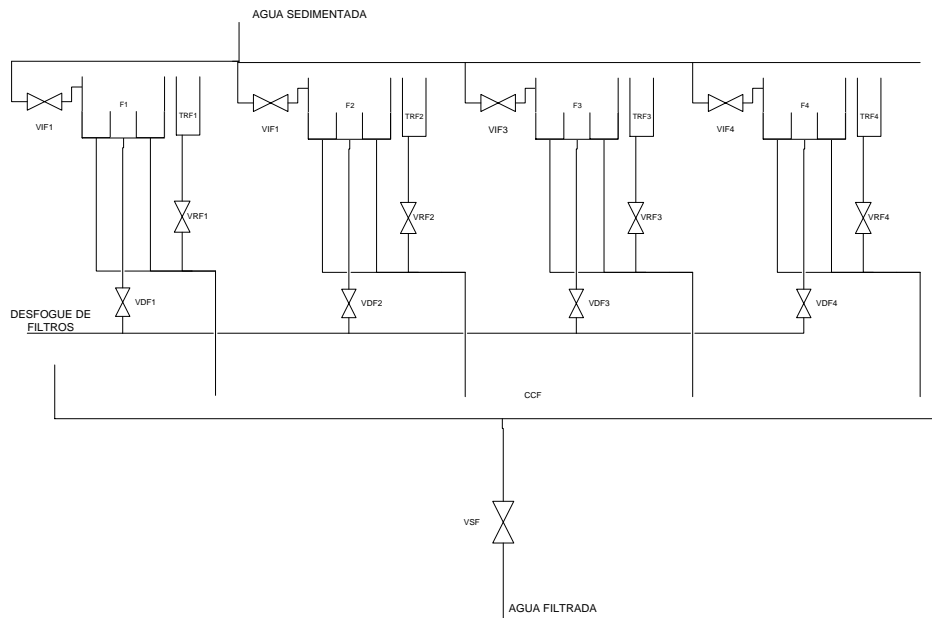


**Figura 3.26** Diagrama de actividades del proceso de dosificación de polímero.

Fuente: Autor

### 3.5.5 Diagrama de actividades del proceso “Filtrado con carbón activo”

El filtrado consta de un banco de cuatro filtros. Ingresar agua sedimentada que pasa por el filtro de carbón activo y el producto es conducido por un canal común al proceso de desinfección. Luego de un funcionamiento por tiempo determinado, es posible que alguno de los filtros se sature y tiene que ser lavado, para lo cual se ejecutan un conjunto de acciones para el lavado de cada filtro. Básicamente se abren y se cierran un conjunto de válvulas por lo que el proceso puede ser automatizado. Los elementos que conforman este proceso se pueden ver en la Figura 3.27 y se detallan en la Tabla 3.4. Las actividades que conforman el proceso de filtrado se pueden ver en la Figura 3.28



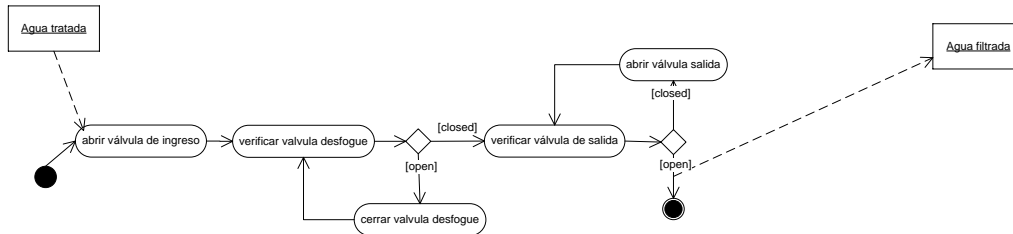
**Figura 3.27** Diagrama del banco de filtros.

**Fuente:** Autor

**Tabla 3.4** Detalle de los elementos de control que conforman el banco de filtros.

Elemento	Descripción
CCF	Canal común del banco de filtros
F1	Filtro 1
TRF1	Tanque retro lavado filtro 1
F2	Filtro 2
TRF2	Tanque retro lavado filtro 2
F3	Filtro 3
TRF3	Tanque retro lavado filtro 3
F4	Filtro 4

TRF4	Tanque retro lavado filtro 4		
<b>Actuadores</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valores posibles</b>	
VSF	Válvula de salida del banco de filtros	Abierta	Cerrada
VIF1	Válvula de ingreso filtro 1	Abierta	Cerrada
VRF1	Válvula de retro lavado filtro 1	Abierta	Cerrada
VDF1	Válvula desfogue filtro 1	Abierta	Cerrada
VIF2	Válvula de ingreso filtro 2	Abierta	Cerrada
VRF2	Válvula de retro lavado filtro 2	Abierta	Cerrada
VDF2	Válvula desfogue filtro 2	Abierta	Cerrada
VIF3	Válvula de ingreso filtro 3	Abierta	Cerrada
VRF3	Válvula de retro lavado filtro 3	Abierta	Cerrada
VDF3	Válvula desfogue filtro 3	Abierta	Cerrada
VIF4	Válvula de ingreso filtro 4	Abierta	Cerrada
VRF4	Válvula de retro lavado filtro 4	Abierta	Cerrada
VDF4	Válvula desfogue filtro 4	Abierta	Cerrada

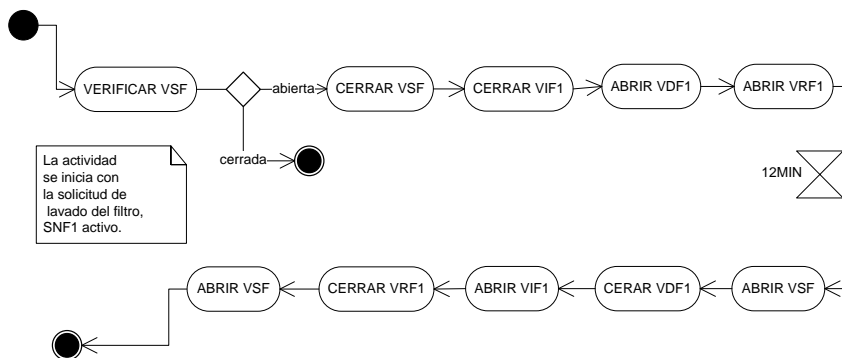


**Figura 3.28** Diagrama de actividades del proceso de filtrado con carbon activo

Fuente: Autor

### 3.5.6 Diagrama de actividades del proceso “Lavado de filtro”

Este proceso se ejecuta cuando un filtro se encuentra saturado, es decir, el nivel de agua en el tanque de filtrado excede un valor determinado lo cual verifica un operador visualmente y, de ser el caso, procede a ejecutar las acciones que se detallan en la Figura 3.29, de igual manera ocurre para los tres filtros restantes. Cabe indicar que mientras se esté lavando un filtro otro no podrá lavarse, lo que representa una restricción de inicio de las actividades. Este proceso está sujeto a ser automatizado por que las acciones implican la apertura y cierre de válvulas, además de la verificación de nivel que puede ser mediante sensores de nivel por ejemplo.



**Figura 3.29** Diagrama de actividades del retro lavado de filtro 1

Fuente: Autor

Una vez descritas las actividades de cada subproceso de bajo nivel de la jerarquía de procesos, en el capítulo siguiente se diseña el control supervisorio de los subprocesos que se proponen ser automatizados.



---

---

## CAPITULO IV

---

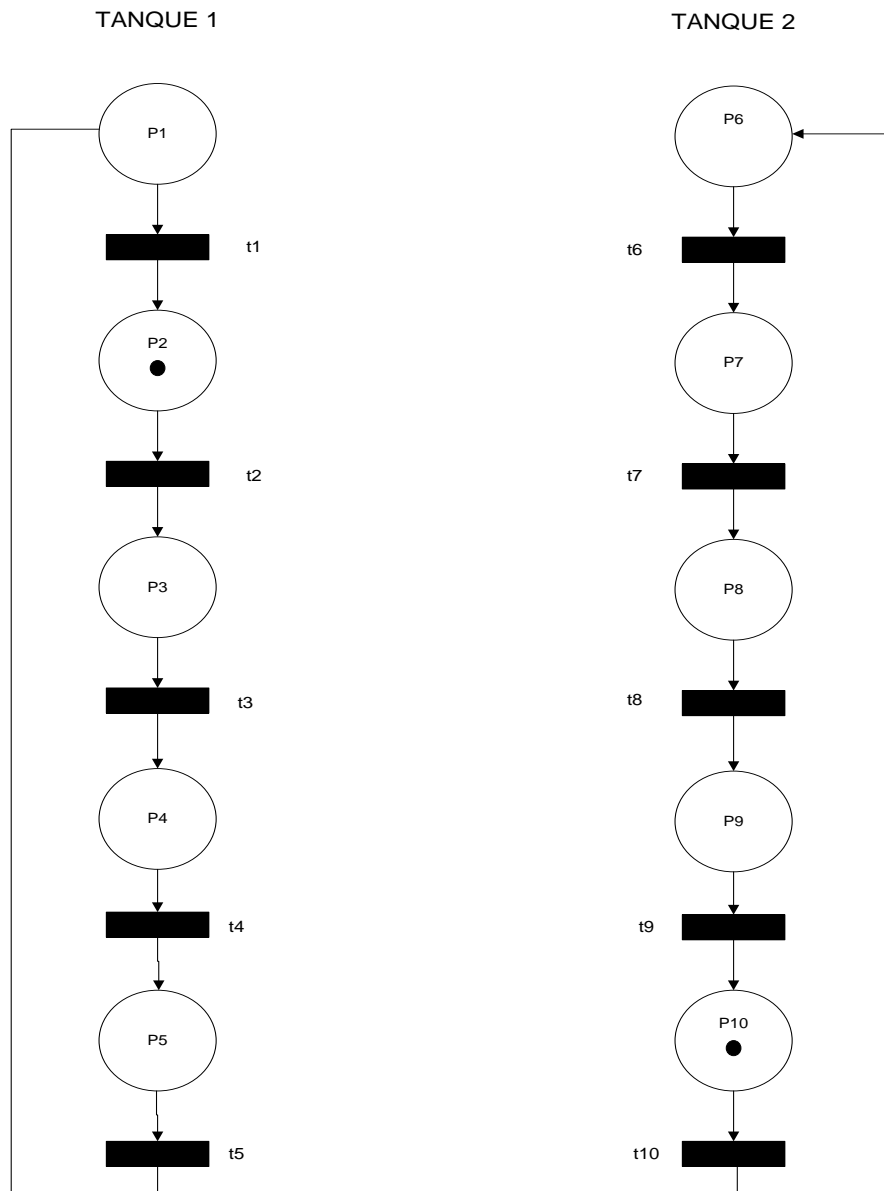
### **4 MODELADO Y CONTROL DE LOS PROCESOS DE POTIBILIZACION DE LA PLANTA DE MAHUARCAY CON REDES DE PETRI**

La modelación de sistemas automatizados se puede realizar con redes de Petri. A partir de las actividades descritas en el capítulo 3, se ha determinado que los procesos sujetos a ser controlados de modo automático son los procesos de preparación de sulfato de aluminio, preparación de polímeros, filtrado con carbón activo y lavado de los filtros.

A continuación se describen los modelos de Redes de Petri de tales procesos, y posteriormente se diseña el sistema de control, considerando las restricciones de funcionamiento especificadas.

#### **4.1 Descripción de la Red de Petri del Proceso Preparación de Sulfato de Aluminio**

Basados en la descripción funcional del proceso del diagrama de actividades de la Figura 3.22, la red de Petri que describe el proceso no controlado de los dos tanques por separado se puede ver en la Figura 4.1.



**Figura 4.1** Red de Petri del funcionamiento de cada tanque del proceso de mezcla de sulfato de aluminio.

**Fuente:** Autor

En la Tabla 4.1 se describen los lugares o plazas del proceso y en la Tabla 4.2 las transiciones de la red de Petri de la Figura 4.1.



**Tabla 4.1** Lugares de la red de Petri del proceso de mezcla de sulfato de aluminio.

P1	Tanque 1 vacío, válvulas VITS1 y VSTS1 cerradas, MTS1 apagado
P2	Tanque 1 llenándose, VITS1 abierta
P3	Tanque 1 lleno, mezcla en proceso, MTS1 encendido, válvula VITS1 cerrada
P4	Tanque 1 vaciándose, MTS1 apagado, válvula VSTS1 abierta
P5	Tanque 1 vacío al 30%, MTS1 apagado, válvula VSTS1 abierta
P6	Tanque 2 vacío, válvulas VITS2 y VSTS2 cerradas, MTS2 apagado
P7	Tanque 2 llenándose, VITS2 abierta
P8	Tanque 2 lleno, mezcla en proceso, MTS2 encendido, válvula VITS2 cerrada
P9	Tanque 2 vaciándose, MTS2 apagado, válvula VSTS2 abierta
P10	Tanque 2 vacío al 30%, MTS2 apagado, válvula VSTS2 abierta

**Fuente:** Autor

**Tabla 4.2** Transiciones de la red de Petri del proceso de mezcla de sulfato de aluminio

t1	Iniciar llenado tanque 1, abrir VITS1
t2	Sensor nivel tanque1 100%, cerrar VITS1, encender MTS1
t3	Tiempo de mezcla Tanque 1 cumplido, abrir VSTS1, apagar MTS1
t4	Sensor de nivel tanque1 30%.
t5	Sensor de nivel tanque1 0%, cerrar VSTS1
t6	Iniciar llenado tanque 2, abrir VITS2
t7	Sensor nivel tanque2 100%, cerrar VITS2, encender MTS2
t8	Tiempo de mezcla Tanque 2 cumplido, abrir VSTS2, apagar MTS2
t9	Sensor de nivel tanque2 30%
t10	Sensor de nivel tanque2 0%, cerrar VSTS2

**Fuente:** Autor

La fichas para la condición inicial se consideran en los lugares P1 y P10 debido a que los tanques no pueden estar vacíos al mismo tiempo ni llenándose al mismo tiempo, porque cuando uno ellos este vacío el otro deberá estar listo para iniciar su vaciado y así mantener constante el flujo de mezcla de sulfato hacia la dosificación del mismo.

La matriz de incidencia Dp2 y el vector de marcado inicial Up20 del proceso no controlado son:

$$\begin{array}{cccccccccc|c}
 \text{Dp2} = & & & & & & & & & & & \text{Up20} = \\
 -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\
 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 1
 \end{array}$$

A partir del análisis de la red de Petri se establecen las restricciones del proceso, que en síntesis sería que los dos tanques no pueden estar vaciándose ni llenándose al mismo tiempo. Lo único que podrían hacer es que mientras el tanque1 se haya vaciado a un nivel menor o igual al 30%, el tanque 2 comenzaría a llenarse y mezclar el sulfato para cuando este vacío el tanque 1, este comience a vaciarse, las restricciones de los lugares de la red se ven a continuación.

$$\mu_2 + \mu_3 + \mu_4 + \mu_7 + \mu_8 + \mu_9 \leq 1$$

$$\mu_4 + \mu_5 + \mu_9 + \mu_{10} \leq 1$$

La matriz L2 representa los lugares utilizados en las restricciones de la planta.

L2 =

$$\begin{matrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{matrix}$$

El vector b representa el número máximo de fichas que pueden tener cada lugar de las restricciones del proceso

b =

$$\begin{matrix} 1 \\ 1 \end{matrix}$$

En síntesis, el controlador basado en invariancia queda definido por las siguientes ecuaciones.

$$D_{c2} = -L2 * Dp$$

$$\mu_{c20} = b - L2 * \mu_{p20}$$

Donde

Dc2 es la matriz de incidencia del controlador.

L2  $\in Z^{n \times m}$  es una matriz que representa los lugares utilizados en las restricciones de la planta.

Dp2 es la matriz de incidencia de la planta.

b  $\in Z^n$  es un vector que indica el número máximo de fichas que los lugares de cada restricción pueden tener.

$\mu_{c20}$  es el vector de marcado del controlador.

$\mu_{p20}$  es el vector de marcado de la planta.

Luego de realizar los calculos correspondientes se obtienen la matriz de incidencia Dc2 del controlador, y el vector de marcas inciales Uc20 de los lugares del controlador:

Dc2 =

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Uc20 =

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Aplicando el controlador, la matriz de incidencia en lazo cerrado y marcado inicial quedan dados por:

$$D_2 = \begin{bmatrix} D_{p2} \\ D_{c2} \end{bmatrix}$$

$$\mu_{02} = \begin{bmatrix} \mu_{p20} \\ \mu_{c20} \end{bmatrix}$$

Dónde:

$D_2$  es la matriz de incidencia en lazo cerrado.

$\mu_{02}$  es el vector de marcaje inicial en lazo cerrado.

A continuación se muestran  $D_2$  y  $\mu_{02}$ .

D2 =

-1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	-1	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	1
-1	0	0	1	0	-1	0	0	1	0	0
0	0	-1	0	1	0	0	-1	0	1	0

Uc2 =

En la Figura 4.2 se puede ver la red de Petri del proceso controlado.

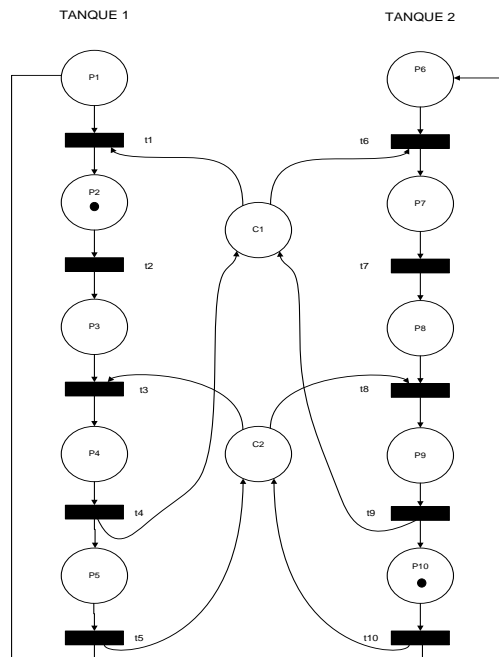


Figura 4.2 Red de Petri del proceso de mezcla de sulfato de aluminio controlado.

Fuente: Autor

## 4.2 Descripción de la Red de Petri del Proceso Preparación de Polímeros

Basados en la descripción funcional del proceso del diagrama de actividades de la Figura 3.25, la red de Petri que describe el proceso no controlado de los dos tanques por separado se puede ver en la Figura 4.3. Cabe recalcar que el proceso es similar al de preparación de sulfato, la diferencia es que en este proceso no hay una sola válvula de salida del tanque, si no que tenemos dos válvulas y una bomba dosificadora. La primera válvula permite el ingreso de la mezcla a la bomba y la segunda válvula, la salida de la mezcla desde la bomba, tanto las válvulas como la bomba deben estar activas al mismo tiempo para que el tanque de sulfato pueda ser vaciado.

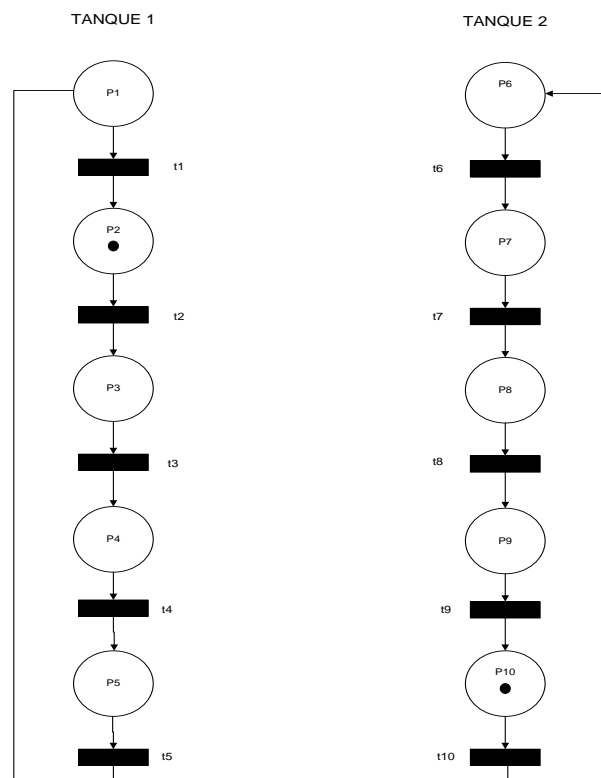


Figura 4.3 Red de Petri del proceso de mezcla de polímeros.

Fuente: Autor

En la Tabla 4.3 se describen los lugares o plazas del proceso y en la Tabla 4.4 las transiciones de la red de Petri de la Figura 4.3.

**Tabla 4.3** Lugares de la red de Petri del proceso mezcla de polímeros.

P1	Tanque 1 vacío, válvulas VITP1 y VIBD1_1, VIBD2_1, VSBD1_1, VSBD2_1 cerradas, MTP1, BD1TP1, BD2TP1 apagados
P2	Tanque 1 llenándose, VITP1 abierta
P3	Tanque 1 lleno, mezcla en proceso, MTP1 encendido, válvula VITP1 cerrada
P4	Tanque 1 vaciándose, MTP1 apagado, válvula VIBD1_1, VSBD1_1 abiertas, VIBD2_1, VSBD2_1 cerradas, BD1TP1 encendida, BD2TP1 apagada.
P5	Tanque 1 vacío al 30%, MTP1 apagado, válvula VIBD1_1, VSBD1_1 abiertas, VIBD2_1, VSBD2_1 cerradas, BD1TP1 encendida, BD2TP1 apagada.
P6	Tanque 2 vacío, válvulas VITP2 ,VIBD1_2, VIBD2_2, VSBD1_2, VSBD2_2 cerradas, MTP2, BD1TP2, BD2TP2 apagados
P7	Tanque 2 llenándose, VITP2 abierta
P8	Tanque 2 lleno, mezcla en proceso, MTP2 encendido, válvula VITP2 cerrada
P9	Tanque 2 vaciándose, MTP2 apagado, válvula VIBD1_2, VSBD1_2 abiertas, VIBD2_2, VSBD2_2 cerradas, BD1TP2 encendida, BD2TP2 apagada.
P10	Tanque 2 vacío al 30%, MTP2 apagado, válvula VIBD1_2, VSBD1_2 abiertas, VIBD2_2, VSBD2_2 cerradas, BD1TP2 encendida, BD2TP2 apagada.

Fuente: Autor

**Tabla 4.4** Transiciones de la red de Petri del proceso mezcla de polímeros.

t1	Iniciar llenado tanque 1, abrir VITP1
t2	Sensor nivel tanque1 100%, cerrar VITP1, encender MTP1
t3	Tiempo de mezcla Tanque 1 cumplido, abrir VIBD1_1, apagar MTP1
t4	Sensor de nivel tanque1 30%.
t5	Sensor de nivel tanque1 0%, cerrar VIBD1_1
t6	Iniciar llenado tanque 2, abrir VITP2
t7	Sensor nivel tanque2 100%, cerrar VITP2, encender MTP2
t8	Tiempo de mezcla Tanque 2 cumplido, abrir VIBD1_2, apagar MTP2
t9	Sensor de nivel tanque2 30%
t10	Sensor de nivel tanque2 0%, cerrar VIBD1_2.

Fuente: Autor

La matriz de incidencia  $Dp2$  del proceso no controlado y el vector de marca inicial  $Up20$  de la planta, son los siguientes:

$$\begin{array}{r}
 Dp2 = \\
 \begin{array}{cccccccccc}
 -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1
 \end{array} \\
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{r}
 Up20 = \\
 \begin{array}{c}
 0 \\
 1 \\
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 1
 \end{array}
 \end{array}$$

A partir del análisis de la red de Petri se establecen las restricciones del proceso, que en síntesis sería que los dos tanques no pueden estar vaciándose ni llenándose al mismo tiempo. Lo único que podrían hacer es que mientras el tanque1 se haya vaciado a un nivel menor o igual al 30%, el tanque 2 comenzaría a llenarse y mezclar el



polímero para cuando este vacío el tanque 1, este comience a vaciarse, las restricciones de los lugares de la red se ven a continuación.

$$\mu_2 + \mu_3 + \mu_4 + \mu_7 + \mu_8 + \mu_9 \leq 1$$

$$\mu_4 + \mu_5 + \mu_9 + \mu_{10} \leq 1$$

La matriz L2 representa los lugares utilizados en las restricciones de la planta.

L2 =

$$\begin{array}{cccccccccc} 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{array}$$

El vector b representa el número máximo de fichas que pueden tener cada lugar de las restricciones del proceso

b =

$$\begin{array}{c} 1 \\ 1 \end{array}$$

En síntesis el Controlador basado en invariancia queda definido por las siguientes ecuaciones.

$$D_{c2} = -L2 * Dp$$

$$\mu_{c20} = b - L2 * \mu_{p20}$$

Donde

Dc2 es la matriz de incidencia del controlador.

L2  $\in Z^{n \times m}$  es una matriz que representa los lugares utilizados en las restricciones de la planta.

Dp2 es la matriz de incidencia de la planta.

$b \in \mathbb{Z}^n$  es un vector que indica el número máximo de fichas que los lugares de cada restricción pueden tener.

$\mu_{c20}$  es el vector de marcado del controlador.

$\mu_{p20}$  es el vector de marcado de la planta.

Luego de realizar los calculos correspondientes se obtienen:

$D_{c2} =$

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$U_{c20} =$

Aplicando el controlador, la matriz de incidencia en lazo cerrado y marcado inicial quedan dados por:

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$D_2 = \begin{bmatrix} D_{p2} \\ D_{c2} \end{bmatrix}$$

$$\mu_{02} = \begin{bmatrix} \mu_{p20} \\ \mu_{c20} \end{bmatrix}$$

Dónde:

$D_2$  es la matriz de incidencia en lazo cerrado.

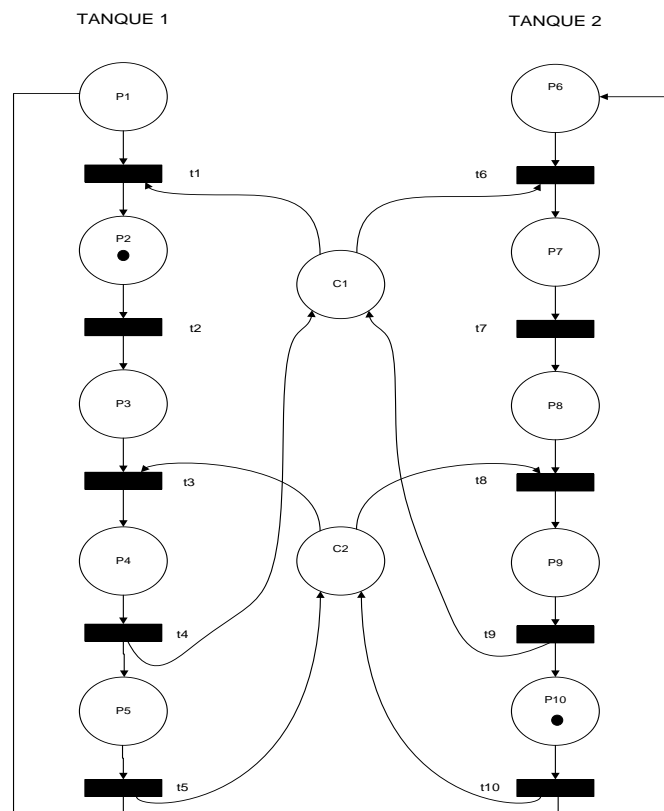
$\mu_{02}$  es el vector de marcaje inicial en lazo cerrado.

A continuación se muestran  $D_2$  y  $\mu_{02}$ , y en la Figura 4.4 se puede ver la red de Petri del proceso controlado.

D2 =

Uc2 =

-1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	-1	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0
-1	0	0	1	0	-1	0	0	1	0	0	0
0	0	-1	0	1	0	0	-1	0	1	0	0



**Figura 4.4** Red de Petri del proceso de mezcla de polímero controlado.

**Fuente:** Autor

### 4.3 Descripción de la Red de Petri del Proceso de Retro Lavado de Filtros

De manera general el proceso de retro lavado de filtro se realiza según las actividades de la Figura 3.29. Cualquiera de los filtros puede solicitar un retro lavado una vez detectado el nivel máximo permitido, a través del sensor de nivel, para lo cual se deberá cerrar la válvula de salida del canal común de salida de los filtros durante un tiempo determinado para ejecutar las actividades de la Figura 3.29. De esta manera, la restricción para iniciar el lavado de un filtro que solicite el lavado es que no puede estar lavándose otro filtro al mismo tiempo. El modelo del proceso de retro lavado con redes de Petri se puede ver en la Figura 4.5.

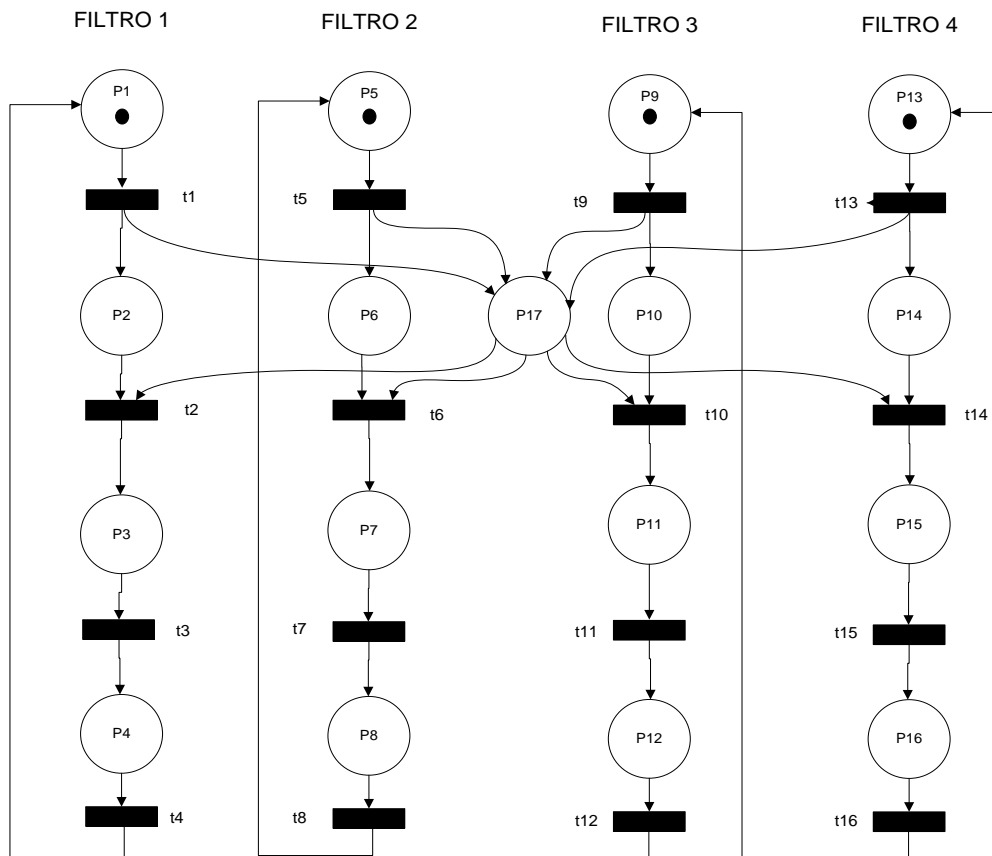


Figura 4.5 Red de Petri del proceso de retro lavado de filtros no controlado.

Fuente: Autor

En la Tabla 4.5 se describen los lugares o plazas del proceso y en la Tabla 4.6 se muestran las transiciones de la red de Petri del proceso de lavado de filtros.

**Tabla 4.5** Lugares de la red de Petri del proceso de retro lavado de filtros.

P1	Filtro 1 filtrando, VIF1=abierta, VDF1= cerrada, VSF= abierta, VRF1= cerrada
P2	Inicia tiempo de llenado de canal común de filtros para filtro 1.
P3	Inicia vaciado de filtro 1, VDF1= abierta, VIF1= cerrada.
P4	Inicia retro lavado de filtro 1, VRF1 abierta.
P17	Llenado de Canal común de banco de filtros, VSF= cerrada.

**Fuente:** Autor

**Tabla 4.6** Transiciones de la red de Petri del proceso de retro lavado de filtros

t1	Solicitud de retro lavado del filtro 1 SNF1=1
t2	Tiempo de llenado de cámara común salida filtros cumplido para filtro 1.
t3	Tiempo de vaciado de filtro 1 cumplido.
t4	Tiempo de retro lavado de filtro 1 cumplido.

**Fuente:** Autor

De manera similar que para los lugares las transiciones se repiten para los filtros 2, 3 y 4.

La matriz de incidencia  $D_p$  y el vector  $U_p$  de marcado del proceso no controlado son los siguientes:



$L \in Z^{n \times m}$  es una matriz que representa los lugares utilizados en las restricciones de la planta.

$D_p$  es la matriz de incidencia de la planta.

$b \in Z^n$  es un vector que indica el número máximo de fichas que los lugares de cada restricción pueden tener.

$\mu_{c0}$  es el vector de marcado del controlador.

$\mu_{p0}$  es el vector de marcado de la planta.

Luego de realizar los calculos correspondientes se obtienen:

$D_c =$

-1    0    0    1    -1    0    0    1    -1    0    0    1    -1    0    0    1

$\mu_{c0} =$

1

Aplicando el controlador, la matriz de incidencia en lazo cerrado y marcado inicial quedan dados por:

$$D = \begin{bmatrix} D_p \\ D_c \end{bmatrix}$$

$$\mu_0 = \begin{bmatrix} \mu_{p0} \\ \mu_{c0} \end{bmatrix}$$

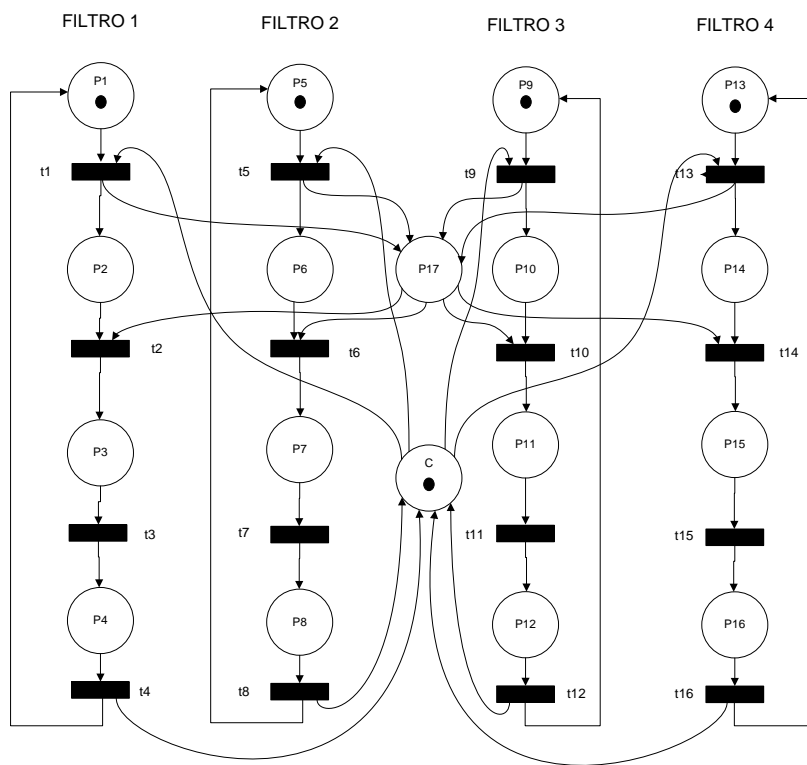
Dónde:

$D$  es la matriz de incidencia en lazo cerrado.

$\mu_0$  es el vector de marcaje inicial en lazo cerrado.

A continuación se muestran  $D$  y  $\mu_0$ , y en la Figura 4.6 se puede ver la red de Petri del proceso controlado en la cual se adiciono un lugar **C** que corresponde al supervisor del proceso.

D =	<pre> -1  0  0  1  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  1 -1  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  1 -1  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  1 -1  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0 -1  0  0  1  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  1 -1  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  1 -1  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  1 -1  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0 -1  0  0  1  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  1 -1  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  1 -1  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0 -1  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0 -1  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  1  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  1 -1  1 -1  0  0  1 -1  0  0  1 -1  0  0  1 -1  0  0 -1  0  0  1 -1  0  0  1 -1  0  0  1 -1  0  0 </pre>	Uo =
		<pre> 1 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 </pre>



**Figura 4.6** Red de Petri del proceso de retro lavado de filtros controlada.

Fuente: Autor



---

---

## CAPITULO V

---

### **5 DESARROLLO DE GEMMA ORIENTADO AL CONTROL SUPERVISORIO**

Una vez modelados con redes de Petri, los procesos de potabilización, y con el detalle de los diagramas de actividades de los mismos, se pueden revisar los aspectos correspondientes a la automatización de los procesos, los cuales se pueden apoyar en la guía GEMMA, donde se incorporan a partir de un modelo gráfico, todos los posibles estados de puesta en marcha y paro de nuestra automatización. Por un lado en la guía tendremos tipificados todos esos estados o etapas en los cuales podremos tener nuestro proceso y también una información muy importante de cómo podemos evolucionar entre estados. Los procesos a ser analizados con la guía GEMMA en nuestro trabajo son: preparación de sulfato de aluminio, preparación de polímeros y retro lavado de filtros. Los demás procesos que son parte del proceso principal son totalmente manuales y no dependen totalmente de la operación, si no del diseño de la planta de tratamiento, por lo cual no serán estudiados.

## 5.1 Desarrollo de GEMMA para el Proceso de Preparación de Sulfato de Aluminio

El funcionamiento normal del proceso se describió con el diagrama de actividades de la Figura 3.22 y la red de Petri de la Figura 4.2, a partir de esta descripción se ha generado el GRAFCET de producción normal de primer nivel (descriptivo) y el GRAFCET de producción de segundo nivel (tecnológico), los cuales se describen en la Figura 5.1 y Figura 5.2, respectivamente.

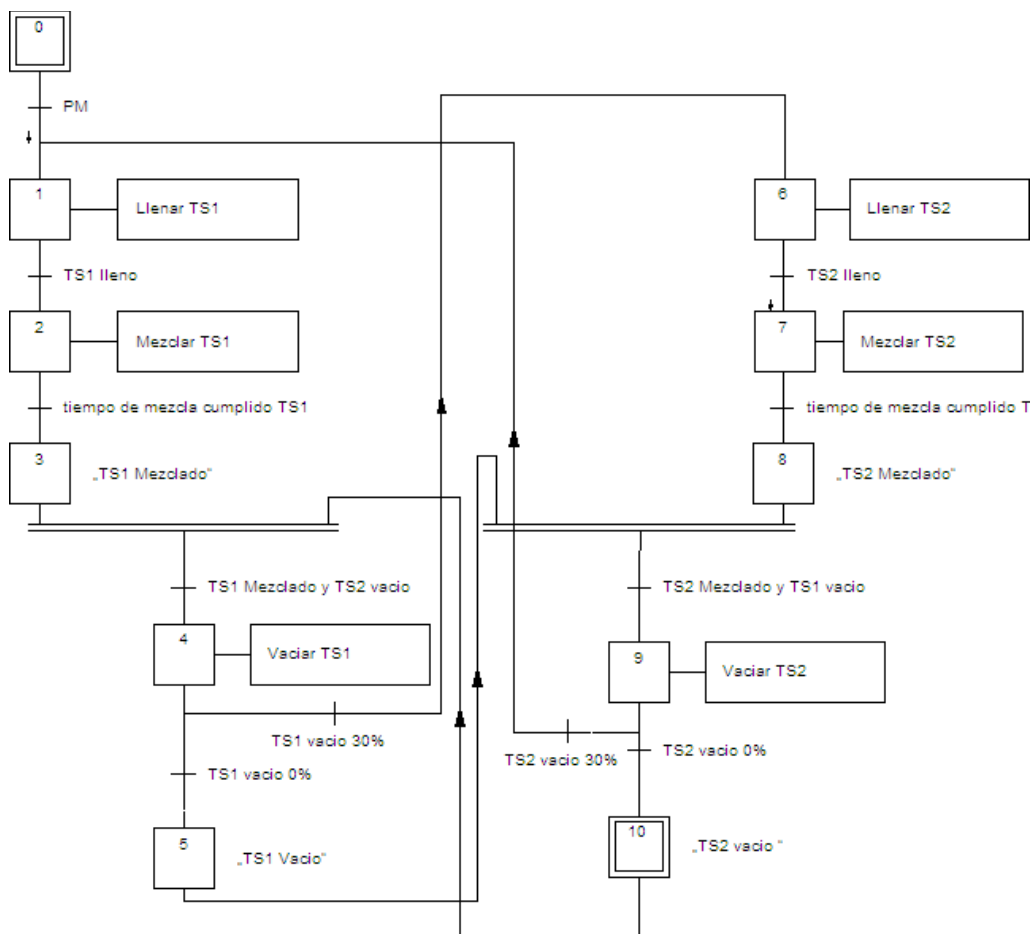
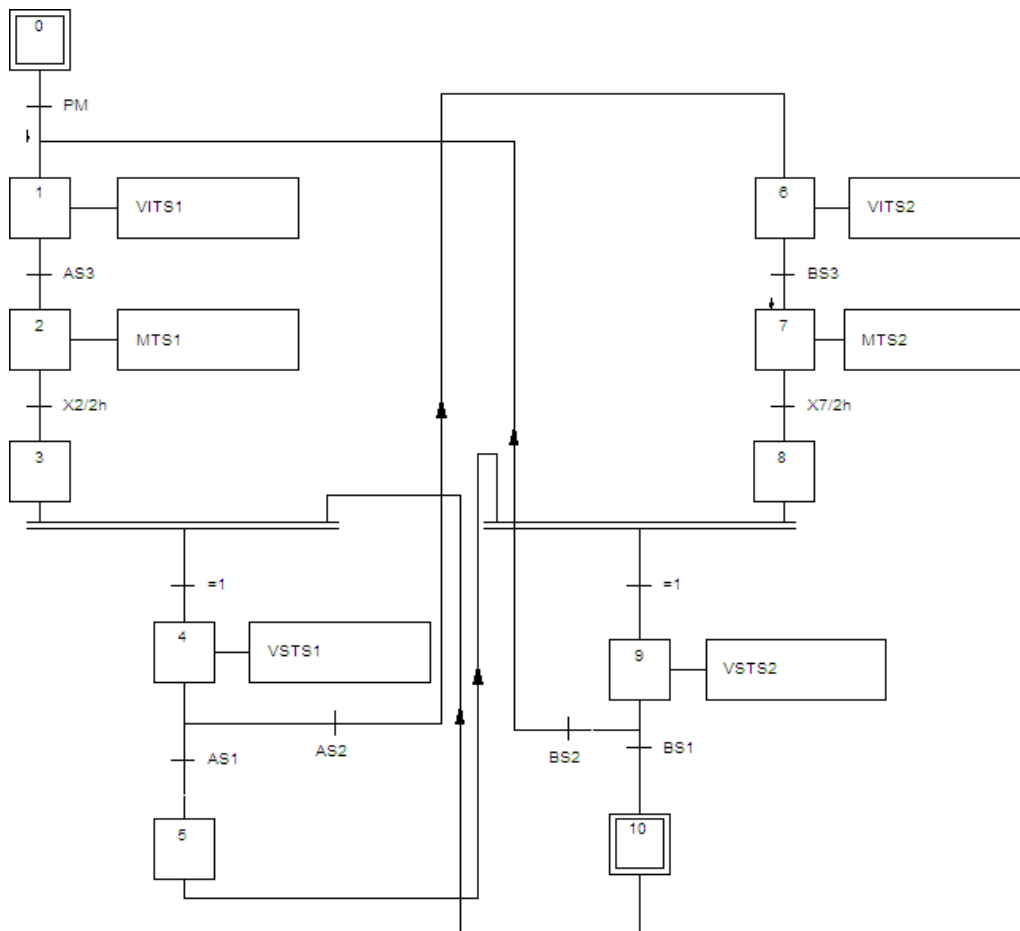


Figura 5.1 GRAFCET producción normal nivel 1 proceso de preparación de sulfato de aluminio

Fuente: Autor



**Figura 5.2** GRAFCET producción normal nivel 2 proceso de preparación de sulfato de aluminio

**Fuente:** Autor

Los estados funcionales propuestos de GEMMA son representados en la Figura 5.3.

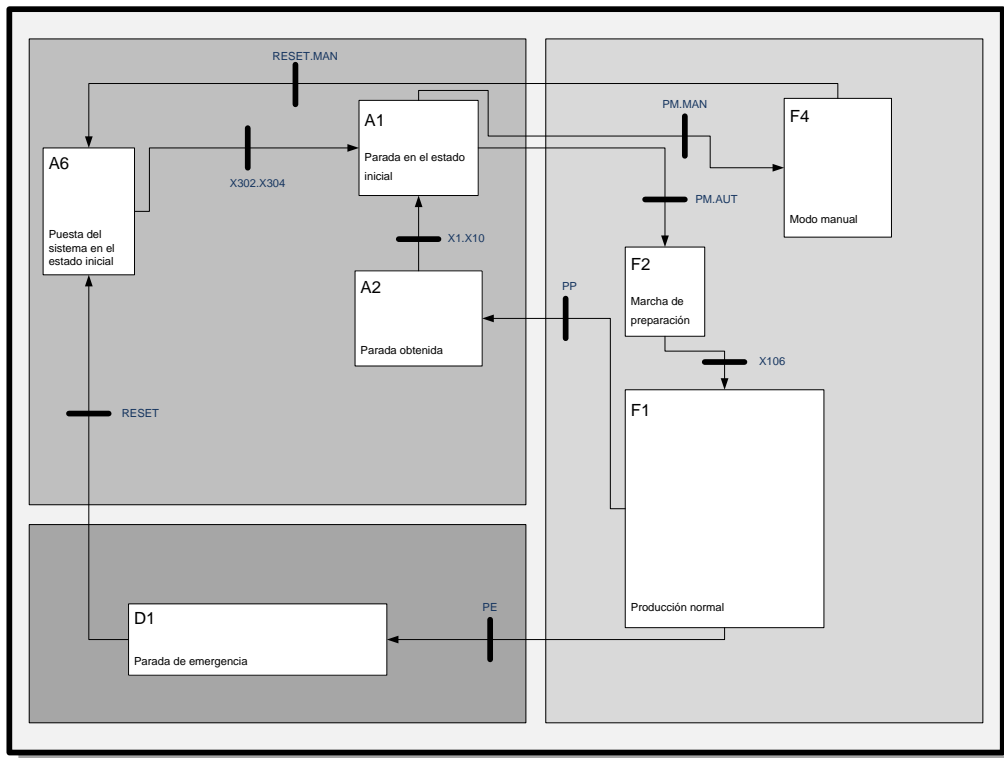


Figura 5.3 GEMMA del proceso de preparación de sulfato de aluminio

Fuente: Autor

### Estado A1

En este estado la máquina está lista para producir, ya sea en modo automático, estado F1, o manual estado F4. Es decir, en este estado los tanques están vacíos y las válvulas de ingreso y salida de los tanques están cerradas. El operador, mediante un pulsante de marcha y un selector de modo, podrá arrancar el proceso ya sea en automático o manual.

### **Estado A6**

La operación se realiza luego de que ha ocurrido un paro de emergencia y se ha pulsado reset o luego de la operación manual igualmente pulsando reset. En este estado se logran las condiciones iniciales de operación del proceso.

### **Estado F1**

Se corresponde con la operación en modo automático.

### **Estado F2**

En este estado el sistema se prepara para operar en modo automático es decir el tanque de sulfato 2 quedara vacío al 30% y el tanque de sulfato 1 vacío al 0%.

### **Estado F4**

Se realiza la operación manual del proceso sin seguir necesariamente la secuencia del modo automático. Operando los motores agitadores y las válvulas de modo manual.

### **Estado D1**

Mediante un pulsante de emergencia el estado D1 se puede alcanzar desde cualquier estado o subestado del GRAFCET principal del GEMMA de la Figura 5.3.

Los elementos que conforman el pupitre del operador para gestionar los modos de funcionamiento y para enviar las órdenes al proceso se describen en la Tabla 5.1

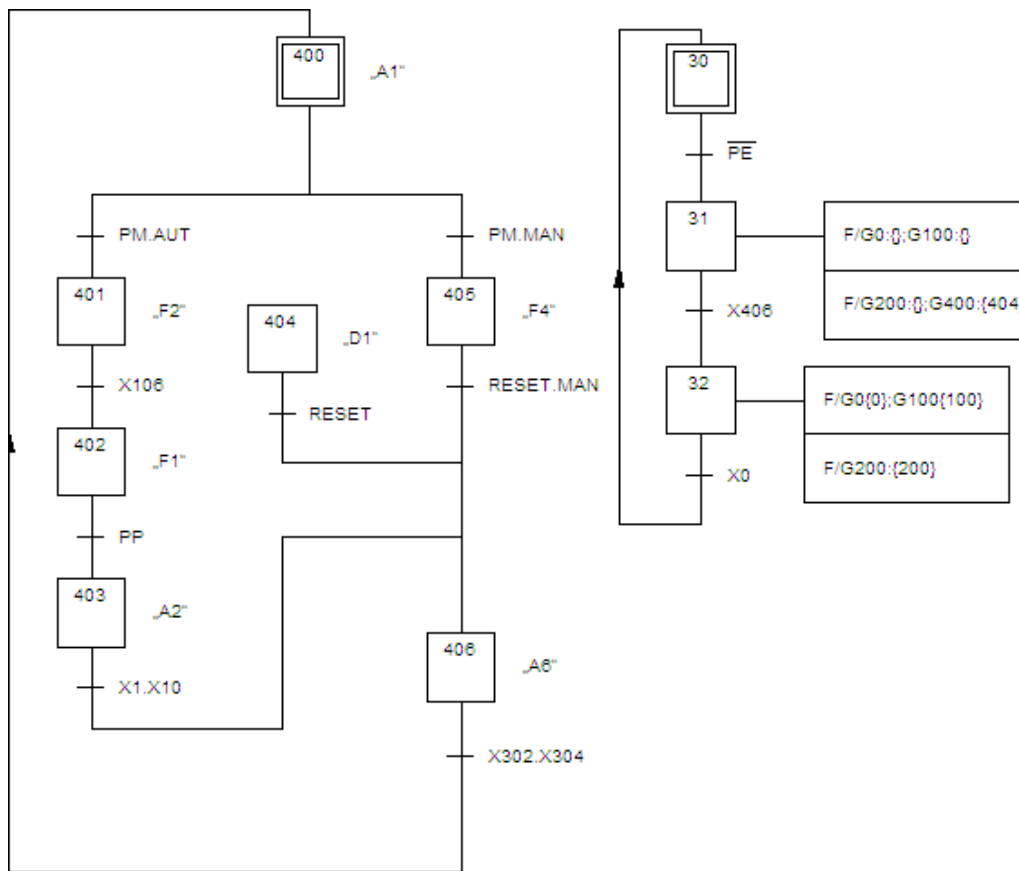
**Tabla 5.1** Elementos pupitre operador preparación sulfato de aluminio

<b>Tipo De Elemento</b>	<b>ENTRADA</b>	<b>Descripción</b>
Pulsador NC	PE	Parada de emergencia
Pulsador NA	RESET	Pulsador para el reset del proceso
Pulsador NA	PM	Pulsador de marcha
Pulsador NA	PP	Pulsador de parada
Conmutador	AUT/MAN	Selector modo automático/manual
Pulsador NA	MmMTS1	Modo manual motor TS1
Pulsador NA	MmMTS2	Modo manual motor TS2
Pulsador NA	MmVITS1	Modo manual válvula VITS1
Pulsador NA	MmVITS2	Modo manual válvula VITS2
Pulsador NA	MmVSTS1	Modo manual válvula VSTS1
Pulsador NA	MmVSTS2	Modo manual válvula VSTS2

**Fuente:** Autor

A partir de la GEMMA de la Figura 5.3, se han establecido los GRAFCETs de las tareas a cumplir para lograr los modos de operación del sistema.

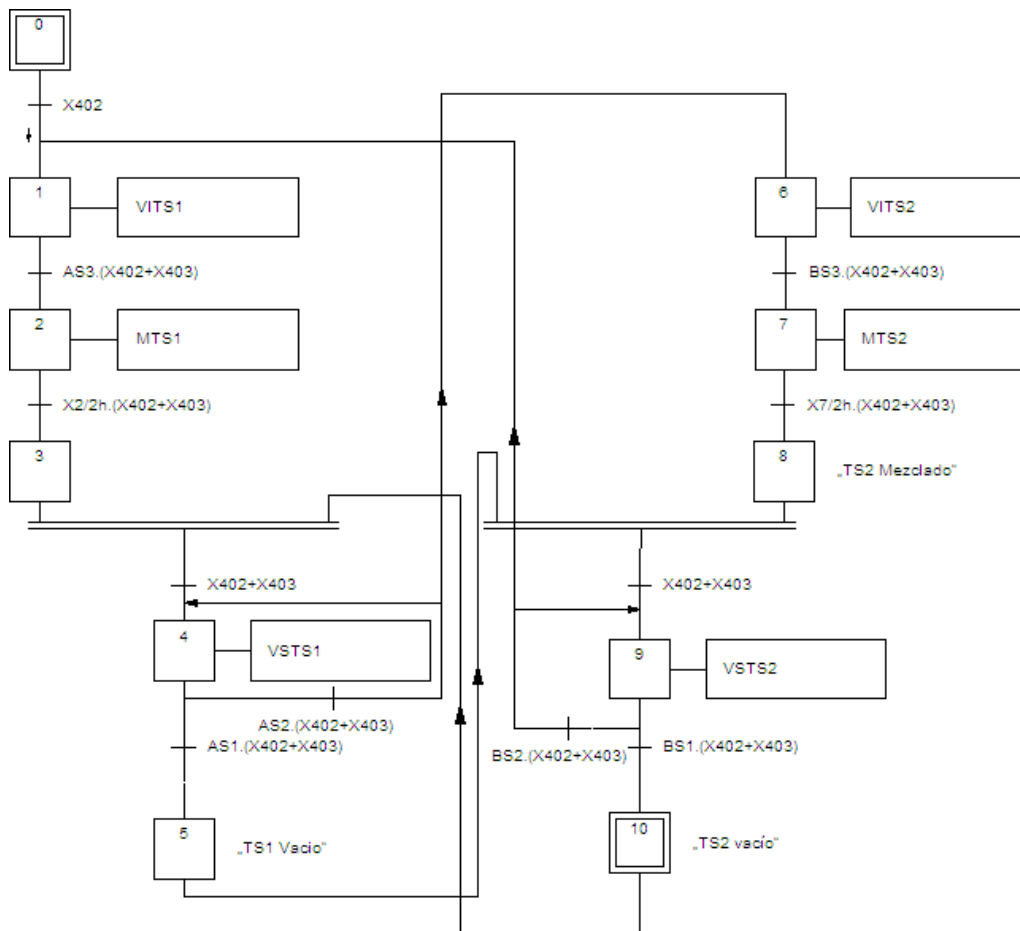
Mediante una coordinación horizontal, el GRAFCET maestro (G400) es el que realiza la coordinación de los modos de marcha y parada y el GRAFCET de seguridad (G30), ambos se representan en la Figura 5.4. En dicha figura se muestra la evolución de los estados del sistema, por ejemplo el estado inicial 400 se corresponde con el estado inicial del sistema A1 de la guía GEMMA, así como también las transiciones asociadas a los cambios de estado por la operación del sistema.



**Figura 5.4** GRAFCET maestro y de seguridad proceso preparación de sulfato de aluminio

**Fuente:** Autor

El GRAFCET de producción normal en modo automático (G0) se corresponde con el de la Figura 5.5, la diferencia con el GRAFCET de producción normal nivel 2 de la Figura 5.2 radica en que las receptividades de las transiciones están asociadas a los estados de operación del sistema, es decir ahora esta sincronizado con los GRAFCETs de la Figura 5.4, por ejemplo X404 se refiere a que el estado 404 del GRAFCET G400 está activo.

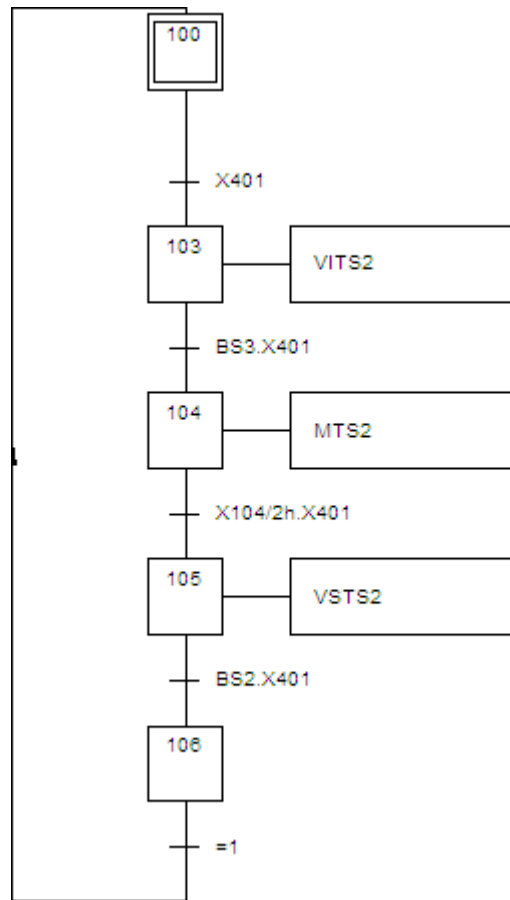


**Figura 5.5** GRAFCET G0 de producción normal controlado por G400 y G30 del proceso de preparación de sulfato de aluminio

**Fuente:** Autor

El GRAFCET de la Figura 5.6, corresponde a la marcha de preparación del sistema para funcionar en modo automático, estado F2 de GEMMA, es decir el tanque de sulfato 2 vacío al 30%.

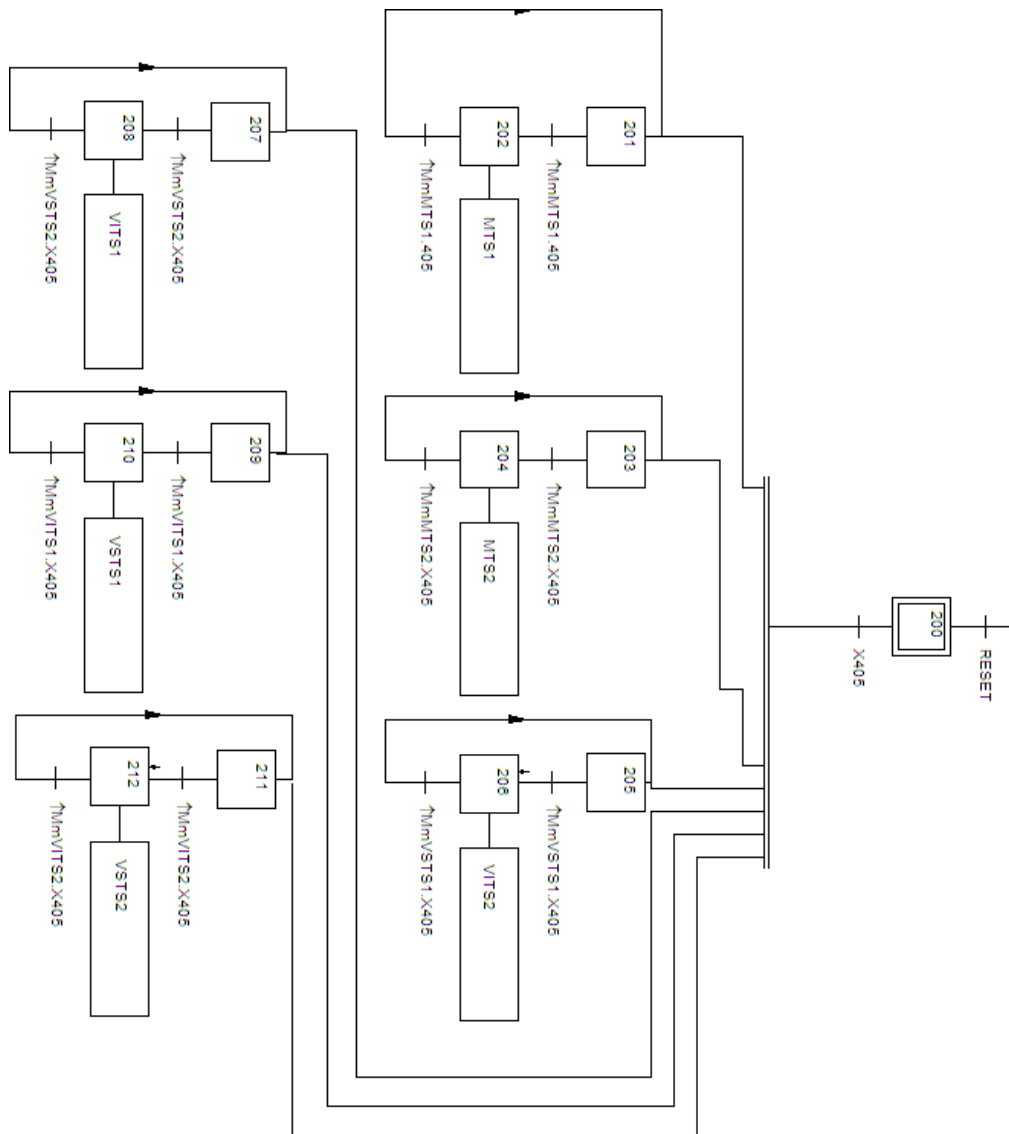




**Figura 5.6** GRAFCET G100 puesta del sistema en marcha de preparación del proceso de preparación de sulfato de aluminio

**Fuente:** Autor

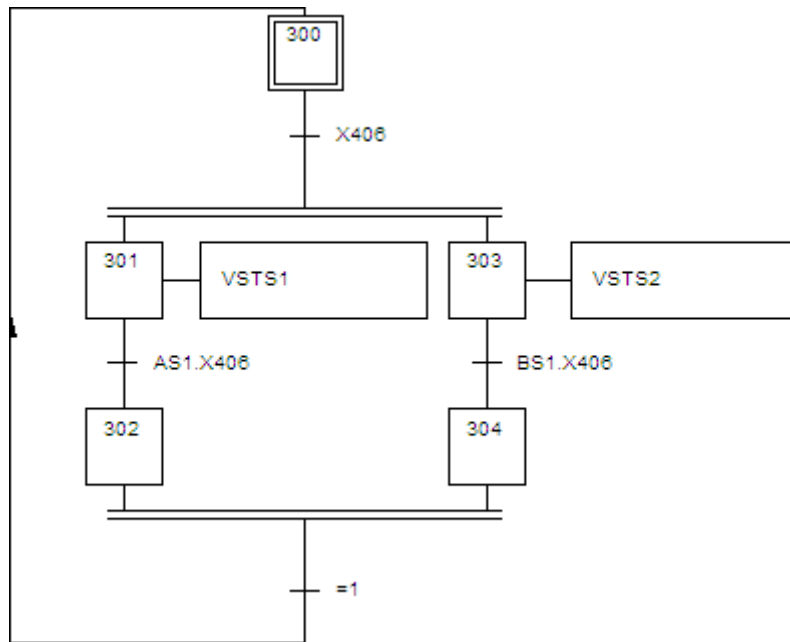
Los GRAFCET del estado de operación manual del proceso se ven en la Figura 5.7 y se puede operar las válvulas y motores manualmente.



**Figura 5.7** GRAFCET G200 producción en modo manual del proceso de preparación de sulfato de aluminio

**Fuente:** Autor

El GRAFCET donde se buscan las condiciones iniciales correspondientes al modo A6 de GEMMA se puede ver en la Figura 5.8.



**Figura 5.8** GRAFCET de preparación de condiciones iniciales del proceso de preparación de sulfato de aluminio

**Fuente:** Autor

## 5.2 Desarrollo de GEMMA para el Proceso de Preparación de Polímeros

De manera similar al proceso de preparación de sulfato de aluminio, el funcionamiento normal del proceso se describió con el diagrama de actividades de la Figura 3.25 y la red de Petri de la Figura 4.4, a partir de esta descripción se ha generado el GRAFCET de producción normal de primer nivel (descriptivo) y el GRAFCET de producción de segundo nivel (tecnológico), los cuales se describen en la Figura 5.9, Figura 5.10.

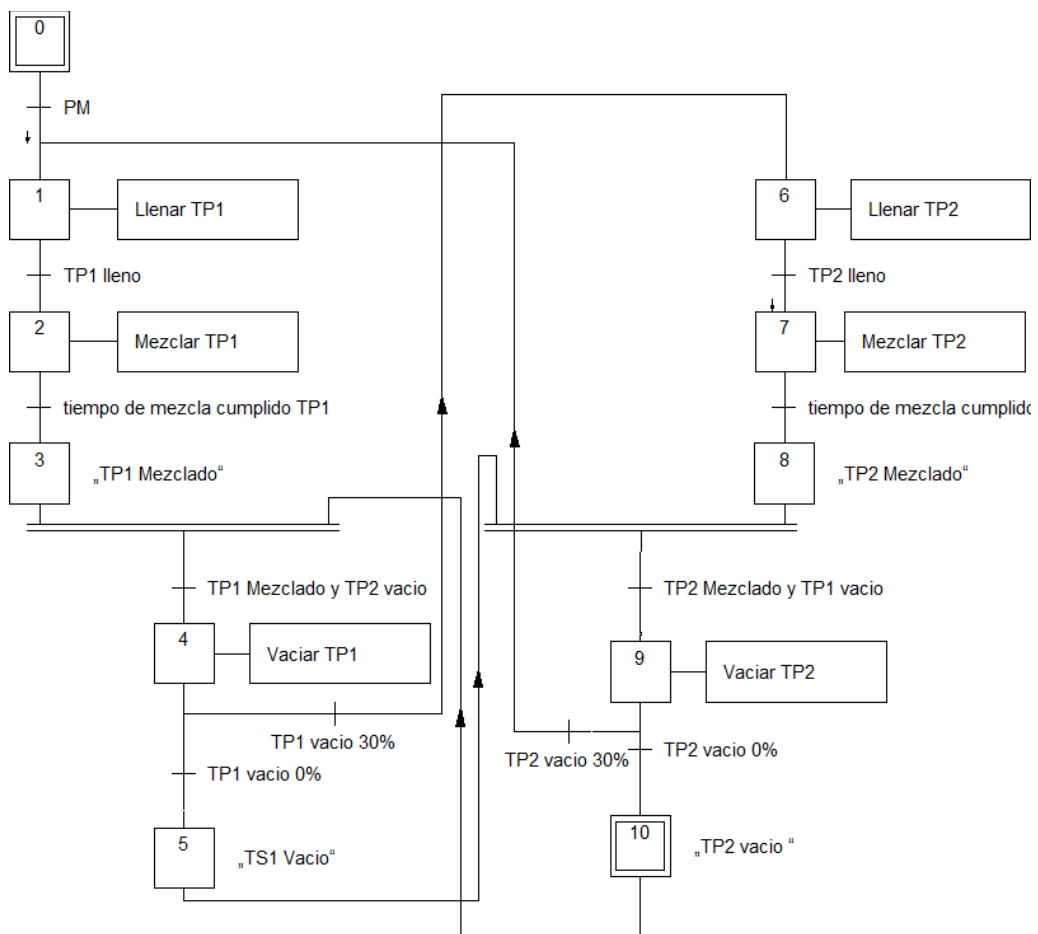
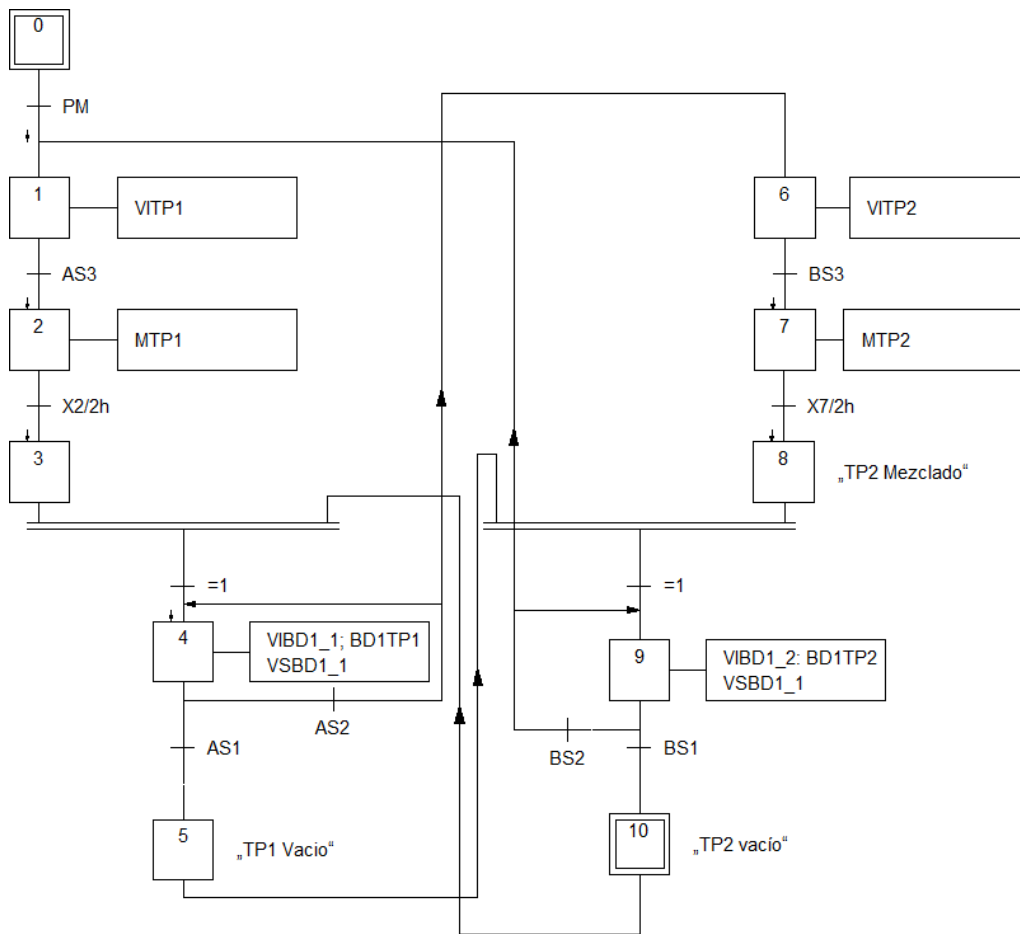


Figura 5.9 GRAFCET producción normal nivel 1 proceso de preparación de polímero

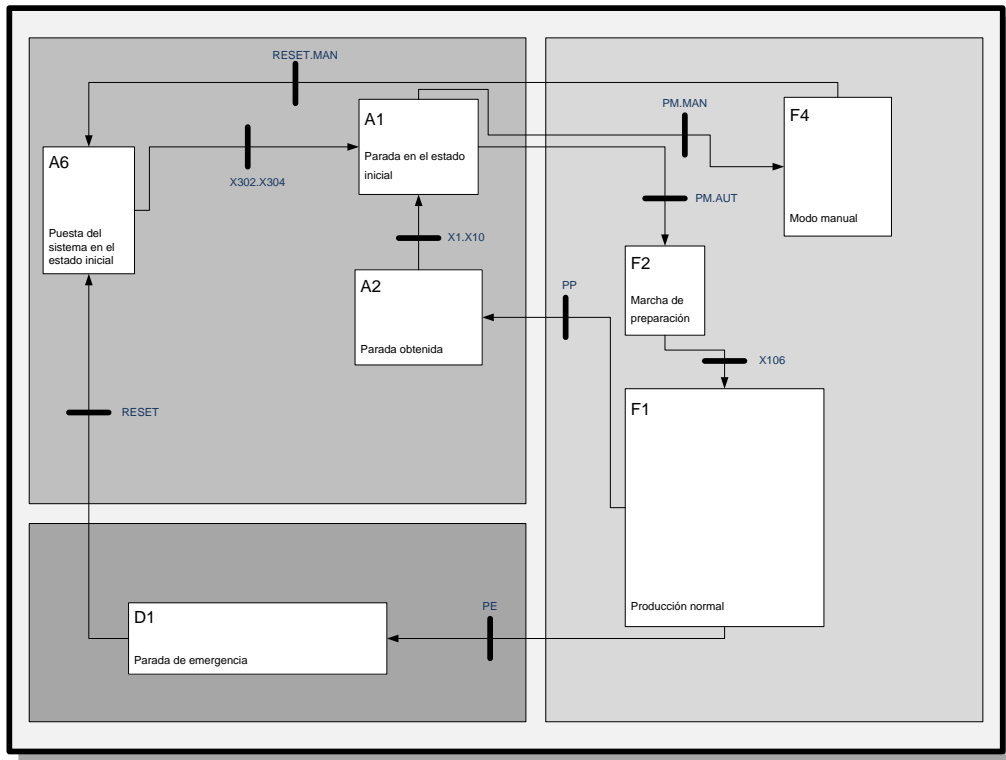
Fuente: Autor



**Figura 5.10** GRAFCET producción normal nivel 2 proceso de preparación de polímero

**Fuente:** Autor

Los estados propuestos de GEMMA y representados en la Figura 5.11 son los siguientes.



**Figura 5.11** GEMMA del proceso de preparación de polímero

**Fuente:** Autor

### Estado A1.

En este estado la maquina esta lista para producir ya sea en modo automático, estado F1, o manual, estado F4. Es decir en este estado los tanques están vacíos y las válvulas de ingreso y salida de los tanques cerradas, además los motores de las bombas dosificadoras apagados. El operador mediante un pulsante de marcha y un selector de modo podrá arrancar el proceso ya sea en automático o manual.

### **Estado A6**

La operación se realiza luego de que ha ocurrido un paro de emergencia y se ha pulsado reset o luego de la operación manual igualmente pulsando reset. En este estado se logran las condiciones iniciales de operación del proceso.

### **Estado F1**

Se corresponde con la operación en modo automático.

### **Estado F2**

En este estado el sistema se prepara para operar en modo automático es decir el tanque de polímero 2 quedara vacío al 30% y el tanque de polímero 1 vacío al 0%.

### **Estado F4**

Se realiza la operación manual del proceso sin seguir necesariamente la secuencia del modo automático. Operando los motores agitadores, motores de bombas dosificadoras y las válvulas de modo manual.

### **Estado D1**

Mediante un pulsante de emergencia el estado D1 se puede alcanzar desde cualquier estado o subestado del GRAFCET principal del GEMMA de la Figura 5.11.

Los elementos que conforman el pupitre del operador para gestionar los modos de funcionamiento y para enviar las órdenes al proceso se describen en la Tabla 5.2.

**Tabla 5.2 Elementos pupitre operador preparación de polímero**

<b>Tipo De Elemento</b>	<b>ENTRADA</b>	<b>Descripción</b>
Pulsador NC	PE	Parada de emergencia
Pulsador NA	RESET	Pulsador para el reset del proceso
Pulsador NA	PM	Pulsador de marcha
Pulsador NA	PP	Pulsador de parada
Conmutador	AUT/MAN	Selector modo automático/manual
Pulsador NA	MmMTP1	Modo manual motor TP1
Pulsador NA	MmMTP2	Modo manual motor TP2
Pulsador NA	MmVITP1	Modo manual válvula VITP1
Pulsador NA	MmVITP2	Modo manual válvula VITP2
Pulsador NA	MmVIBD1_1	Modo manual válvula VIBD1_1
Pulsador NA	MmVIBD1_2	Modo manual válvula VIBD1_1
Pulsador NA	MmBD1TP1	Modo manual bomba dosificadora TP1
Pulsador NA	MmBD1TP2	Modo manual bomba dosificadora TP2
Pulsador NA	MmVSBD1_1	Modo manual válvula VSBD1_1
Pulsador NA	MmVSBD1_2	Modo manual válvula VSBD1_1

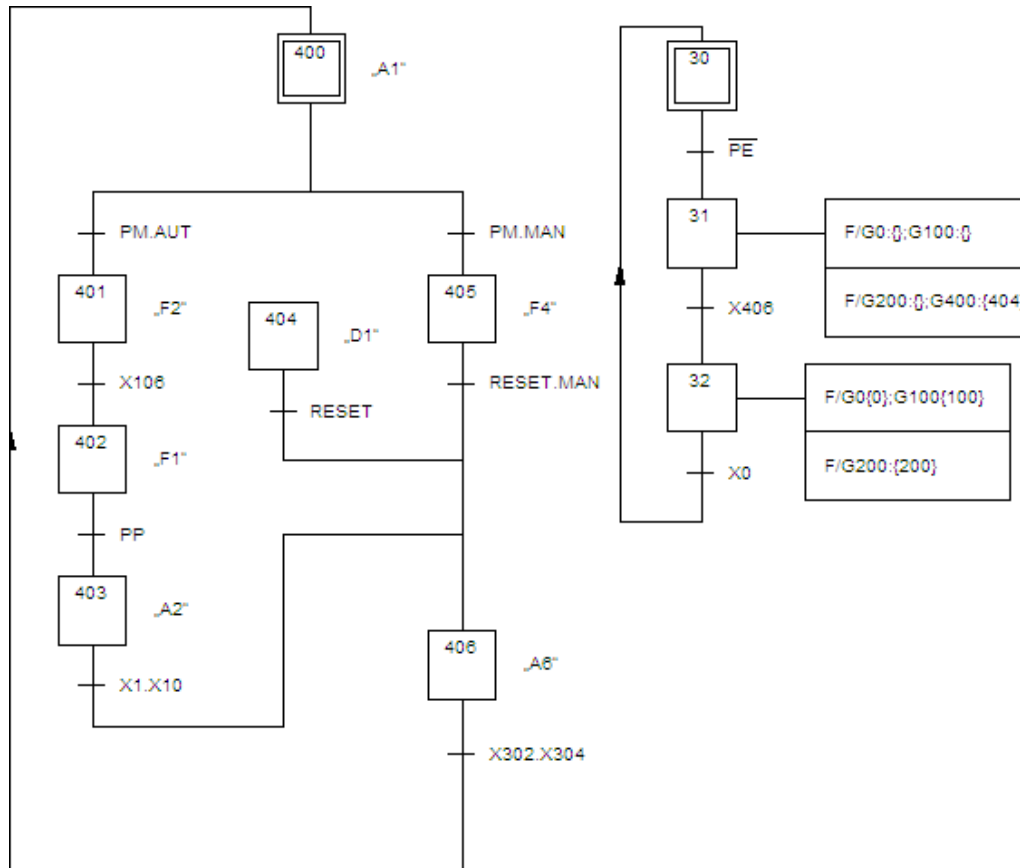
**Fuente:** Autor

A partir de la GEMMA de la Figura 5.11, se han establecido los GRAFCETs de las tareas a cumplir para lograr los modos de operación del sistema, mediante una coordinación horizontal.

El GRAFCET maestro (G400) es el que realiza la coordinación de los modos de marcha y parada y el GRAFCET de seguridad (G30), se corresponden con la Figura 5.12. En los cuales se muestra la evolución de los estados del sistema, por ejemplo el estado inicial 400 se corresponde con el estado inicial del sistema A1 de la guía



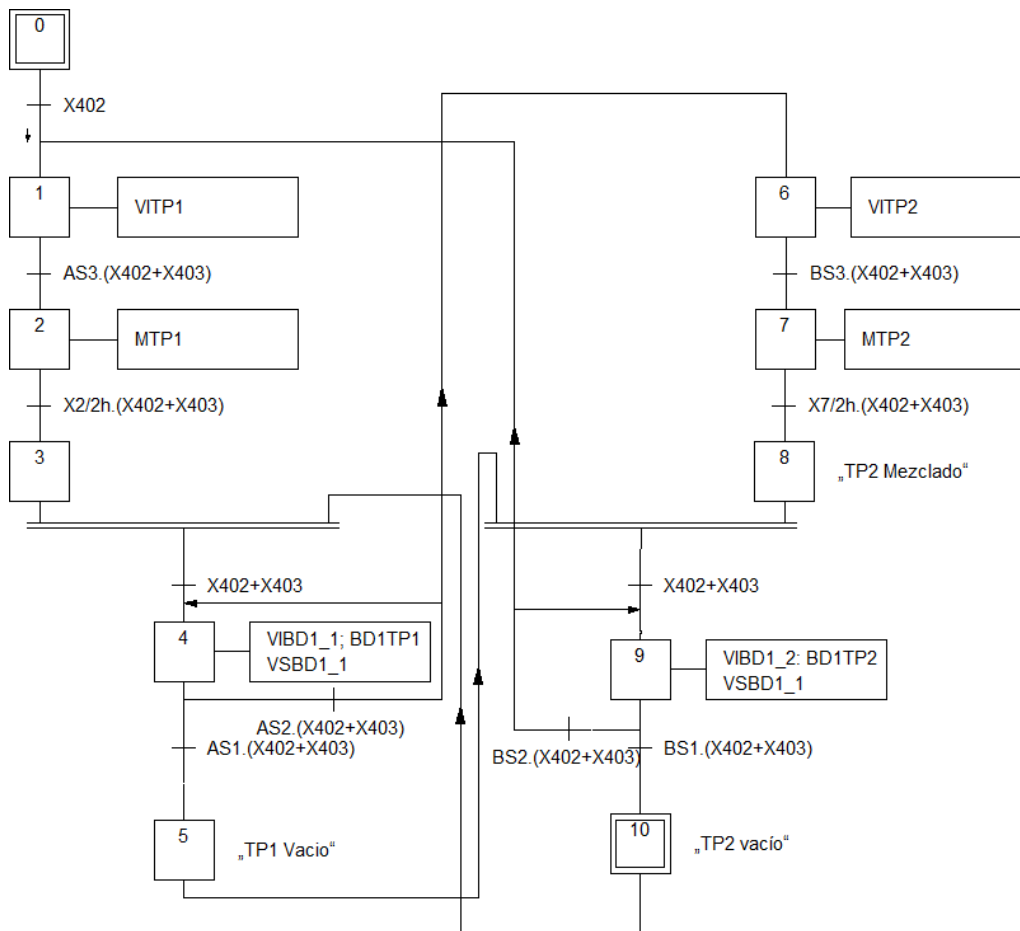
GEMMA, así como también las transiciones asociadas a los cambios de estado por la operación del sistema.



**Figura 5.12** GRAFCET maestro y de seguridad proceso preparación de polímero

**Fuente:** Autor

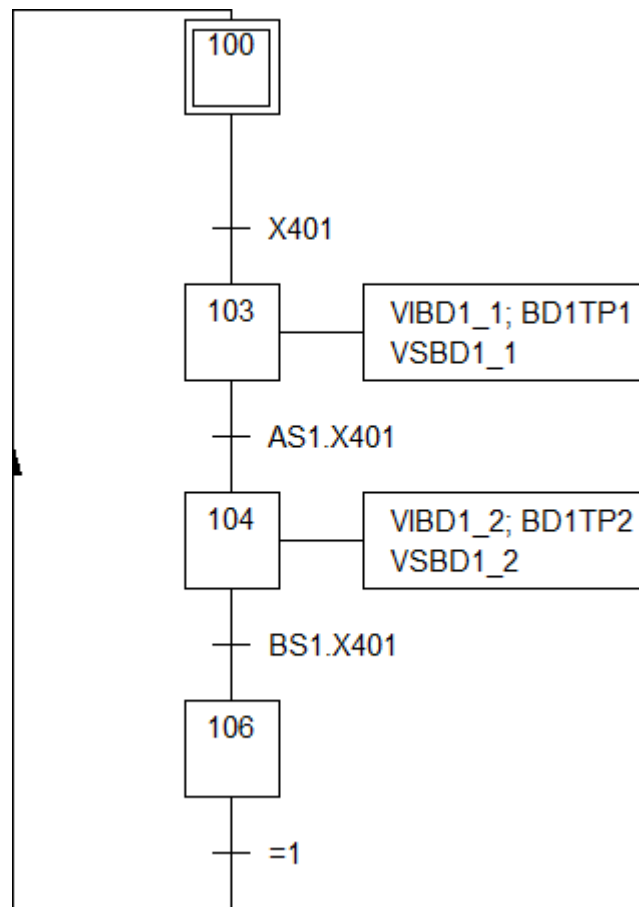
El GRAFCET de producción normal en modo automático (G0) se corresponde con el de la Figura 5.13, la diferencia con el GRAFCET de producción normal nivel 2 de la Figura 5.10 radica en que las receptividades están asociadas a los estados de operación del sistema.



**Figura 5.13** GRAFCET G0 de producción normal controlado por G400 y G30 del proceso de preparación de polímero

**Fuente:** Autor

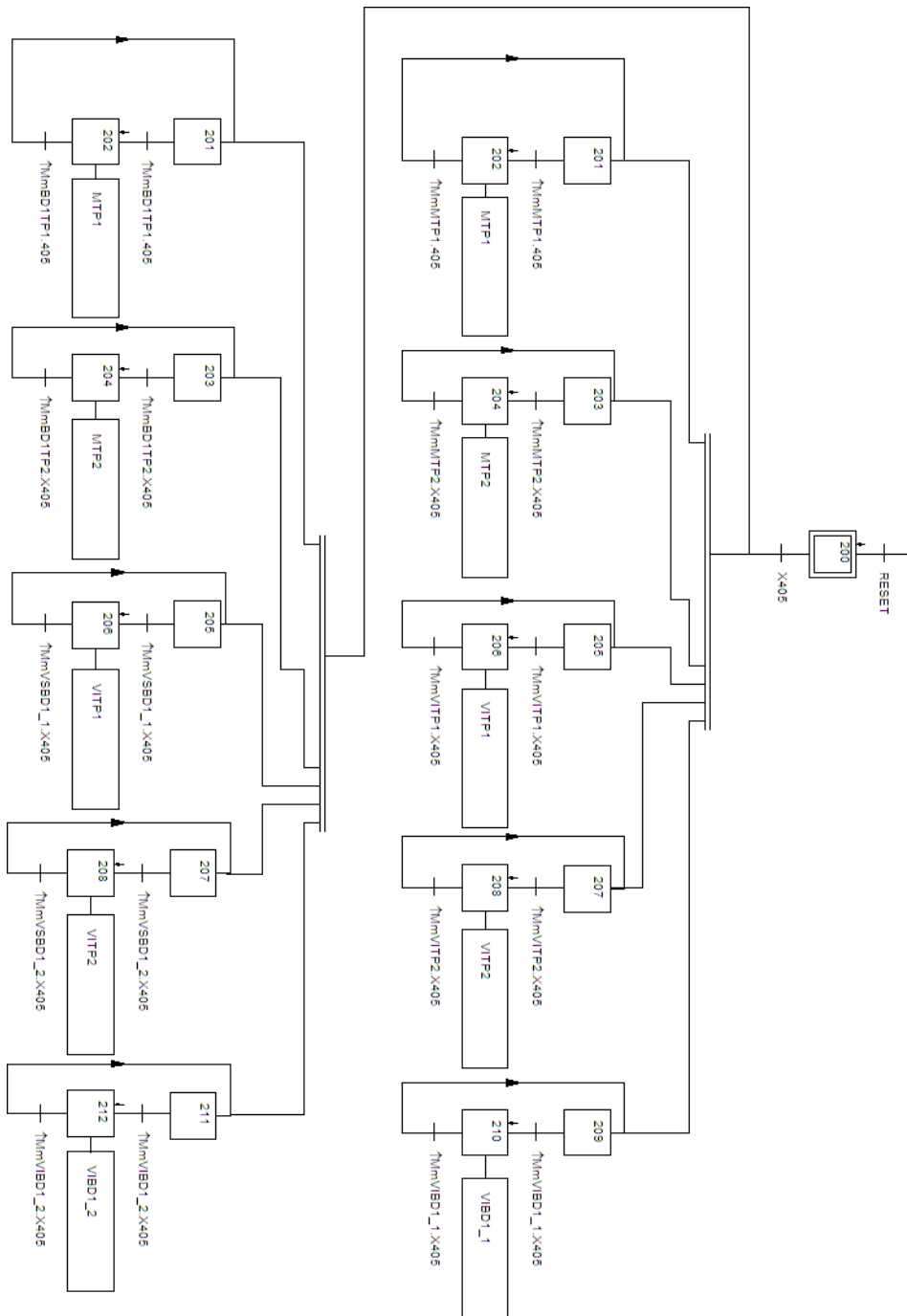
El GRAFCET de la Figura 5.14, corresponde a la marcha de preparación del sistema para funcionar en modo automático, es decir el tanque de polímero 2 vacío al 30%.



**Figura 5.14** GRAFCET G100 puesta del sistema en marcha de preparación del proceso de preparación de polímero

**Fuente:** Autor

Los GRAFCETs de operación manual del proceso se ven en la Figura 5.15, y se puede operar las válvulas y motores manualmente.



**Figura 5.15** GRAFCET G200 producción en modo manual del proceso de preparación de polímero

Fuente: Autor

El GRAFCET donde se buscan las condiciones iniciales correspondientes al modo A6 de GEMMA se puede ver en la figura Figura 5.16.

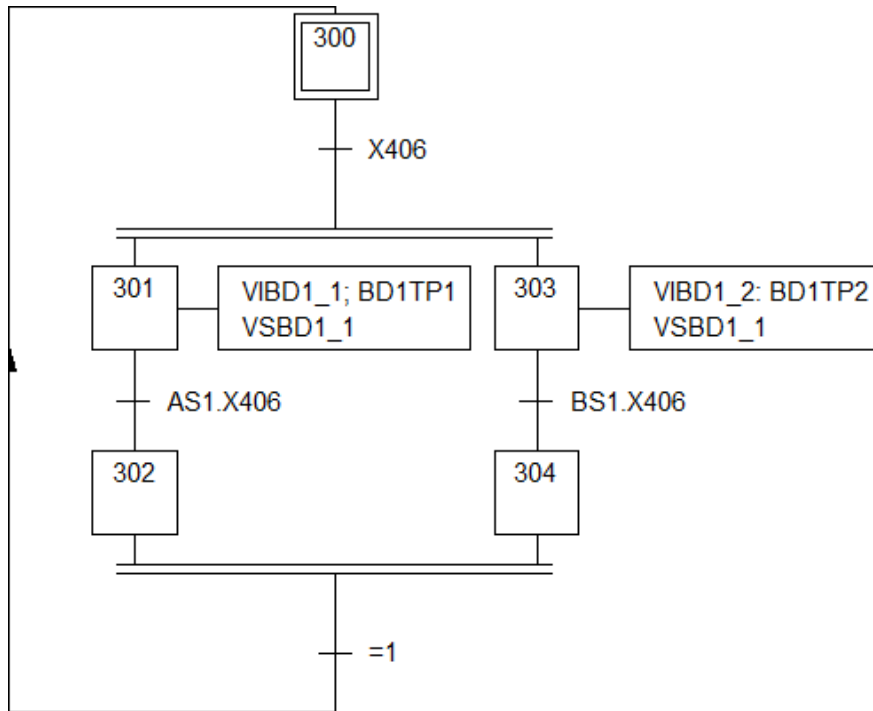


Figura 5.16 GRAFCET de preparación de condiciones iniciales del proceso de preparación de polímero

Fuente: Autor

### 5.3 Desarrollo de GEMMA para el Proceso de Lavado de Filtros

Mediante redes de Petri en la sección 4.3 se calculó el supervisor para el proceso de lavado de filtros el cual garantiza la utilización del recurso por un solo filtro a la vez, mientras que si otro lo necesita tendría que esperar a que el recurso quede libre. Para implementar el esquema de asignación descrito por redes de Petri de la Figura 4.6, nos guiamos en el método propuesto por (Music & Matko, 1998), en el cual se propone una descomposición de la red de Petri en varios GRAFCET; siendo uno de ellos el que corresponde al supervisor del proceso, el cual soluciona el problema de que dos o más actores soliciten un recurso al mismo tiempo, mediante una exclusión mutua. Aplicando el método descrito se ha convertido la red de Petri del proceso controlado, en 4 GRAFCETs que corresponden al funcionamiento normal, como se indica en la

Figura 5.17, y un GRAFCET que corresponde al supervisor del proceso y se describe en la Figura 5.18, con la receptividad de las transiciones que participan en la reserva del recurso.

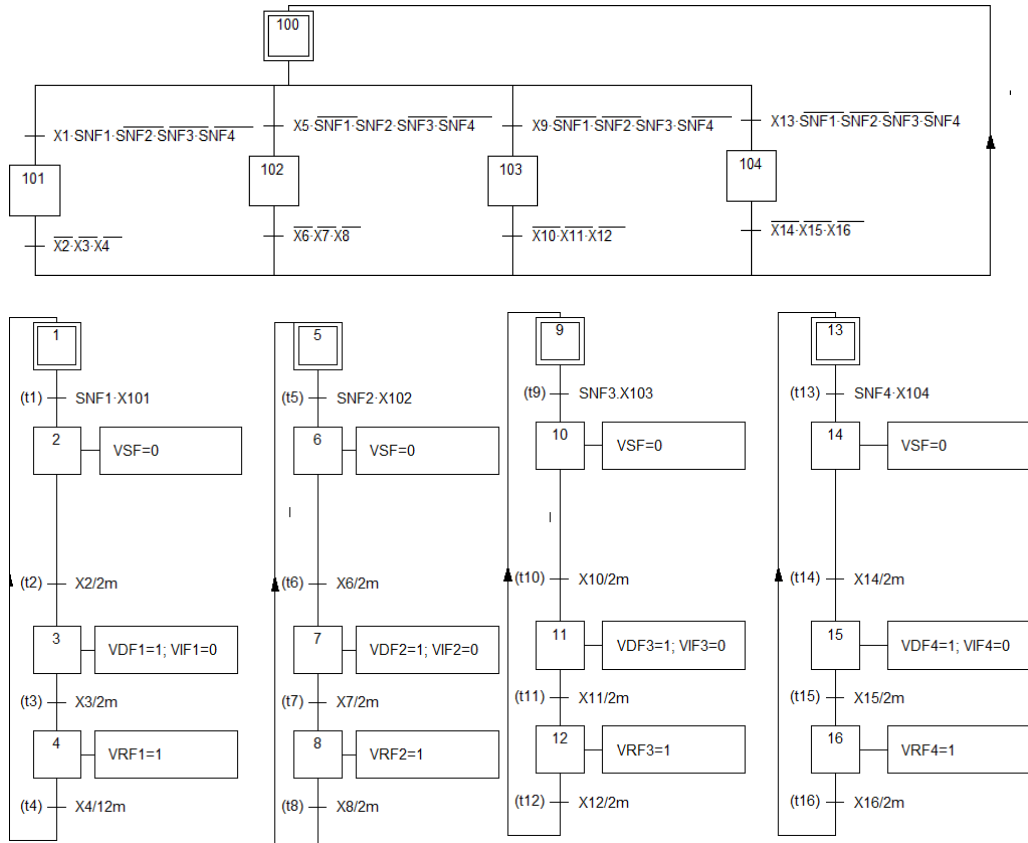


Figura 5.17 GRAFCET de funcionamiento normal del proceso de lavado de filtros

Fuente: Autor

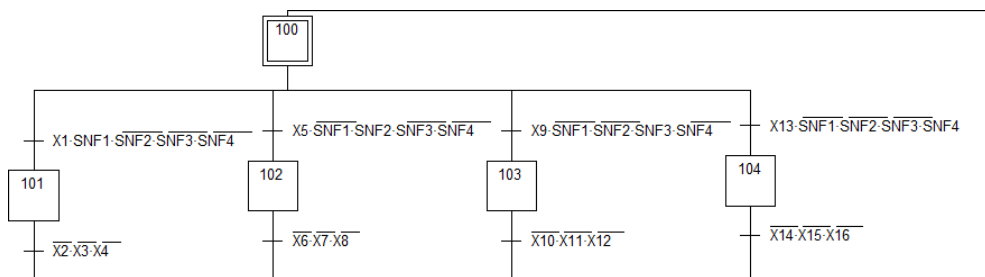
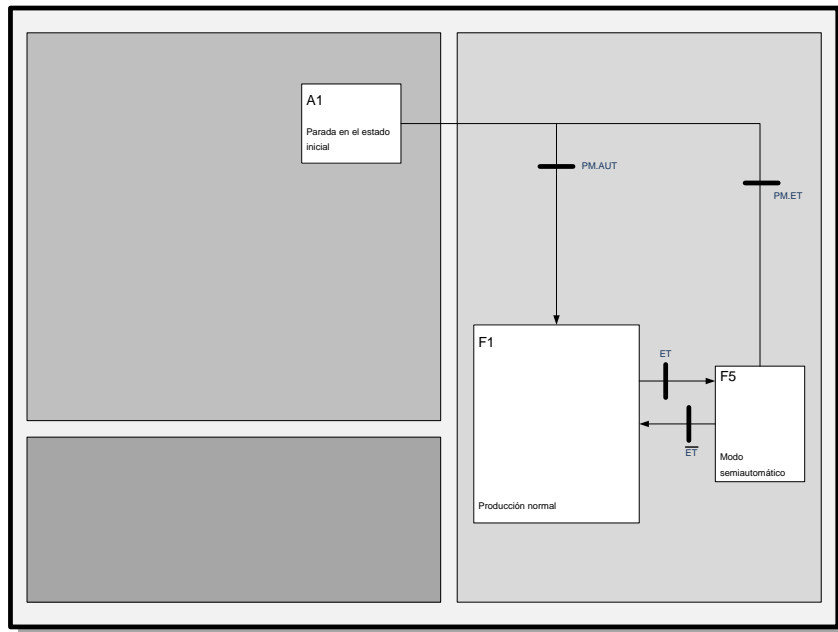


Figura 5.18 GRAFCET del supervisor del proceso de lavado de filtros

Fuente: Autor

En los GRAFCETs de la Figura 5.17 se observa que la receptividad de las transiciones correspondientes a los estados 1, 5,9 y 13, están asociadas con los estados del GRAFCET de la Figura 5.18, y con los lugares y transiciones de la red de Petri de la Figura 4.6, donde, por ejemplo, t1 corresponde a la condición de la transición t1 de la red de Petri y es que el sensor de nivel del filtro 1 este activo (SNF1=1). Las condiciones X101, X102, X103, X104 son las correspondientes a la activación de los estados 101, 102, 103, 104 de la Figura 5.18.

Con el modelo del proceso representado por los GRAFCETs de la Figura 5.17, procedemos a proponer mediante la guía GEMMA los estados de operación del proceso de lavado de filtros los cuales son representados en la Figura 5.19, donde se requiere que el proceso de lavado trabaje en modo semiautomático y automático, para lo cual se cuenta con un selector de dos posiciones AUT/ET y un pulsante de marcha PM. El operador podrá elegir en el modo semiautomático que filtro lavar mediante los pulsantes establecidos para cada filtro que son PF1, PF2, PF3, PF4; mientras que el modo automático el sistema escogerá el filtro a lavar mediante los sensores de nivel con los que cuenta cada filtro.



**Figura 5.19** GEMMA del proceso de lavado de filtros

**Fuente:** Autor

Para obtener los estados de operación establecidos en GEMMA se propone enriquecer el GRAFCET de producción normal de la Figura 5.17, y además se construye un GRAFCET adicional que contempla los estados de operación necesarios para el lavado del filtro. Los detalles de los GRAFCETs se muestran en la Figura 5.20.

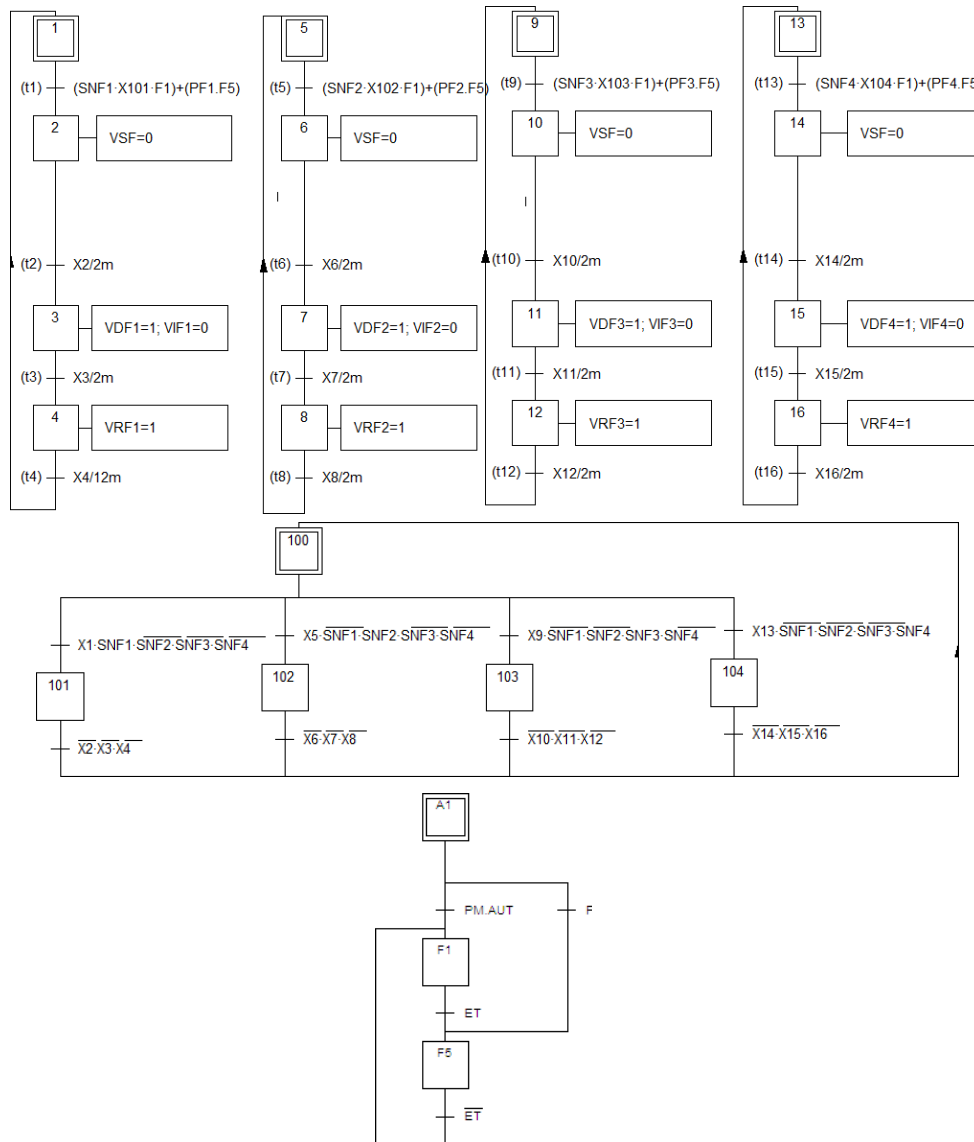


Figura 5.20 GRAFCET enriquecido del proceso de lavado de filtros

Fuente: Autor



## 5.4 Simulación de Funcionamiento de GEMMA de los Procesos

Para validar los modelos de los procesos se hace necesaria una simulación de los mismos, por lo que en este trabajo se ha decidido simular el proceso de preparación de sulfato de aluminio y el proceso de lavado de los filtros.

Para la simulación de los GRAFCET finales de los procesos se usó el software RSLogix Emulate 5000, que provee herramientas de configuración y programación de acuerdo al estándar IEC-61-131 el cual incluye diagramas de funciones secuenciales (SFC) que es el lenguaje estándar para programar GRAFCET.

Además para poder emular el proceso físico se usó el software Factory Talk View Studio, que permite programar las interfaces hombre maquina (HMI) y poder ver la dinámica de las variables del proceso incluidas en el PLC.

En RSLogix 5000 se emula un controlador Logix 5000 para probar los GRAFCET de los modelos obtenidos en la sección anterior. El PLC es configurado en un chasis virtual que además incluye un módulo de comunicación que emula la comunicación con el servidor HMI (Interfaz Hombre Máquina) de Factory Talk. La figura 5.21 muestra en el slot 2 del chasis el PLC virtual, además en el slot 8 se encuentra el módulo de comunicaciones virtual.

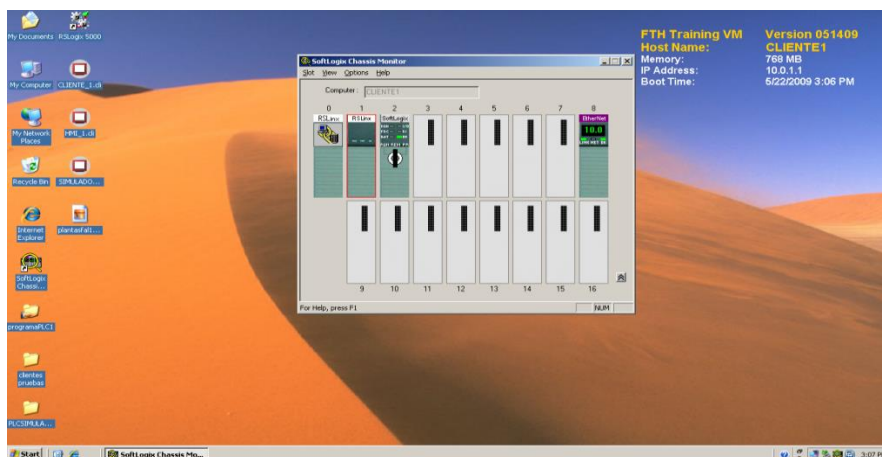


Figura 5.21 Chasis Virtual SoftLogix

Fuente: Autor

Parte del GRAFCET de funcionamiento del sistema de preparación de sulfato de aluminio en modo automático se observa en la Figura 5.22 el cual ha sido programado en el software RSLogix 5000 y cargado en el PLC virtual, verificando su funcionamiento con dicho software.

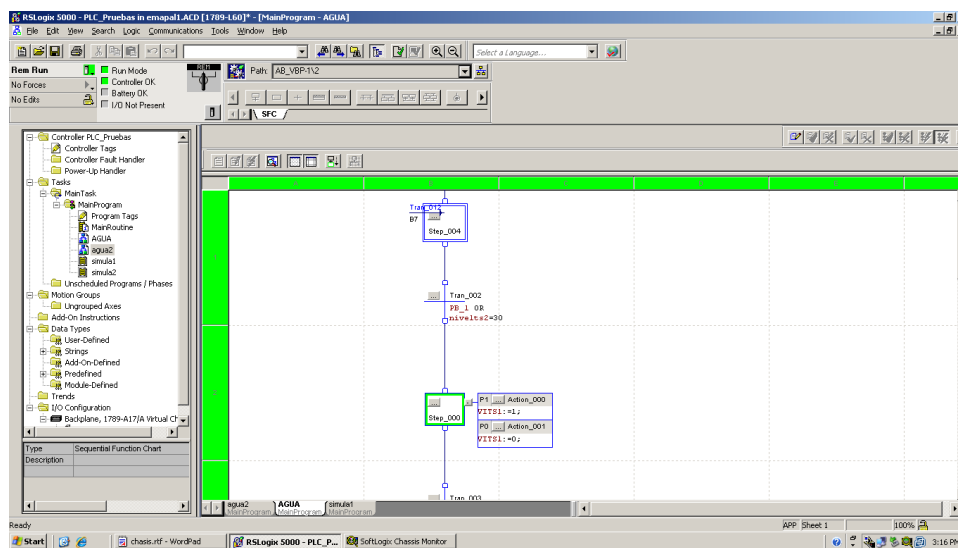


Figura 5.22 GRAFCET G0 modo automático preparación sulfato aluminio

Fuente: Autor

Se ha programado un HMI donde se puede apreciar la dinámica del proceso, el cual cuenta con los botones necesarios para trabajar en los distintos modos de operación que se desarrollaron con la guía GEMMA para el proceso de preparación de sulfato de aluminio lo cual se describe en la Figura 5.23.

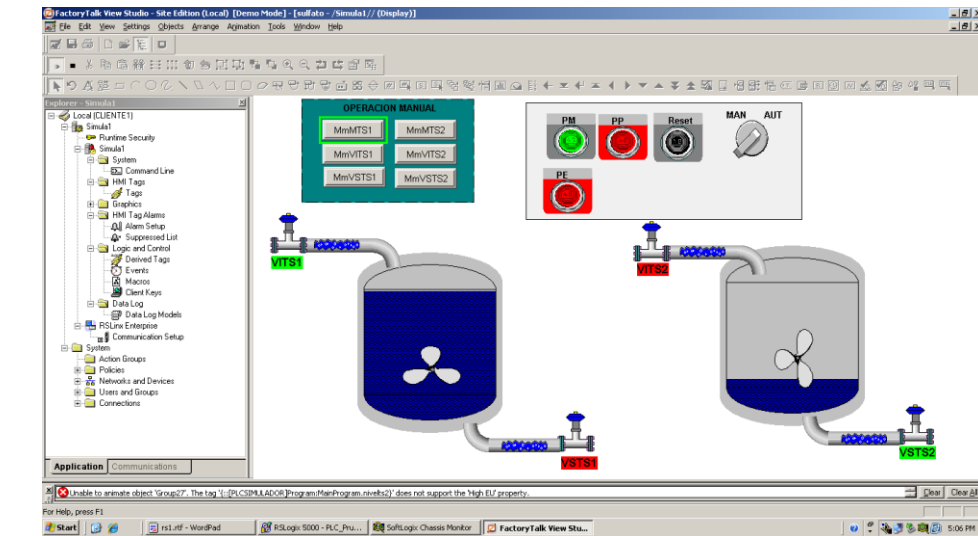


Figura 5.23 HMI del proceso de preparación de sulfato de aluminio

Fuente: Autor

Para el proceso de lavado de filtros se programaron los GRAFCETs enriquecidos finales en el software RSLogix los cuales se cargaron en el PLC virtual para la validación de su funcionamiento, estos se muestran en las siguientes figuras.

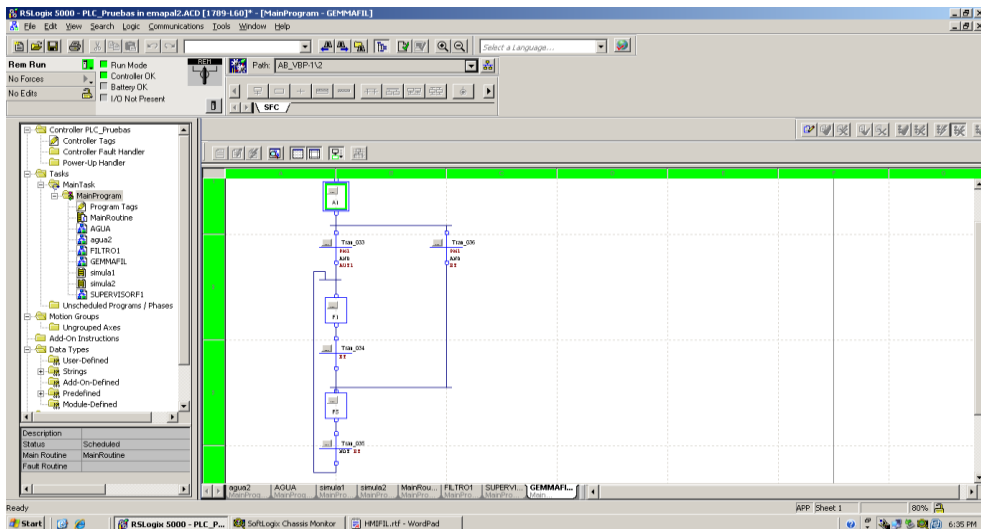


Figura 5.24 Simulación del GRAFCET correspondiente al GEMMA de lavado de filtros

Fuente: Autor

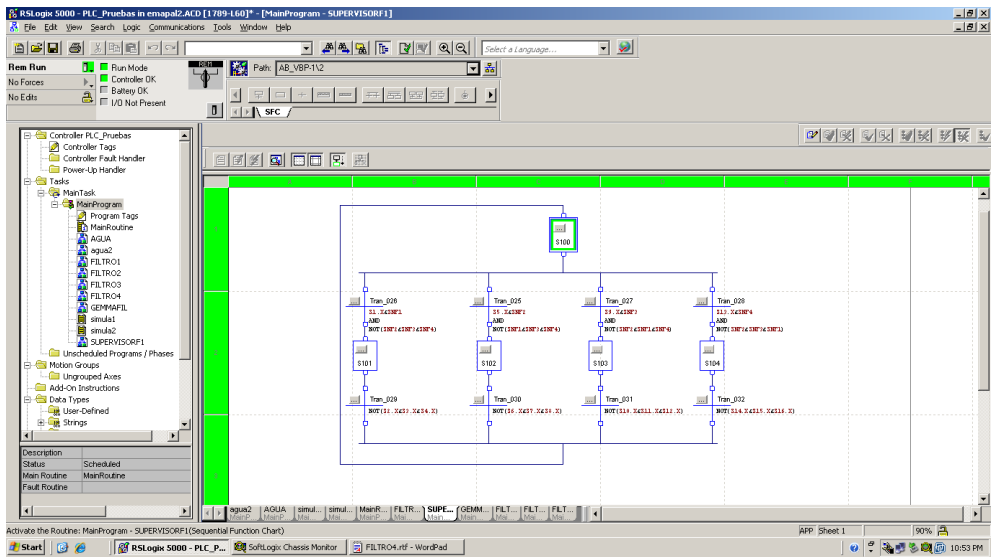


Figura 5.25 Simulación del GRAFCET correspondiente al supervisor de lavado de Filtros

Fuente: Autor

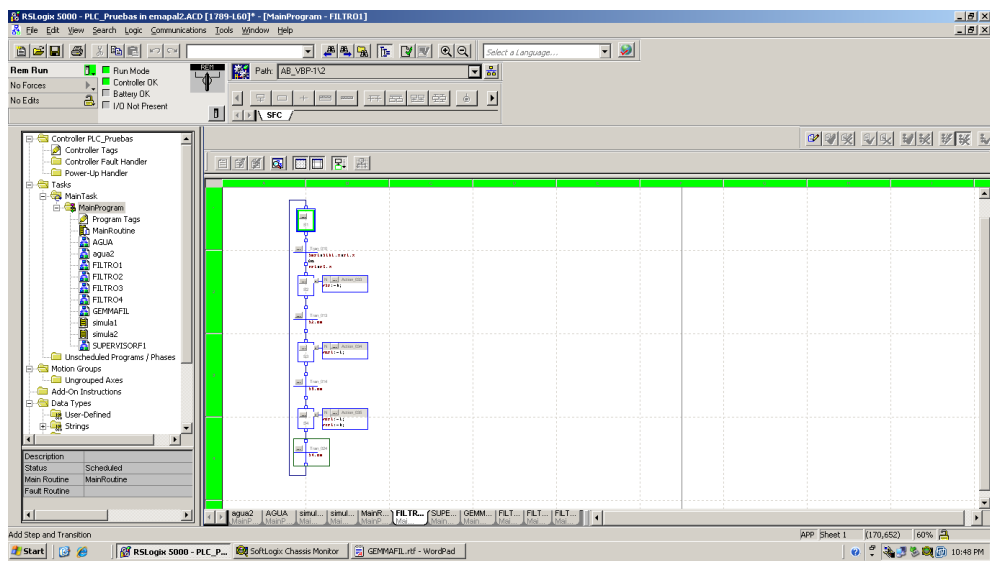


Figura 5.26 Simulación del GRAFCET correspondiente al lavado del Filtro 1

Fuente: Autor

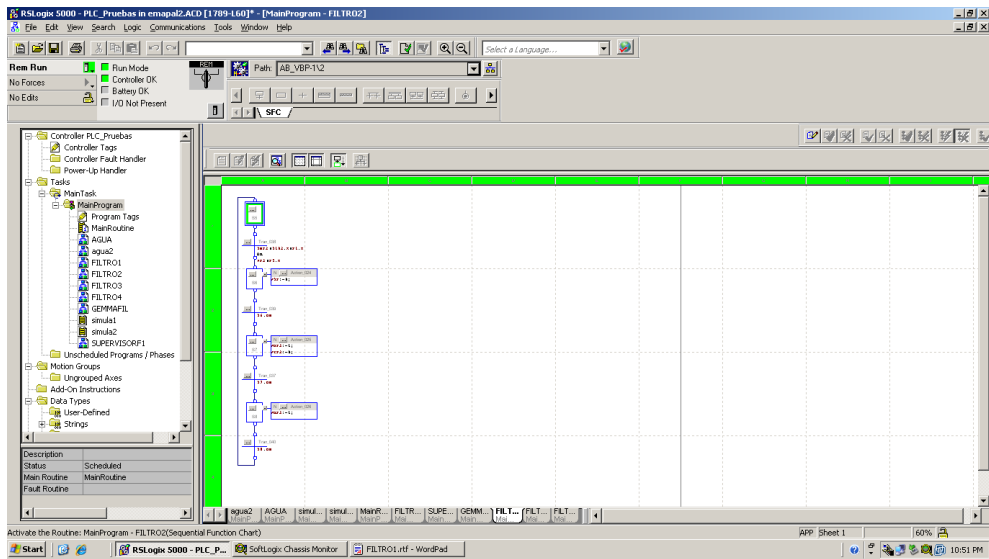


Figura 5.27 Simulación del GRAFCET correspondiente al lavado del Filtro2

Fuente: Autor

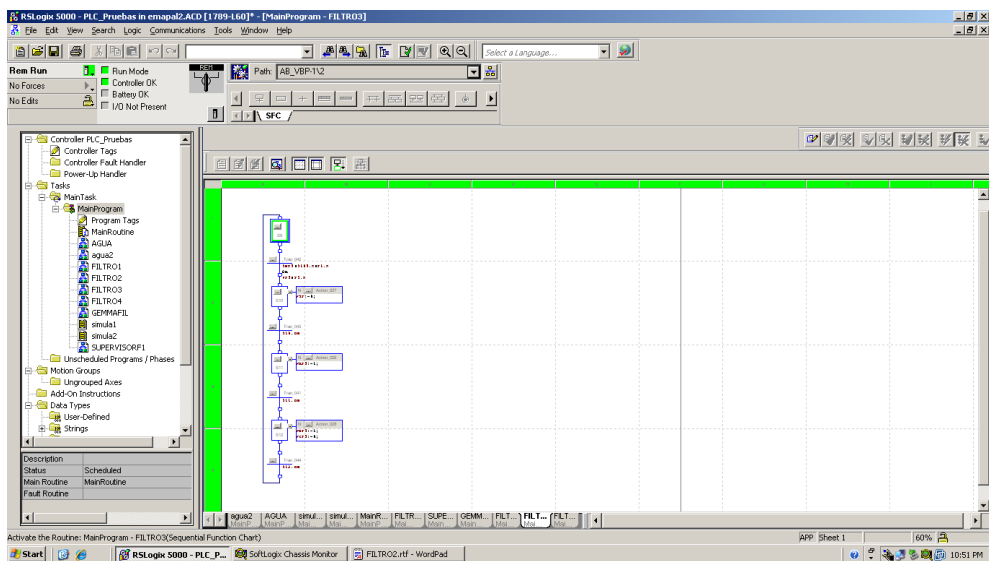


Figura 5.28 Simulación del GRAFCET correspondiente al lavado del Filtro3

Fuente: Autor

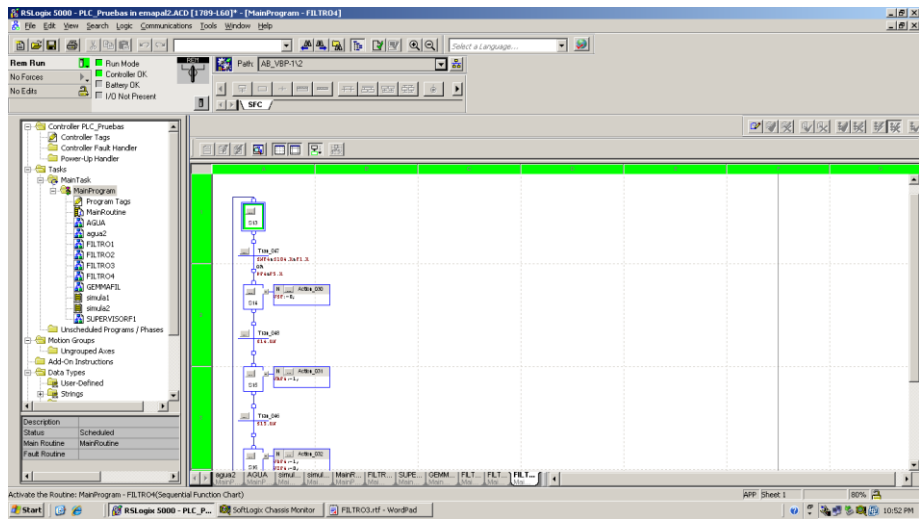


Figura 5.29 Simulación del GRAFCET correspondiente al lavado del Filtro4

Fuente: Autor

Finalmente se programó un HMI donde se puede ver la dinámica del proceso de lavado de filtros y como se reparte el recurso de lavado, el HMI se puede observar en la Figura 5.30.

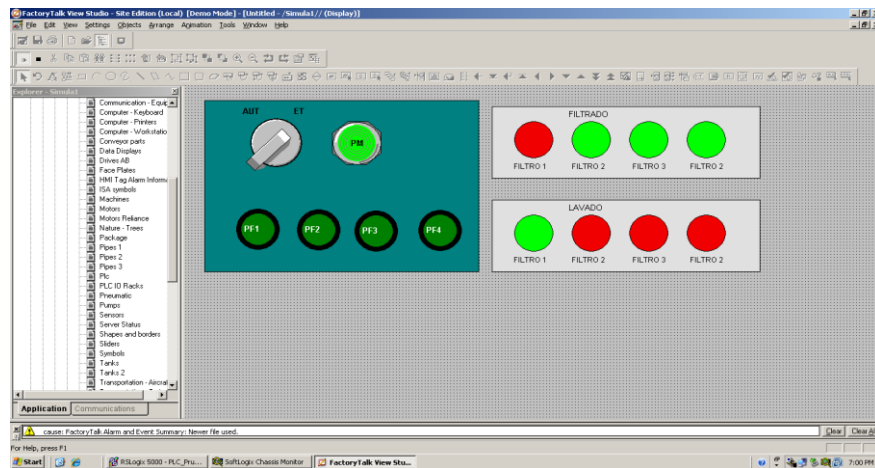


Figura 5.30 HMI para simulación del proceso de lavado de Filtros

Fuente: Autor

---

---

## CAPITULO VI

---

### 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones

Al final del presente trabajo, y con el carácter de conclusiones sobre el mismo, es necesario volver a los objetivos que fundamentaron todas las acciones llevadas a cabo.

La tesis se propuso como objetivo general: “Desarrollar los modelos de procesos, modos de marcha y parada de la planta de potabilización de agua de la planta de Mahuarca, para el diseño de los sistemas de control supervisorio de dichos procesos”.

Es evidente que este objetivo se cumplió a cabalidad pues todo lo desarrollado evidencia esta aseveración. Para lograr este objetivo fue menester ir cumpliendo, paso a paso, los cuatro objetivos específicos que fueron planteados.

A continuación iremos recuperándolos y explicando todo aquello que tiene que ver con su cumplimiento.

El objetivo I “Levantar la información del proceso de potabilización de agua de la planta de Mahuarca” se logró gracias al apoyo de la Empresa EMAPAL en particular a los técnicos asignados a esta área quienes brindaron la información necesaria de acuerdo al levantamiento actualizado con el que cuenta la empresa. Mismo que sirvió de base para determinar el actual manejo del proceso y las acciones que se llevan a cabo para la producción en la etapa de la potabilización; así como las proyecciones que plantea la presente tesis para los modelos de procesos.

El objetivo II “Conocer las metodologías de modelado, orientados a la implementación de sistemas de automatización”, se logró en base al análisis de las metodologías existentes para el modelado de negocios. Se establecieron las metodologías adecuadas para el diseño de los sistemas de control supervisorio, como IDEF con la que se planteó el modelo funcional de proceso de potabilización, y a partir de este se llegó a un mayor grado de detalle con el uso de la metodología de modelado de negocios BMM.

El objetivo III “Desarrollar los modelos de procesos de la planta de potabilización de agua” fue alcanzado a partir de la aplicación de las metodologías mencionadas en

líneas anteriores y a partir de la cadena de valor de la empresa, se logró desarrollar los modelos de los subprocesos asociados al proceso de potabilización, donde se establecen los actores, objetivos, reglas de negocio, las tecnologías de cada uno de éstos hasta llegar a los diagramas de actividades. Con los diagramas de actividades así mismo se logró establecer los subprocesos que deberían ser automatizados, los cuales son los procesos de: preparación del sulfato de aluminio, preparación de polímetros y lavado de filtros.

Con los diagramas de actividades desarrollados se establecieron los modelos de redes de PETRI de los procesos a ser automatizados y posteriormente se diseñaron los sistemas de control supervisorio considerando las restricciones y funcionamiento especificados.

El objetivo IV “Establecer los modelos de modos de marcha y parada de los procesos, orientados al diseño de los sistemas de control supervisorio” fue cubierto en base a los modelos de redes de PETRI de los sistemas controlados, se pudo establecer los GRAFFCET de funcionamiento y a partir de la guía GEMMA se definieron los modos de operación de la propuesta de automatización.

Por último, con los GRAFCETs obtenidos al aplicar la guía GEMMA se logró diseñar las secuencias de funcionamiento de los sistemas automatizados en el lenguaje de programación estandarizado de PLCs, SFC (Secuential Function Chart ,y posteriormente mediante una simulación se implementó en el PLC que provee la herramienta de simulación utilizada, logrando la validación de los diseños.

Con el desarrollo de esta tesis se demuestra que para el diseño de una exitosa automatización en los procesos industriales es necesario coordinar procesos y metodologías que permitan conceptualizar el contexto general del sistema de negocios y producción, desde el levantamiento mismo de la información base y el funcionamiento actual de la empresa hasta la consolidación de un esquema metodológico que determine las áreas a ser automatizadas que definirán el diseño final del proyecto. Esto nos permitirá proyectar resultados medibles funcionalmente en eficiencia, eficacia y productividad si se implementara el diseño de automatización en los procesos actuales de la empresa.



## **6.2 Recomendaciones**

Para una futura implementación se recomienda utilizar los GRAFCETs obtenidos del desarrollo de la guía GEMMA de los procesos de preparación de sulfato de aluminio, de preparación de polímeros y de lavado de los filtros, así como también seguir esta guía para definir la tecnología de control, para posteriormente pasar a la programación las pruebas antes de la instalación, la instalación y la puesta en marcha y pruebas finales.

Se recomienda integrar un sistema SCADA al sistema de potabilización el cual permita gestionar la operación de la planta y también gestionar los datos de producción, usando como base la metodología de modelado de procesos de negocio del marco referencial METAS, para automatización integral.

Se recomienda utilizar el presente trabajo como una guía en empresas de agua potable por las ventajas competitivas que implica la automatización como herramienta tecnológica que mejora tiempos y permite realizar un adecuado manejo de recursos humanos y materiales. Sin duda la implementación de este tipo de tecnología permitirá a las empresas ver mejores resultados a corto plazo mejorando la productividad a nivel general.

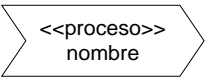
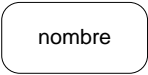


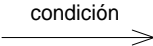
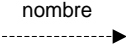




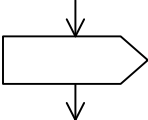
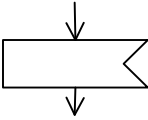
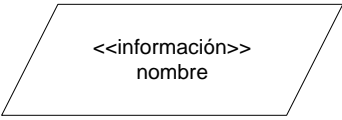
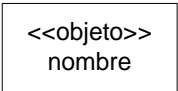
# **ANEXOS**



# Anexo 1

**Tabla A1** Símbolos utilizados por UML Business para modelar procesos de negocio.

Nombre	Símbolo	Descripción
Proceso de negocio		Conjunto estructurado de actividades diseñadas para producir una salida que es de valor para un cliente o mercado
Actividad		Proceso atómico que no puede ser descompuesto en otros de más bajo nivel
Inicio de proceso		Indica el inicio de un proceso o actividad
Fin de proceso		Indica el fin de un proceso o actividad
Flujo de control		Muestra el orden de ejecución de los procesos
Flujo de recursos		Representa recursos que fluyen entre procesos
Decisión		Indica un punto de decisión entre dos o más objetos

<i>Fork/Join</i>		Indica la sincronización de procesos paralelos ( <i>fork</i> ) o la concurrencia de procesos ( <i>join</i> )
Envío de señal		Usado para indicar que un evento dispara un proceso. Muestra el envío de un evento de negocios.
Recepción de señal		Usado para indicar que un evento dispara un proceso. Muestro la recepción de un evento de negocios.
Información		Representa cualquier tipo de información (datos, planilla, documento, forma, etc.) usada como entrada o salida de un proceso
Otros objetos		Representa un objeto ( <i>insumo, producto, persona, recurso físico, intangible, etc.</i> ) que es usado o producido por un proceso

Fuente: (Montilva A & Barrios , 2004)

---

---

## BIBLIOGRAFÍA

---

Assurance Quality Assessors, 2014. *Resumen de la metodología IDEF0*. [En línea]  
Available at: <http://www.aqa.es/doc/Metodologia%20%20IDEF0%20Resumen.pdf>

Ceppi, G., 2014. ICSA y Aysam tienen un plan. *Area Tres*.

Curtis, B., Kellner, M. I. & Over, J., 1992. Process modeling. *Communications of the ACM*, pp. 75-90.

Dideban, A., Kiani, M. & Alla, H., 2009. *Implementing PN-based controller with mutually exclusive transitions by SFC*. s.l., IEEE, pp. 4353-4358.

Empresa Municipal de Aguas y Saneamiento de Murcia, 2009. *Aguas de Murcia*. [En línea]

Available at: <https://www.emuasa.es/index.asp?Planta%20Potabilizadora>  
[Último acceso: 15 Septiembre 2014].

EPMAPS, E. P. M. d. A. P. y. S., 2014. *EPMAPS mantiene el índice de pérdidas más bajo en Ecuador*. [En línea]

Available at: <http://www.aguaquito.gob.ec/noticias/epmaps-mantiene-el-indice-de-perdidas-de-agua-mas-bajo-en-ecuador>

Eriksson, H. E. & Penker, M., 2000. *Business Modeling with UML: Business Patterns at Work*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

ETAPA EP, 2013. *ETAPA*. [En línea]

Available at: [http://www.etapa.net.ec/Agua/agua\\_pot\\_pla\\_pot\\_tix.aspx](http://www.etapa.net.ec/Agua/agua_pot_pla_pot_tix.aspx)  
[Último acceso: 18 Septiembre 2014].

Fuenmayor, 2001. *Interpretando Organizaciones: una teoría Sistémico-Interpretativa de Organizaciones*. Merida, Venezuela: Consejo de Publicaciones de la ULA.

García Molina, J. y otros, 2007. *De los Procesos del Negocio a los Casos de Uso*, Murcia: s.n.

Kosanke K, 2003. *Business Process Modelling and Standardisation*. [En línea] Available at: [http://www.cimosa.de/Standards/BPM\\_and\\_Standardisation.pdf](http://www.cimosa.de/Standards/BPM_and_Standardisation.pdf) [Último acceso: 29 octubre 2014].

Laudon Kenneth, C., 2008. *Sistemas de Información Gerencial*. México: Pearson Educación.

Marca, D. A. & McGowan, C. L., 1993. *IDEFO - Sadt Business Process & Enterprise Modelling*. s.l.:Eclectic Solutions Corp.

Montilva A, J. & Barrios , J., 2004. *BMM: A Business Modeling Method For Information Systems Development*. [En línea] Available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.95.1416&rep=rep1&type=pdf> [Último acceso: 30 Octubre 2014].

Montilva , J., Chacón , E. & Colina, E., 2001. Un método para la automatización integral de empresas de producción continua. *Revista Información Tecnológica Vol 12*, pp. 147-156.

Montilva, J., 1999. *An Object-Oriented Approach to Business Modeling in Information System Development*. Orlando USA, s.n., pp. 358-364.

Montoya , J. D. & Gonzáles, M., 2011. *Instrumentación y Automatización de Plantas de Tratamiento de Agua Industrial*. [En línea] Available at: [http://kosmos.upb.edu.co/web/uploads/articulos/\(A\) Instrumentacion y Automatizacion de Planta Industrial de Tratamiento de Agua 04RIAF.pdf](http://kosmos.upb.edu.co/web/uploads/articulos/(A) Instrumentacion_y_Automatizacion_de_Planta_Industrial_de_Tratamiento_de_Agua_04RIAF.pdf) [Último acceso: 28 Diciembre 2015].

Moody, J. & Antsaklis, P., 1998. *Supervisory Control of Discrete Event Systems using Petri Nets*. s.l.:Kluwer Academic Publishers.

Music, G. & Matko, D., 1998. *Petri Net Based Supervisory Control of Flexible Batch Plants*. Rio Patras, Greece, s.n., pp. 989-994.

Ordoñez, G., 2002. *MEMORIA TÉCNICA, MEMORIA DE CÁLCULO, ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE MAHUARCAY*. Azogues: EMAPAL-EP.



Ponsa, P. & Villanova, R., 2005. *Automatización de Procesos Mediante la Guía GEMMA*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.

Ponsa, P., Villanova, R. & Díaz, M., 2007. *Introducción del Operario Humano en el Ciclo de Automatización de Procesos Mediante la Guía GEMMA*. [En línea] Available at: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642007000500004>

PROCETRADI S.A.C, 2014. *PROCETRADI*. [En línea] Available at: [http://www.procetradi.com/experiencia\\_des\\_scada\\_auto\\_agua.htm](http://www.procetradi.com/experiencia_des_scada_auto_agua.htm)

Rios Chueco, J., Pérez Garcia, J., Hernández Matías, J. C. & Vizán Idoipe, A., 2007. *ENTORNO EDUCATIVO WEB PARA EL ESTUDIO DE COSTES DE FABRICACIÓN*. s.l.:s.n.

Romero Rojas, J. A., 2002. *Calidad del Agua*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Salud, O. M. d. l., 2010. *Centro de Prensa*. [En línea] Available at: [http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2010/water\\_20100315/es/](http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2010/water_20100315/es/) [Último acceso: 28 01 2015].

Vernadat, F., 1996. *Enterprise Modeling and integration: Principles and applications*. Londres: Chapman&Hall.