UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA

FACULTAD DE INGENIERÍA

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

APLICACIÓN DE LA TÉCNICA IMRP EN LA OPERACIÓN DIRIGIDA POR MODELO EN UN ÁREA DE PRODUCCIÓN POR LOTES

POR:

MIGUEL ANGEL GONZALEZ HIDALGO

TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN INGENIERÍA

CHIHUAHUA, CHIH., MÉXICO **JUNIO DE 2017**

Aplicación de la técnica iMRP en la operación dirigida por modelo en un área de producción por lotes. Tesis presentada por Miguel Angel Gonzalez Hidalgo como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ingeniería, ha sido aprobada y aceptada por:

M.I. Javier González Cantú
Director de la Facultad de Ingeniería

Dr. Fernando Rafael Astorga Bustillos
Secretario de Investigación y Posgrado

M.S.I. Karina Rocío Requena Yáñez
Coordinadora Académico

Dr. José Eduardo Acosta Cano de los Ríos
Director de Tesis

JUNIO 2017

Comité:
Dr. José Eduardo Acosta Cano de los Ríos
Dr. Pedro Rafael Acosta Cano de los Ríos
MI. José Manuel Siqueiros Morales

© Derechos Reservados

Miguel Angel Gonzalez Hidalgo
C. Porfiro Diaz s/n
Ejido Sacramento, C.P. 31150
Chihuahua, Chihuahua

JUNIO 2017

15 de junio de 2017

ING. MIGUEL ÁNGEL GONZÁLEZ HIDALGO

Presente

En atención a su solicitud relativa al trabajo de tesis para obtener el grado de Maestro en Ingeniería en Computación, nos es grato transcribirle el tema aprobado por esta Dirección, propuesto y dirigido por el director **Dr. José Eduardo Acosta Cano de los Ríos** para que lo desarrolle como tesis, con el título: **"APLICACIÓN DE LA TÉCNICA iMRP EN LA OPERACIÓN DIRIGIDA POR MODELO EN UN ÁREA DE PRODUCCIÓN POR LOTES".**

ÍNDICE

Agradecimientos

Resumen

Tabla de contenido

Índice de figuras

Índice de tablas

Índice de listados

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.

2.1 Introducción.

2.2 Modelado de sistemas de producción

2.3 Estándar ISA 88

2.4 Sistema Microsoft Project Management

2.5 Acoplamiento débil

2.6 ArquiTAM

2.7 Operación dirigida por modelo

CAPÍTULO III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

3.1 Introducción

3.2 Objetivo general

3.3 Objetivos específicos

3.4 Técnicas a aplicar en la solución del problema.

3.5 Utilidad del proyecto

Facultad de Ingeniería
Circuito No. 1, Campus Universitario 2
Chihuahua, Chih. C.P. 31125
Tel. (614) 442-9500 www.fing.uach.mx

CAPÍTULO IV. DESARROLLO

4.1 Introducción

4.2 Modelo iMRP

4.3 Sistema de control

4.4 Protocolo de comunicación

4.5 Sistema envoltura

CAPÍTULO V. VALIDACION

5.1 Introducción

5.2 Validación del sistema de control en un área de producción por lotes

5.3 Resultados obtenidos

Referencias bibliográficas

Currículum Vitae

Solicitamos a Usted tomar nota de que el título del trabajo se imprima en lugar visible de los ejemplares de las tesis.

A T E N T A M E N T E
"naturam subiecit aliis"

EL DIRECTOR

M.I. JAVIER GONZÁLEZ CANTÚ

FACULTAD DE INGENIERÍA U.A.CH. DIRECCIÓN

EL SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

DR. FERNANDO RAFAEL ASTORGA BUSTILLOS

Facultad de Ingeniería
Circuito No. 1, Campus Universitario 2
Chihuahua, Chih. C.P. 31125
Tel. (614) 442-9500 www.fing.uach.mx

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL

Agradecimientos

<

Al término de esta etapa me surge el sentimiento profundo de agradecimiento, a quienes sin su apoyo no hubiera sido posible concluir esta etapa llamada estudios de maestría:

A mi Padre y Madre, por su apoyo incondicional y confiar en mis sueños

A mi hermano Adrián, por ser un gran ejemplo de vida y esfuerzo de lucha para salir adelante

A mi abuela y mi tía, por ofrecerme un hogar más cerca de la escuela y estar al pendiente siempre de mi

A mi amigo y compañero de tesis Iván, por estar incondicionalmente desde el comienzo de esta etapa hasta el final sin pedir nada a cambio, también por escuchar mis ideas y apoyar en el análisis de conceptos

A Alma Carrera, por su gran carriño y por su apoyo para poder iniciar esta etapa

Al M.I. David Maloof, por ser una gran persona, por apoyar y dar ánimos para tomar la maestría

A mi director de tesis Dr. José Acosta, por permitirme ser su tesista y guiarme con sus conocimientos a lo largo del proyecto. También por la paciencia y estar al pendiente en el desarrollo de la investigación

A mis asesores el Dr. Pedro Acosta y el M.I. Manuel Siqueiros, por aportar sus conocimientos y enseñanzas para hacerme más profesional y alcanzar este logro

A mis compañeros y maestros de maestría, por motivarme a dar lo mejor de mi

Gracias a todos lo que hicieron posible concluir esta etapa de estudios de maestría

Resumen

La acelerada evolución de los sistemas industriales en las últimas décadas ha conducido a la necesidad de automatizar los procesos, ya que no es suficiente y en ocasiones tampoco es factible el uso de recurso humano para la producción. En los sistemas industriales en general y en las plantas de fabricación por lotes en particular, se automatizan los procesos para la fabricación de ciertos productos para facilitar el control del proceso de producción.

En el presente proyecto de tesis se presenta el desarrollo de un sistema informático de control para el lanzamiento de ordenes en un área de producción por lotes, adaptando la técnica iMRP para el modelado del proceso y la aplicación del concepto de operación dirigida por modelo. El sistema se realiza con base en la arquitectura de referencia ArquiTAM para obtener una flexibilidad de adaptarse a cambios en la receta, procesos o equipo de producción.

Al controlar el proceso se necesita modelar el sistema, tomando en cuenta los productos que se pueden hacer, las maquinas que se necesitan y las operaciones que se realizan para su fabricación. Para la modelación del comportamiento de los sistemas de producción se encuentran las redes de Petri, GRAFCET, SFC, PFC, IDEF0, etc.

Una técnica de interés a utilizar para el modelado del proceso es identificada como iMRP (acrónimo de integrador modular de recursos de producción). En esta técnica se abstraen los productos, equipos y operaciones que realiza el área de producción, como parte del modelo a interpretar para la operación dirigida por modelo del sistema de control de producción.

En el documento se muestran los resultados obtenidos al implementar la metodología iMRP, basándose en los niveles de referencia de ArquiTAM de un proceso de producción por lotes en una empresa real.

Tabla de Contenido

AGRADECIMIENTOS ..... *v*
RESUMEN ..... *vi*
TABLA DE CONTENIDO ..... *vii*
ÍNDICE DE FIGURAS ..... *ix*
ÍNDICE DE TABLAS ..... *xi*
ÍNDICE DE LISTADOS ..... *xii*
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN *1*
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO *3*
2.1 INTRODUCCIÓN *3*
2.2 MODELADO DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN *3*
2.2.1 Redes de Petri 3
2.2.2 SFC 5
2.2.3 PFC 6
2.2.4 GRAFCET 6
2.2.5 IDEF0 7
2.2.6 iMRP 8
2.3 ESTÁNDAR ISA 888 ..... *11*
2.4 SISTEMA MICROSOFT PROJECT MANAGEMENT *12*
2.4.1 Microsoft Project 13
2.5 ACOPLAMIENTO DÉBIL *14*
2.6 ARQUITAM *19*
2.7 OPERACIÓN DIRIGIDA POR MODELO *21*
CAPÍTULO III: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA *27*
3.1 INTRODUCCIÓN *27*
3.2 OBJETIVO GENERAL *28*
3.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS *28*
3.4 TÉCNICAS A APLICAR EN LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA *28*
3.5 UTILIDAD DEL PROYECTO *29*
CAPÍTULO IV: DESARROLLO *30*
4.1 INTRODUCCIÓN *30*
4.2 MODELO IMRP *31*
4.3 SISTEMA DE CONTROL *35*
4.3.1 Recetas en modelo iMRP 35
4.3.2 Objetos representantes 37
4.3.3 Módulo Planificado 39
4.3.4 Módulo Lanzador de Ordenes 43
4.3.5 Módulo de simulación 45
4.4 PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN *46*
4.4.1 Protocolo de comunicación representante→envoltura 48
4.4.2 Protocolo de comunicación envoltura→representante 49
4.5 SISTEMA ENVOLTURA *49*

4.5.1 Objetos Propulsor 50
CAPÍTULO V: VALIDACIÓN Y RESULTADOS *51*
5.1 INTRODUCCIÓN *51*
5.2 VALIDACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL EN UN ÁREA DE PRODUCCIÓN POR LOTES *51*
5.2.1 Abstraer la receta en un modelo iMRP 51
5.2.2 Interpretación del modelo iMRP 52
5.2.3 Lanzar Tareas a operar en los equipos 54
5.2.4 Comportamiento del módulo de simulación del piso de producción 59
5.3 RESULTADOS OBTENIDOS *61*
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES *63*
6.1 INTRODUCCIÓN *63*
6.2 TRABAJOS FUTUROS *64*
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS *65*
CURRICULUM VITAE *67*

Índice de Figuras

FIGURA 2.1: EJEMPLO DE UNA RED DE PETRI (MEDINA & SECK , 2013) 4
FIGURA 2.2: MODELO SFC DE UN PROCESO BATCH (EMERSON, 1999) 5
FIGURA 2.3: MODELO PFC (EMERSON, 1999) 6
FIGURA 2.4: EJEMPLO DE UN PROCESO QUÍMICO MODELADO EN GRAFCET 7
FIGURA 2.5: ESQUEMA DEL MODELO IDEF0 (RENSBURG & ZWEMSTRA, 1995) 8
FIGURA 2.6: CICLO DE VIDA DE LOS ELEMENTOS EN LA PRODUCCIÓN (ACOSTA J. E., 2016) 9
FIGURA 2.7: ABSTRACCIÓN DE LA SECUENCIA DE OPERACIÓN DE LOS RECURSOS DE FABRICACIÓN (ACOSTA J. E., 2016) 10
FIGURA 2.8: ABSTRACCIÓN DE PARTICULARIDADES DEL PROCESO DE FABRICACIÓN (ACOSTA J. E., 2016)..... 11
FIGURA 2.9: RELACIÓN ENTRE LOS MODELOS ISA S 88 (GESTIÓN DE RECETAS PARA PROCESOS POR LOTES - PLANT BATCH IT, S.F.)..... 12
FIGURA 2.10: MICROSOFT PROJECT (PDU COURSE MS PROJECT 2013, 2013)..... 13
FIGURA 2.11: COMPONENTES DEL ACOPLAMIENTO DÉBIL (ACOSTA J. E., 2016)..... 14
FIGURA 2.12: ESTRUCTURA DE ARQUITAM PARA EL DESARROLLO Y APLICACIÓN DEL SISTEMA (ACOSTA & SASTRON, 2006) 20
FIGURA 2.13: ESQUEMA DE REFERENCIA ARQUITAM (GÓMEZ, 2012) 21
FIGURA 2.14: DIAGRAMA DE CLASES DEL MARCO DE TRABAJO (ACOSTA J. E., 2016)..... 22
FIGURA 2.15: DIAGRAMA DE SECUENCIA DE LA PRIMERA ETAPA (ACOSTA J. E., 2016)..... 23
FIGURA 2.16: DIAGRAMA DE SECUENCIA DE LA SEGUNDA ETAPA (ACOSTA J. E., 2016)..... 23
FIGURA 2.17: DIAGRAMA DE SECUENCIA DE LA TERCERA ETAPA (ACOSTA J. E., 2016)..... 24
FIGURA 2.18: DIAGRAMA DE SECUENCIA DE LA CUARTA ETAPA (ACOSTA J. E., 2016)..... 24
FIGURA 2.19: NIVELES DE ABSTRACCIÓN DEL EQUIPO DE PRODUCCIÓN (ACOSTA J. E., 2016)..... 25
FIGURA 2.20: DESCRIPCIÓN GRÁFICA DE LA OPERACIÓN DIRIGIDA POR MODELO..... 26
FIGURA 4.1 DIAGRAMA A BLOQUES DE LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA..... 30
FIGURA 4.2: EDITOR IMRP 32
FIGURA 4.3: ATRIBUTO NODO PRODUCTO 33
FIGURA 4.4: ATRIBUTOS DEL ARCO 34
FIGURA 4.5: ATRIBUTOS DEL NODO EQUIPO ATRIBUTOS DEL NODO RECURSO TIEMPO..... 34
FIGURA 4.6: ATRIBUTOS DEL NODO RECURSO TIEMPO 35
FIGURA 4.7: OBJETO REPRESENTANTE TIPO PROCESADOR..... 38
FIGURA 4.8: REFERENCIAS DE PROJECT 2013 39
FIGURA 4.9: AGREGAR REFERENCIA EN EL PROYECTO..... 40
FIGURA 4.10: ESTILOS DE BARRA DE MICROSOFT PROJECT..... 42
FIGURA 4.11: DIAGRAMA DE FLUJO DEL MÉTODO PARA LANZAR A OPERAR A LAS TAREAS 44
FIGURA 4.12: PANTALLA DEL MÓDULO DE SIMULACIÓN 45
FIGURA 4.13: AGREGAR REFERENCIA PARA USAR MSMQ..... 46
FIGURA 4.14: CREAR UNA COLA DESDE EL VISUAL BASIC..... 47
FIGURA 4.15: ENVOLTURA PARA EMULAR EVENTOS DE EQUIPOS 50
FIGURA 5.1: MODELO IMRP PARA LA VALIDACIÓN..... 52
FIGURA 5.2: SISTEMA DE CONTROL CREACIÓN DE PROYECTO 53
FIGURA 5.3: SISTEMA DE CONTROL AGREGAR RECETA..... 53
FIGURA 5.4: DIAGRAMA DE GANTT DE PROJECT..... 54
FIGURA 5.5: SISTEMA DE CONTROL LANZAR TAREAS A OPERAR..... 54
FIGURA 5.6: OBJETOS REPRESENTANTES DEL PISO DE PRODUCCIÓN..... 55

FIGURA 5.7: DIAGRAMA GANTT EN PROJECT CON TAREA EN OPERACIÓN 56
FIGURA 5.8: ENVOLTURA CON UN OBJETO PROPULSOR TIPO MANIPULADOR PARA EL REACTOR 5 57
FIGURA 5.9: BOTONERA DEL SISTEMA ENVOLTURA 57
FIGURA 5.10: ENVOLTURA CON OBJETO PROPULSOR TIPO PROCESADOR PARA EL REACTOR 5 58
FIGURA 5.11: DIAGRAMA DE GANTT AL OCURRIR UN PARO EN LA OPERACIÓN 59
FIGURA 5.12: SIMULACIÓN DEL PISO DE PRODUCCIÓN CON LA MANIPULACIÓN DE LÍQUIDOS 60
FIGURA 5.13: SIMULACIÓN DE LA MANIPULACIÓN DE SUSTANCIAS QUE SE AGREGAN 60
FIGURA 5.14: SISTEMA DE CONTROL BOTÓN PARA REINICIAR LA SIMULACIÓN 61

Índice de Tablas

TABLA 2.1: ASPECTOS IMPORTANTES DEL ACOPLAMIENTO DÉBIL, (ACOSTA J. E., 2016) 16
TABLA 2.2: CONJUNTOS DE VARIABLES EN LA INTEGRACIÓN SI-EP, (ACOSTA J. E., 2016) 19
TABLA 4.1: ARGUMENTOS DE LOS CONSTRUCTORES IMRP (ACOSTA & SASTRÓN, 2007) 31
TABLA 4.2: ATRIBUTOS DE NODOS..... 32
TABLA 4.3: ATRIBUTOS DE ARCOS 33
TABLA 4.4: CLASES GENÉRICAS EN EL MARCO DE TRABAJO 36
TABLA 4.5: ESTADOS Y EVENTOS DEL OBJETO REPRESENTANTE 38
TABLA 4.6: ATRIBUTOS USADOS DEL OBJETO TAREA PARA MICROSOFT PROJECT 41
TABLA 4.7: ATRIBUTOS USADOS DEL OBJETO RECURSO DE MICROSOFT PROJECT 41
TABLA 4.8: ATRIBUTOS USADOS DE LAS TAREAS EN PROJECT PARA LA OPERACIÓN DIRIGIDA POR MODELO..... 43
TABLA 4.9: ATRIBUTOS DEL MENSAJE ENVIADOS A LA COLA ENVOLTURA..... 49

Índice de Listados

LISTADO 4.1: MÉTODO PARA DE-SERIALIZAR 36
LISTADO 4.2: CLASIFICACIÓN DE LOS NODOS EN RECURSOS 37
LISTADO 4.3: CREACIÓN DEL OBJETO REPRESENTANTE POR REFLEXIÓN 37
LISTADO 4.4: CÓDIGO PARA EDITAR UNA BARRA EN MICROSOFT PROJECT 42
LISTADO 4.5: CÓDIGO PARA CONFIGURAR LA ESCALA DE TIEMPO EN MICROSOFT PROJECT..... 42
LISTADO 4.6: MÉTODO PARA ENVIAR UN MENSAJE POR UNA COLA MSMQ..... 47
LISTADO 4.7: MÉTODOS PARA ESCUCHAR UNA COLA DE MSMQ 48

Capítulo I: Introducción

En los últimos años la acelerada evolución tecnología ha obligado a las empresas a mejorar sus procesos de producción debido a la gran competencia en su entorno. Por lo cual las empresas buscan implementar nuevas tecnologías para tener control y orden en los recursos de producción. Para esto las empresas empiezan a integrar sistemas de control en sus procesos cada vez con mayor complejidad buscando un grado de automatización mayor. En el área de producción por lotes el control manual de diferentes variables implica tareas no tácitamente descritas en la ingeniería del producto (receta), por lo tanto, implementar el control de procesos en el piso de producción de una planta con operaciones manuales, resulta con un mayor grado de complejidad. Por otra parte, las empresas buscan tener sistemas de control que les ayuden a tener una comprensión de lo que sucede en el piso de producción y así analizar posibles mejoras en sus procesos para el mayor aprovechamiento de sus recursos de producción.

El objetivo del presente proyecto es desarrollar un sistema genérico de control de producción por lotes con base en la arquitectura de referencia ArquiTAM que ofrezca una flexibilidad para el cambio de productos, procesos y equipos sin la necesidad de modificar el sistema (código). Para esto se propone usar la técnica de modelado iMRP para abstraer la información del proceso de producción de cierto producto, para que el sistema de control pueda interpretar el modelo y aplicar el concepto de operación dirigida por modelo para lanzar a operar los equipos y obtener un control de la información generada en el piso de producción. También se analiza la manera de contar en el sistema de control con un emulador del piso de producción que permita visualizar el estado de los recursos en el mismo, así como mostrar información acerca de las recetas de los productos para planificar su realización.

En esta tesis se describe la forma para crear un sistema de control genérico basado en ArquiTAM, para la aplicación de los conceptos de operación dirigida por modelo mediante la técnica de modelado iMRP. La tesis está dividida en varios capítulos. El capítulo dos corresponde al marco teórico que es donde se incluirán conceptos importantes para el

desarrollo y comprensión del proyecto de tesis. El tercer capítulo se refiere al planteamiento del problema que es donde se dan a conocer los objetivos, las técnicas a aplicar en la solución, así como la utilidad del proyecto. El cuarto capítulo corresponde al desarrollo del proyecto de investigación, es aquí donde se describe cómo se diseñó el sistema propuesto después de haber realizado la investigación apegada a la arquitectura de referencia y operación dirigida por modelo. En el quinto capítulo se incluye la validación del sistema en un área de producción por lotes en una empresa real. En el capítulo seis se encuentran las conclusiones y recomendaciones con base en la investigación realizada, así como los trabajos futuros para continuar la línea de investigación. En la última parte de la tesis se encuentran las referencias a los artículos consultadas en el desarrollo del presente proyecto de tesis.

Capítulo II: Marco teórico

2.1 INTRODUCCIÓN

En los últimos años, las empresas industriales se han dedicado a encontrar un mejor desempeño en sus líneas de producción, optimizando los procesos y maximizando el uso de recursos para obtener mayor ganancia. Por tales motivos es necesario tener un sistema informático flexible para adaptarse a cambios en la receta, productos o equipo de producción, y así hacer frente a la incertidumbre que se genera en su entorno de producción. En el presente capítulo se plantea el marco teórico que fundamenta el desarrollo del presente proyecto de tesis, en donde se describen los conceptos básicos, los complementarios y específicos.

2.2 MODELADO DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

El modelado de sistemas se utiliza para simplificar la comprensión del comportamiento de un sistema, en el cual se abstrae entre otros aspectos la información sobre la secuencia de operación de las actividades del proceso. En la actualidad existen diferentes tipos de modelado de este tipo de sistemas, que tienen la particularidad de abstraer la información del proceso que incluya las condiciones de precedencias del mismo. A continuación, se describen algunas de las técnicas de modelado de este tipo de procesos.

2.2.1 Redes de Petri

En la década de 1960, Carl Adam Petri busco una alternativa a los autómatas para poder tener interacción entre los componentes, por lo cual, creo las redes de Petri que se basan en los elementos del estado y los eventos que cambian las condiciones de estos elementos a otros estados (Desel & Reisig, 2014).

Las redes de Petri, es una forma gráfica y matemática para representar sistemas. Las cuales presentan aspectos de modelado, comportamiento y técnicas de análisis de los sistemas. Estas tienen ventajas sobre métodos de validación como Leguajes Unificado de Modelado (UML, por sus siglas en inglés, Unified Modeling Language), diagramas entidad-relación o autómatas finitos, porque permite la visualización del comportamiento dinámico y estático del sistema (Hee, Serebrenik, & Sidorova, 2008).

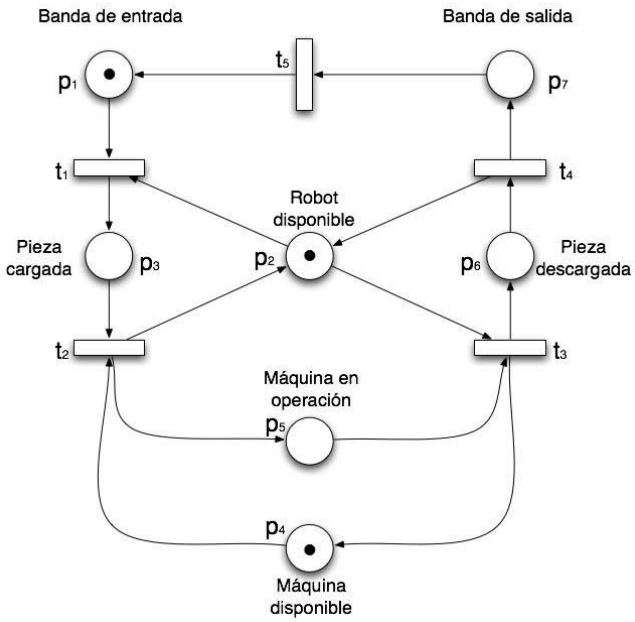

Figura 2.1: Ejemplo de una Red de Petri (Medina & Seck , 2013)

En las redes de Petri existen diferentes tipos, donde cada una tiene pequeñas diferencias con las demás, pero todas tienen el mismo modelo original de las redes de Petri. Como se agregan nuevas características que permitan la modelación y simulación de los sistemas, surgen nuevos tipos de redes como se describe a continuación:

a) Redes de Petri Estocásticas

Es una red donde cada transición está asociada a una variable aleatoria distribuida, la cual expresa el retardo que hay en el disparo de la transición. Para esto, se aplica la teoría de conjuntos difusos para representar las dos dimensiones de incertidumbre que son probabilísticos (estocásticos) la variabilidad y la imprecisión. Este tipo se puede utilizar para el modelado y análisis de cualquier sistema de tiempo crítico, dinámico y complejo (Tüysüz & Kahraman, 2010).

b) Redes de Petri Coloreadas

En esta red se utiliza el concepto de multi-conjunto en el cual explica lo que pasa con los colores (datos) en cada nodo. EL cual permite trabajar con distintos colores al mismo tiempo sobre la red Petri. Según Murillo la utilización de modelos simulados con este tipo de

redes, permite mejorar los sistemas de manufactura eliminando desbalances en la producción, bloqueos, subutilización de sistemas, etcétera (Murillo Soto, 2010).

c) Redes de Petri Difusa

Estas se desarrollan para poder manejar conceptos de lógica difusa, donde una transición para ser disparada se revisa el valor del token definido en la transición que cumpla con las condiciones. Según Hamed, Ahson y Parveen las redes son empleadas para la representación del conocimiento y razonamiento difuso, la cual es utilizada como una herramienta de modelado para sistemas expertos (Hamed, Ahson, & Parveen, 2010).

2.2.2 SFC

Sequential Function Charts (SFC) evolucionó a partir de las redes de Petri y es similar a GRAFCET. Es un lenguaje de programación, el cual permite que un programa de PLC se organice en una serie de etapas y transiciones conectadas. En un SFC se avanza cuando los pasos se activan y desactivan de acuerdo al cumplimiento de las condiciones de la transición. Un programa de SFC exhibe una conducta determinada en un PLC (Hellgren, Fabian, & Lennartson, 2005). Una aplicación del SFC es el control de la secuencia de un sistema de evaporación por lotes (Lohmann & Engell , 2008).

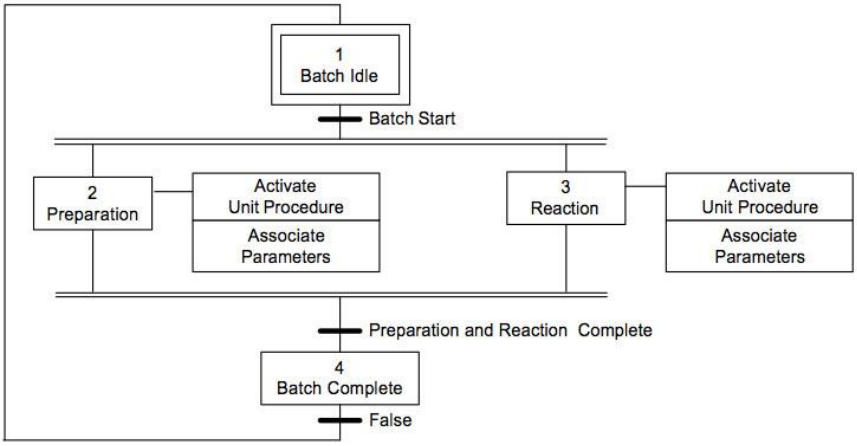

Figura 2.2: Modelo SFC de un proceso Batch (Emerson, 1999)

2.2.3 PFC

Procedure Function Charts (PFC) es utilizada para la visualización de elementos del procedimiento y el orden de la ejecución. En donde PFC se describe una estructura simple en el que cada etapa, es seguida por una condición de transición. En el cual, si la condición de transición está abajo de un paso activo y se convierte en verdadera, entonces el paso activo se apaga y el siguiente pasó de activa. Entre los pasos puede haber la elección de caminos o divisiones en caminos paralelos y después se reincorporan a un camino. Una aplicación de PFC se muestra en el control de una receta para plantas dosificadoras (Liu, Shi, & Yang, 2010).

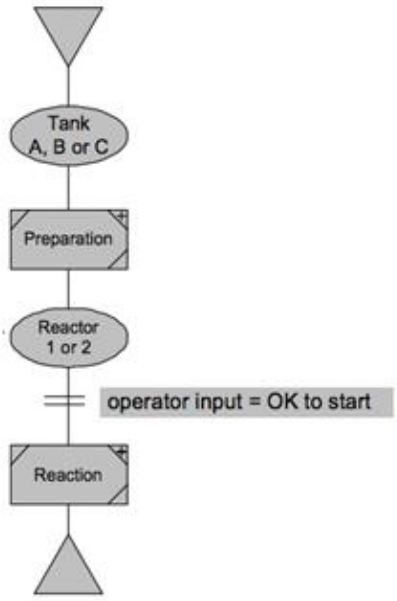

Figura 2.3: Modelo PFC (Emerson, 1999)

2.2.4 GRAFCET

GRAphe Fonctionnel de Commande Etape Transition (GRAFCET) es un lenguaje secuencial que describe el comportamiento dinámico de un controlador, basándose en las transiciones y los estados. El cual consiste en avanzar por los estados si las condiciones de transición son satisfactorias.

En la actualidad existen diversas herramientas de notación de GRAFCET una de ellas es ULLSIMGRAF utilizada en temas de automatización, donde se genera código para un Controlador Lógico Programable (PLC) obtenido del modelado del sistema (Marichal & González, 2014).

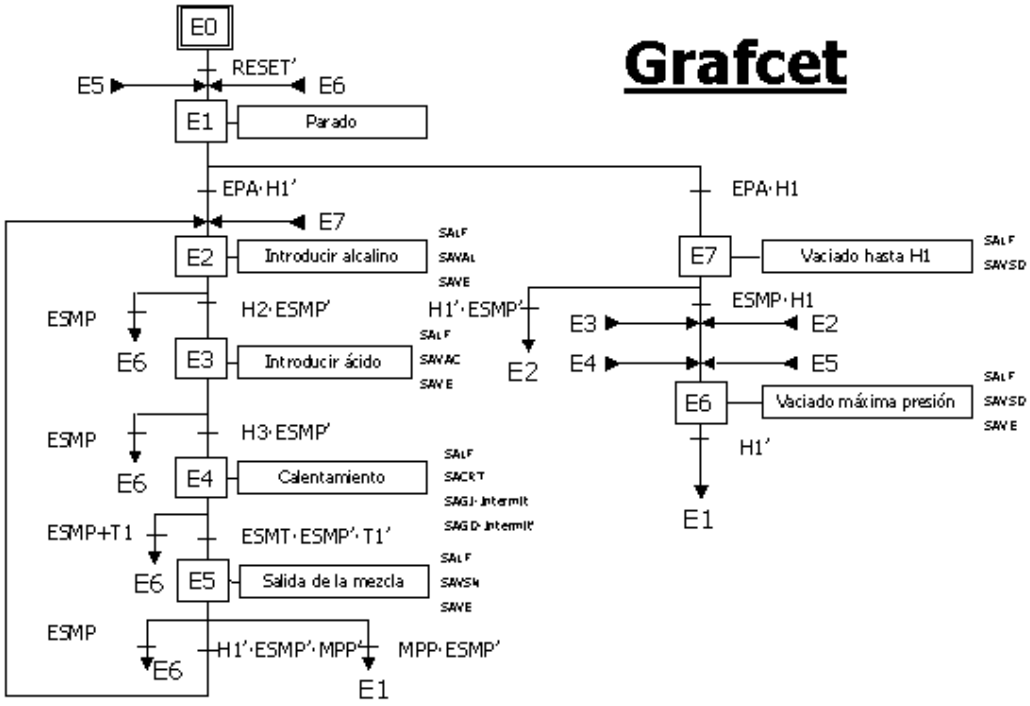

Figura 2.4: Ejemplo de un proceso químico modelado en Grafcet

2.2.5 IDEF0

Integration Definition for Function Modeling (IDEF0) es un método de modelado de sistemas, que describe las funciones de los sistemas complejos usando gráficos simples, textos y estructuras en forma estática, y muestra las relaciones entre los procesos, el cual permite a las personas entender un proceso de una forma simple. Una aplicación es un sistema hombre-máquina-ambiente de un buque, en donde el propósito es mejorar la eficiencia del funcionamiento, rendimiento, seguridad y habitabilidad de un buque y sus subsistemas (Shang , Qiu , & Zhu, 2011)

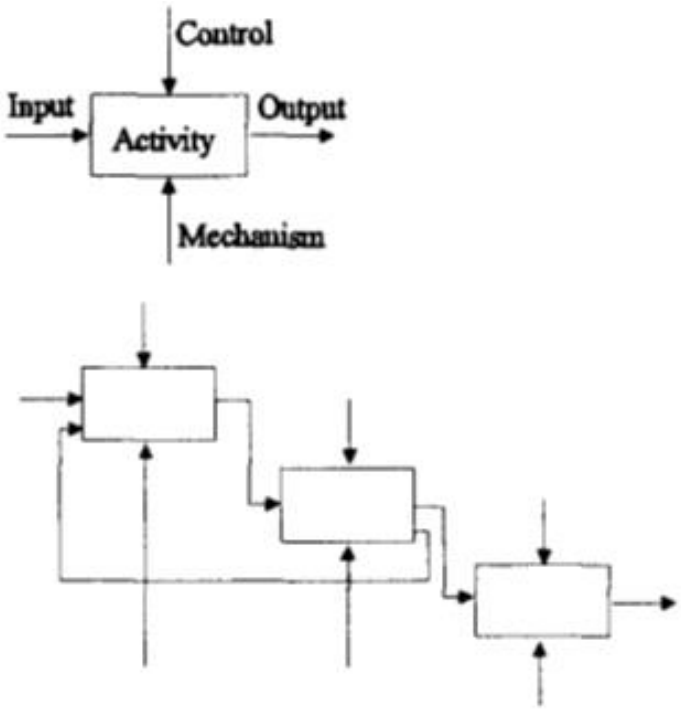

Figura 2.5: Esquema del modelo IDEF0 (Rensburg & Zwemstra, 1995)

2.2.6 iMRP

El modelado iMRP (integrador modular de recursos de producción) es un método de modelado de la información del proceso de producción a ser interpretado directamente por un sistema informático de control para coordinar el flujo de los materiales y el procesamiento de pieza, (Acosta J. E., 2016). Este modelo consiste en la abstracción de características específicas y particularidades del sistema de producción, en el cual únicamente se utilizan nodos y arcos. Donde los recursos (productos, equipos de producción, operaciones y la interacción entre ellos en el tiempo) del sistema de producción son representados con nodos, y la interacción entre ellos es establecida mediante arcos. En la abstracción de particularidades del sistema proporciona un procedimiento más simple y eficaz para definir las características específicas de una línea de producción y facilitar su aplicación. (Acosta & Sastrón, 2007) describen el modelado iMRP, conceptos básicos y la manera para crear la abstracción del piso de producción mediante nodos y arcos.

En el proceso de fabricación se identifican los elementos básicos, que son el conjunto mínimo de recursos necesarios que pueden describir el proceso como producto, composición,

equipos, operaciones y la interacción entre ellos en el tiempo. En el ciclo de vida de los elementos se analiza la interacción de los productos y equipos en el proceso de producción en un piso de fabricación los cuales convergen en la etapa de operación como se muestra en la Figura 2.6.

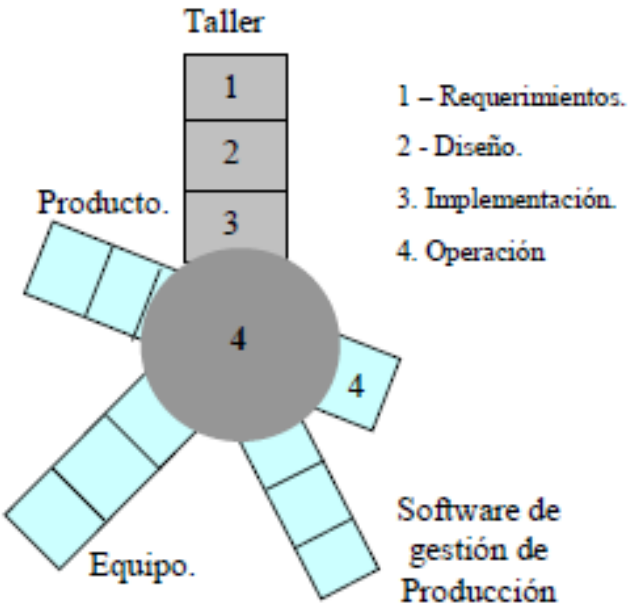

Figura 2.6: Ciclo de vida de los elementos en la producción (Acosta J. E., 2016)

Del proceso de fabricación se abstraen los tipos de operaciones que hay en toda el área de producción, esto es, manipulación, transporte, el procesamiento y almacenamiento, (Acosta, 2016). Se analiza la secuencia de operación y se deben identificar los recursos simultáneos para la operación, varias operaciones se deben ejecutar en una sola pieza o conjunto de piezas que integren el producto que se está fabricando. La Figura 2.7a muestra la asociación de los recursos entre la pieza (P), operación (O) y equipo (E) representados por una agrupación directa entre ellos. En la Figura 2.7b se muestra la asociación directa en donde dos o más operaciones (y equipos) representan la secuencia de ejecución en equipos, así como las operaciones correspondientes que se requieren para fabricar una sola pieza. En la Figura 2.7c se representa la secuencia en el tiempo de cada operación y el equipo requerido para ello.

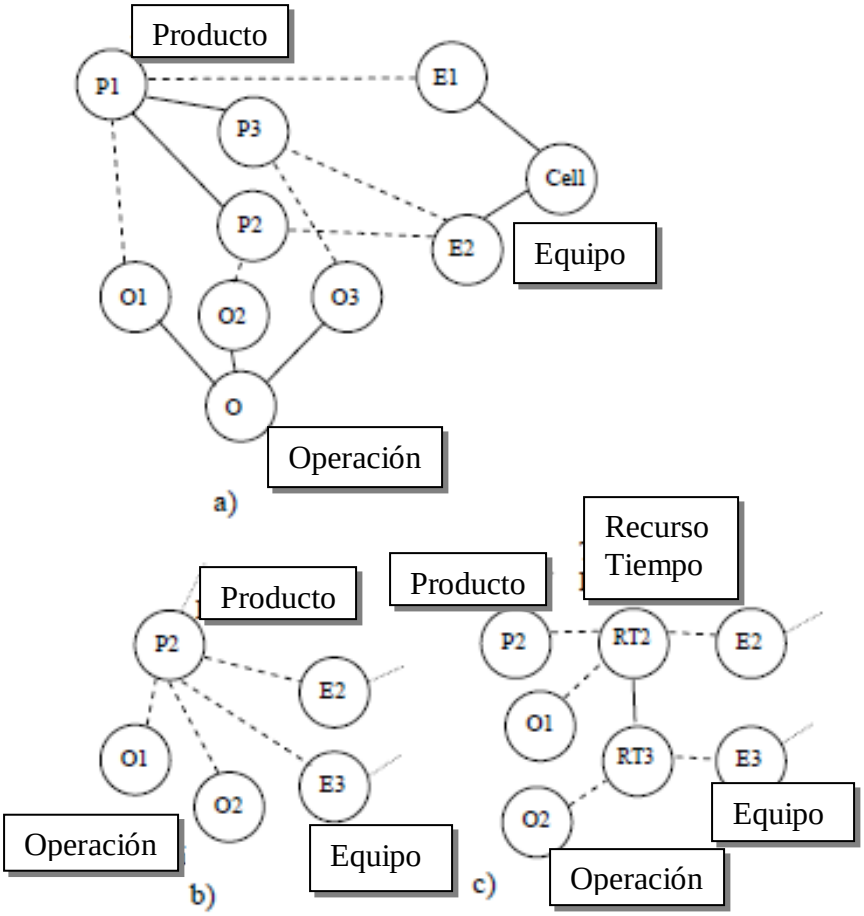

Figura 2.7: Abstracción de la secuencia de operación de los recursos de fabricación (Acosta J. E., 2016)

Por lo tanto, se requiere una vista de los elementos del sistema para entender la secuencia del sistema. En la Figura 2.8 se muestra la lista de materiales de la fabricación la cual se puede estructurar a fin de guiar la abstracción en la secuencia que se sigue en el proceso de fabricación.

(Acosta & Sastrón, 2007) mencionan que la abstracción de información del piso de producción contenida en el modelo iMRP, es necesaria para poder coordinar el flujo material y las operaciones. Para ello es necesario crear un sistema informático lanzador de órdenes, con base en 2.7 OPERACIÓN DIRIGIDA POR MODELO, utilizando la información contenida el modelo iMRP, descrita en sus nodos y arcos.

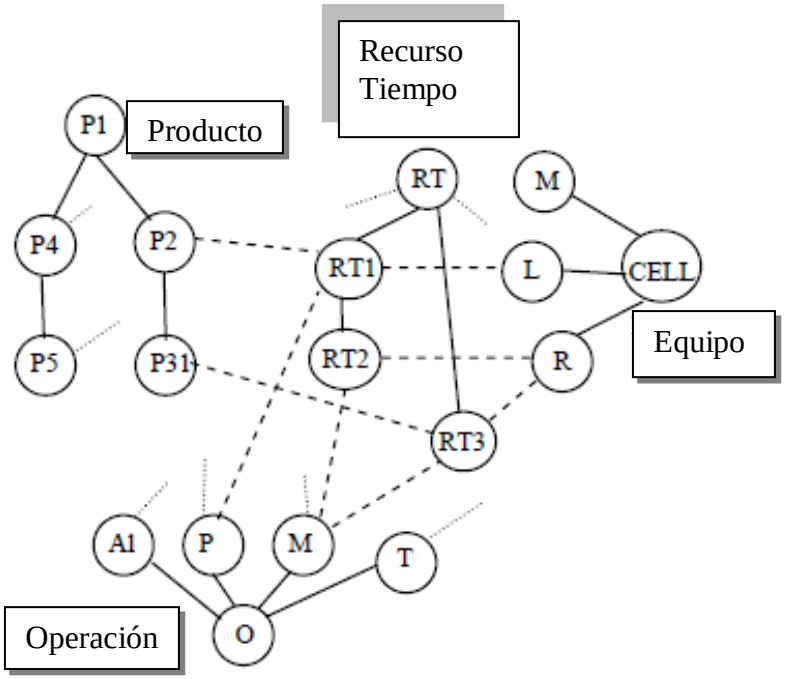

Figura 2.8: Abstracción de particularidades del proceso de fabricación (Acosta J. E., 2016)

2.3 ESTÁNDAR ISA 888

El estándar ISA (The International Society of Automation) S88 define modelos y metodologías para el diseño y operación de sistemas de control para una manufactura flexible, independiente del sistema de control (PLC, PC, etc.) e independiente de los algoritmos básicos de control. Este estándar se aplica a la fabricación por lotes en donde diferentes productos son realizados con los mismos equipos, la salida es una cantidad finita de materia y los productos están constituido con un orden definido de acción en su procedimiento.

Procesos por Lotes (Batch)

En un proceso por lotes se realiza una secuencia de operaciones específicas para realizar un producto, en donde no hay un flujo (simultáneo) constante de materiales de entrada y salida en el proceso, sino la salida es una cantidad de materia homogénea o un lote de materia.

La estrategia de ISA 88 es la separación de las recetas de los equipos, que puede ser aplicado a todos los niveles de automatización desde sistemas automatizados, semi-automatizado o sistemas con operaciones manuales. Existen tres partes importantes del estándar, la primera es cómo se hacen los productos (recetas), la segunda es qué herramienta física se necesita (equipo) y la tercera es cómo ejecutar el equipo el cual se describe en el control de actividades. En la siguiente imagen se muestra la relación que hay entre los diferentes modelos de ISA 88.

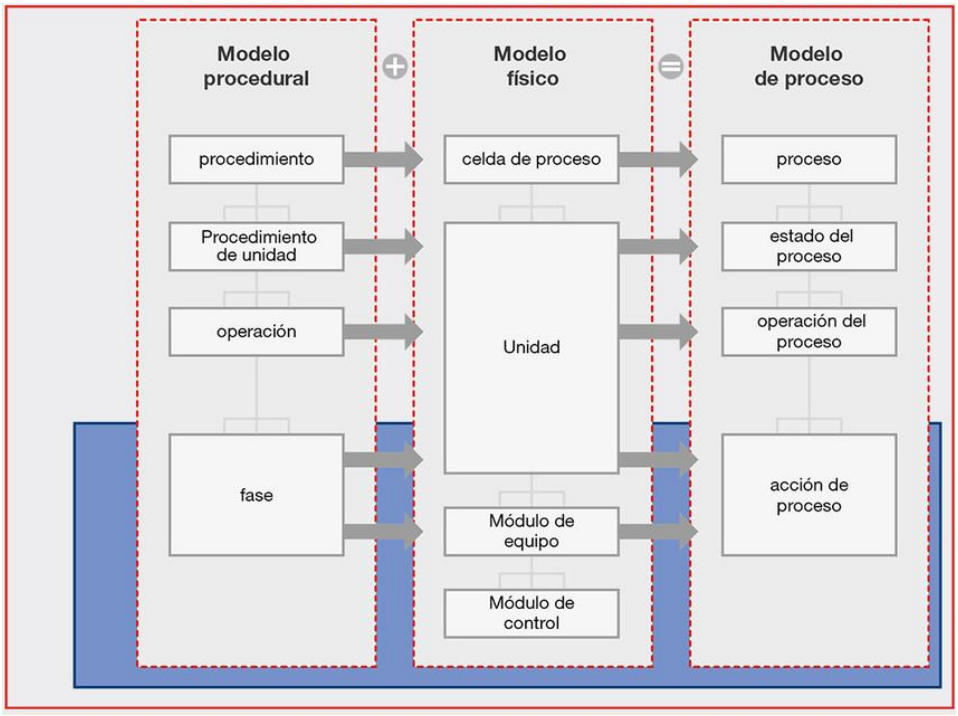

Figura *2*.9: Relación entre los modelos ISA S 88 (Gestión de recetas para procesos por lotes - Plant Batch iT, s.f.).

2.4 SISTEMA MICROSOFT PROJECT MANAGEMENT

La intensa competición en las industrias de procesos Batch, es producida como en otros sectores por la globalización económica y la diversidad del mercado, esto da como resultado que la vida del producto sea corta, incrementa el número de productos y se necesita una respuesta rápida en la empresa a los cambios en el producto. Por lo que han surgido nuevas formas de gestionar de manera separada las funciones (planeación, planificación, diseño de productos, etcétera) para cumplir los objetivos.

2.4.1 Microsoft Project

Microsoft Project es un software de administración de proyectos, el cual ofrece una manera de mostrar información acerca del diseño e implementación de un proyecto, es decir, describe la secuencia de actividades requeridas en la realización de un producto (proyecto). En donde se especifica el ¿Qué?, se planea el ¿Cómo?, se asigna ¿A quién? y se describe ¿Cuándo?. En cada actividad se puede describir cuánto tiempo dura, cuándo se hace y con qué recurso.

Figura 2.10: Microsoft Project (PDU Course MS Project 2013, 2013)

Según (Martinez, 1999), para integrar un marco de trabajo con Microsoft Project de soporte a la operación de un piso de producción por lotes (batch) es necesario analizar el piso de producción Batch. Tal análisis debe mostrar las funciones de producción/mantenimiento, las recetas de los productos, los equipos con los que se cuenta describiendo para que se usa, capacidades y la manera de comunicarse. Otra parte que es necesario poner atención es en la administración de recetas (el diseño, la implementación y la adaptación), en los procesos de supervisión y de mantenimiento, y en el control de las operaciones en el piso de fabricación que en el caso descrito por (Martinez, 1999) son operaciones manuales (no automatizadas).

Microsoft Project contendrá un alto nivel de abstracción de las recetas obteniendo una secuencia de los procesos Batch. Una posible manera de aprovechar la información contenida en Project es creando una interfaz con Visual Basic^{TM} el cual se encargará en hacer llegar la información a lugar (equipo, estación o célula) indicado.

2.5 ACOPLAMIENTO DÉBIL

El concepto de acoplamiento débil, fue originalmente analizado en el área de diseño organizacional por (Orton y Weick, 1990; Weick, 1976). Posteriormente (Acosta J. E., 2016), adaptó el modelo de (Orton y Weick, 1990) al área de integración sistema informático/equipo de producción, como una estrategia para aportar flexibilidad al acoplamiento., Al adaptarlo al área de integración sistema informático(SI)-Equipo de producción(EP) el modelo es enriquecido con la introducción de los componentes de acoplamiento tarea, rol y tecnología, (Acosta J. E., 2016). En la Figura 11, se muestra la abstraccion grafica de los componentes del acoplmaiento, en donde Te es tipo de equipos, O la opereacion, Ef el efecto, C son los comandos, A son argumentos de los comandos, Ps es el estado de la pieza, Pm el medio fisico de la comunicación y F1 funciones implementadas en codigo.

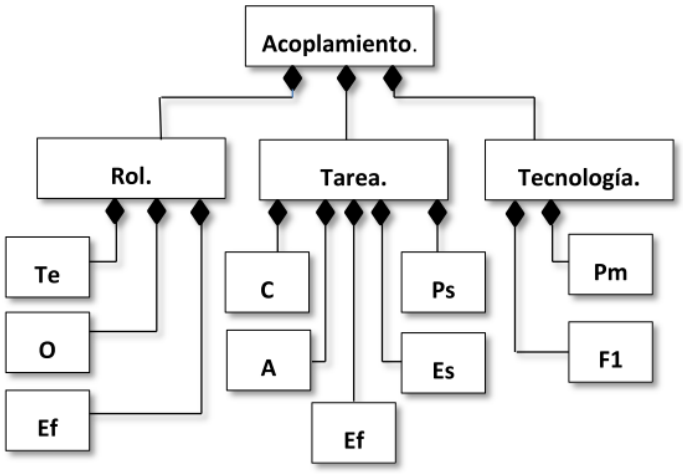

Figura 2.11: Componentes del Acoplamiento Débil (Acosta J. E., 2016)

El acoplamiento débil puede interpretarse en la integración SI-EP como el envió de ordenes al equipo por el sistema informático, existiendo una autonomía entre las intenciones del SI y las acciones que realiza el EP.

En la Tabla 2.1 (Acosta J. E., 2016) se describen aspectos relevantes del acoplamiento débil propuestos por (Orton y Weick, 1990) y su interpretación en la integración SI-EP. En la tabla 1, se muestra la interpretación dada por (Acosta J. E., 2016) al modelo propuesto por Orton y Weick en el área de diseño organizacional, para su aplicación al área de acoplamiento débil en la integración SI-EP y sus efectos, esto para apoyar la operación de sistema con condiciones de autonomía-comunicación utilizando compensadores (liderazgo ampliado, enfoque de atención, valores compartidos) de acoplamiento débil aplicados a los componentes (rol, tarea, tecnología).

El compensador de enfoque de atención menciona que el acoplamiento débil es beneficiado a través de la reducción de regulaciones y el enfoque en detalles esenciales. En el análisis del componente rol, el sistema informático al comandar el equipo debe evitar los detalles específicos respecto al rol del equipo, esto lo realiza con la reducción de cuatro tipos de roles de equipo de producción. Lo cual se muestra en la *Ecuación 1*.

$$Te = |Procesador|Manipulador|Transporte|Alimentación/Retiro|$$

$$O = |Procesamiento|Manipulación|Transporte|Alimentación/Retiro|$$

$$Ef = |Procesada|Manipulada|Transportada|Alimentada/Retirada|$$

Ecuación 1.- Componente Rol

Tabla 2.1: Aspectos importantes del Acoplamiento Débil, (Acosta J. E., 2016) .

Modelo de Orton y Weick		Traducción al Domino SI-EP.
Voces del Modelo Orton	Elementos de Acoplamiento.	
Ambiente de un sistema débilmente acoplado.	Varios medios conducen al mismo fin.	Existen diferentes alternativas para lograr el mismo fin; amplia variedad de equipos con la capacidad de realizar el mismo proceso.
	Relativa ausencia de regulaciones.	Existencia y aceptación de una amplia variedad de estándares desde diferentes puntos de vista tales como naturaleza, fabricante o modelo de equipo.
Tipos de acoplamiento débil.	Acoplamiento entre niveles jerárquicos.	Comandar discretamente y delegar los detalles de implementación al nivel equipo.
	Acoplamiento entre intenciones y acciones.	Acoplamiento entre la intención de realizar cierto proceso y tanto el equipo disponible para ello como la libertad en la toma de decisiones para lograrlo.
Compensadores.	Liderazgo ampliado. Enfoque	Comandar discretamente y delegar los detalles de implementación al nivel equipo.
	Enfoque de atención.	Centrarse en los aspectos esenciales para el control del equipo.
	Valores compartidos.	Acoplamiento utilizando preferiblemente, tecnologías de propósito general.

Tabla 2.1(Continuación): Aspectos importantes del Acoplamiento Débil

Modelo de Orton y Weick		Traducción al Domino SI-EP.
Voces del Modelo Orton	Elementos de Acoplamiento.	
Consecuencias del acoplamiento débil.	Persistencia.	Sistema informático (SI) debe permanecer invariable ante cambios en los tipos de equipo, lenguajes, estándares de operación y plataforma de computación.
	Amortiguamiento (Buffer).	Modificaciones en el conjunto de equipos de producción (EP) no deben afectar al sistema informático (SI).
	Adaptabilidad:	Asimilación y adaptación al cambio.
	Experimentación	Adaptabilidad que soporta identificación de soluciones
	Juicio colectivo	Usar estándares de propósito general en lugar de estándares de un dominio particular, (valores compartidos).
	Discrepancia	Incluye situaciones no tomadas en cuenta en tiempo de diseño.
	Satisfacción	Facilidad para cubrir necesidades (menor conexión entre elementos).
	Efectividad	Logro de mejores soluciones a través de experimentación e innovación.

En el componente tarea, los estados de equipo y pieza pueden ser manejados discretamente por el sistema informático, enfocándose en los detalles esenciales delegando la actualización de los equipos y piezas a objetos informáticos. Así manejando un conjunto de parámetros reducido de la siguiente manera:

C =|Operar|Pausar|Detener|Abortar|

A = |Opcional|Nombre del archivo y ubicación|

Ef = Ps = |Procesada|Manipulada|Transportada|Alimentada/Removida|

Es = Vacante|Operando|Terminado|Pausa|Pausando|Detenido|Deteniendo|
|Abortado|Abortando|Parcialmente Operacional|Inoperable|

Por último, en el componente tecnología, el sistema informático comunica la tarea en forma independiente del medio físico de comunicación, favoreciendo al uso de funciones genéricas para la comunicación, estos son definidas por el conjunto de comandos a manejar. A lo que se reduce todas las diferentes variables en la comunicación:

Pm = Φ (conjunto vacío)
F1 =|Operar|Pausar|Detener|Abortar|

En conclusión, con el uso del acoplamiento débil se reduce la incertidumbre a manejar por el sistema informático respecto a variables dependientes del equipo de producción a integrar. En la Tabla 2.2 (Acosta J. E., 2016) muestra el conjunto de variables en la integración sistema informático (SI)-equipo de producción (EP), en donde se ve una reducción de los posibles variables en el ambiente a unas cuantas variables fijas a manejar por el sistema informático, obteniendo así las ventajas del acoplamiento débil al momento de interactuar el equipo de producción con el sistema informático.

Tabla 2.2: Conjuntos de variables en la Integración SI-EP, (Acosta J. E., 2016) .

Elemento de integración.	**Posibles variables en el ambiente.**	**Variables a manejar por el sistema informático.**
Pm –Medio físico de comunicación.	|Ethernet|RS 232| |RS 485|USB|GPIB|...	Φ – conjunto vacío.
F1 = Función del medio físico.	|SendData|WritePort|DataArrival|...	|Operar|Pausar|Detener| |Abortar|
Te = Tipo de equipo de producción	|Robot|Torno|Horno|Prensa|Taladro|... |Procesador|Manipulador |Transporte| |Almacenamiento/Retiro|	|Operar|Pausar|Detener| |Abortar|
C = Comandos A = Argumentos.	|Encender|Operar|Pausar|Abortar| |Mover|Road|Reset|... |Programa1|PosA|...	Nombre del archivo y ubicación.
Es = Conjunto de estados de equipo	|Operando|Apagado|Cargado| |Mantenimiento|...	|Vacante|Operando| |Terminado|Pausa| |Pausando|Detenido| |Deteniendo|Abortado| |Abortando|
O = Conjunto de operaciones	|Taladrar|Ranurar|Grabar|Pulir|Templar |Mover|Cargar|...	|Procesamiento| |Manipulación|Transporte |Almacenamiento/Retiro|
Ps = Conjunto de estados de pieza	|Taladrada|Ranurada|Grabada|Pulida| |Templada| Pulida|...	|Procesada|Manipulada| |Transportada| |Alimentada/Removida|

2.6 ARQUITAM

ArquiTAM es un esquema de referencia para el desarrollo de sistemas informáticos orientado al control de pisos de producción. Cuenta con tres niveles de abstracción que corresponden al nivel conceptual, implementación genérica e implementación particular, (Acosta & Sastron, 2006). ArquiTAM incluye la técnica iMRP para el manejo de particularidades del piso de producción, para la gestión de producción en sistemas informáticos, el cual ha sido aplicado a sistemas de fabricación discreta en la coordinación del flujo y procesamiento de piezas. En la estructura de ArquiTAM existe una relación entre Conceptos Abstractos, Modelo de Referencia y Modelo Particular. En la Figura 2.12, se

muestra la estructura de los conceptos que intervienen en el sistema informático de control para el desarrollo y su actualización.

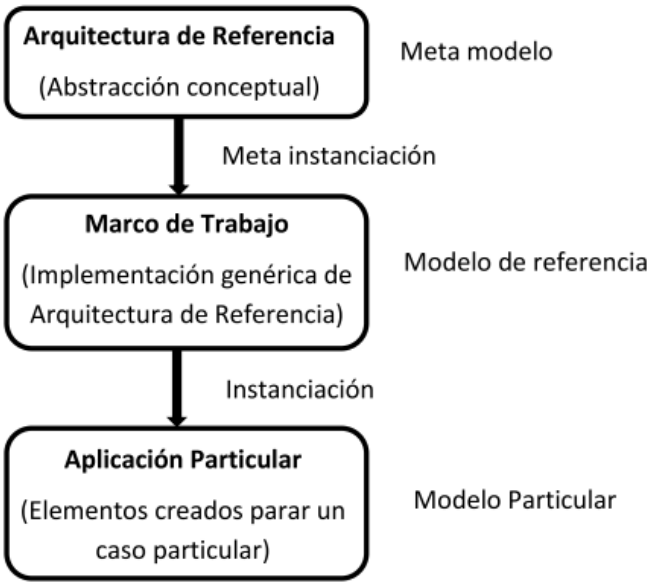

Figura 2.12: Estructura de ArquiTAM para el desarrollo y aplicación del sistema (Acosta & Sastron, 2006)

En el nivel superior se ubica la Arquitectura de Referencia, que establece de una manera abstracta los conceptos básicos y lineamentos relacionados con el área del sistema, es decir, se encuentran los requerimientos necesarios para el dominio y desarrollo de conceptos para una solución, es un esquema que guía la implementación del sistema. En el siguiente nivel se sitúa el Marco de Trabajo que describe al modelo de referencia como una manera de implementar los conceptos abstractos descritos en la arquitectura de referencia en forma de código ejecutable por computadora de una manera genérica, por lo tanto, el marco de trabajo incluye componentes reusables y funcionalidad para facilitar la generación (instanciación) del sistema para una aplicación en particular. En el último nivel se encuentra el modelo particular, que puede verse como una instancia individual creada a partir de las clases implementadas obteniendo una relación entre el modelo de referencia y modelo de referencia (clases-objetos). Gómez (2012) muestra de manera gráfica el concepto de ArquiTAM en la Figura 2.13.

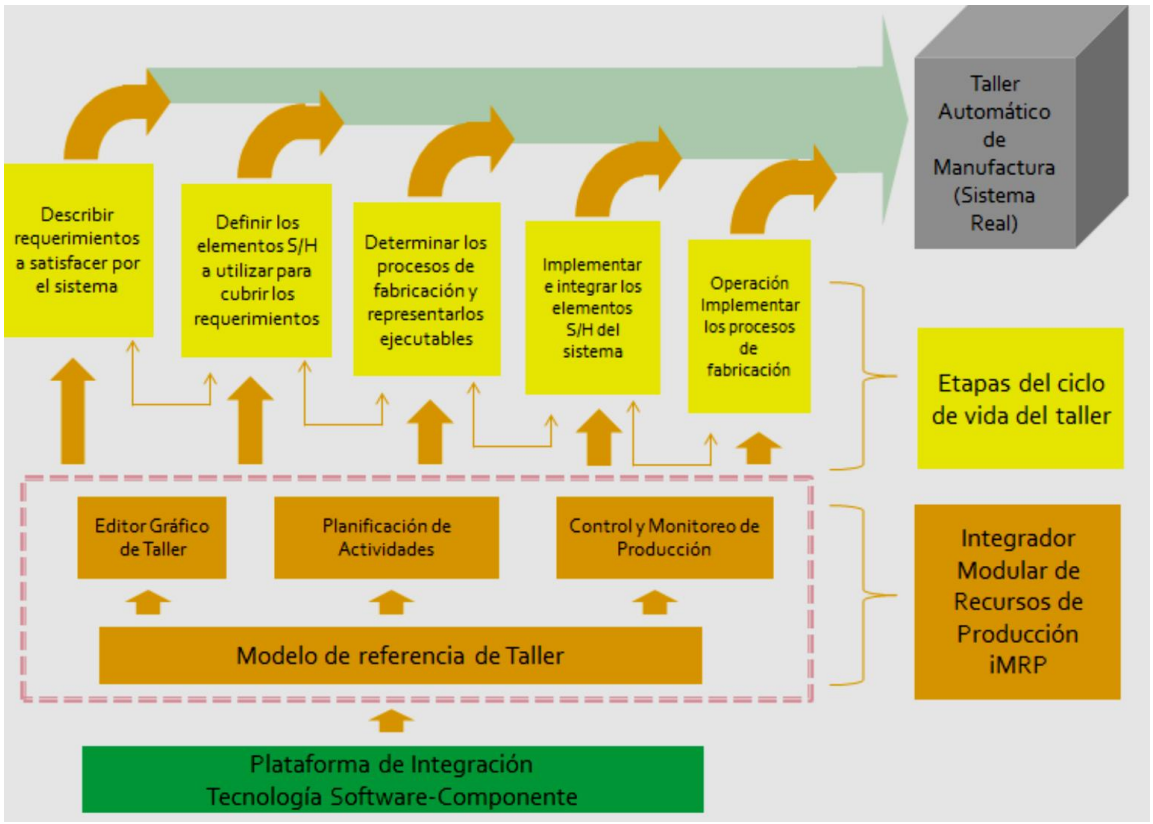

Figura 2.13: Esquema de Referencia ArquiTAM (Gómez, 2012)

2.7 OPERACIÓN DIRIGIDA POR MODELO

El concepto operación dirigida por modelo en la manera propuesta en ArquiTAM implica tanto implementación como operación dirigida por modelo. En el primer caso se refiere a una relación de instanciación entre un modelo de referencia o marco de trabajo y un modelo particular, definida en el paradigma orientado a objetos con la relación de una clase y un objeto de la misma. En donde, el marco de trabajo es particularizado generando los objetos correspondientes a cada uno de los equipos de producción en un piso determinado, y el modelo particular es una instancia correspondiente a un caso concreto, a partir de clases definidas en el modelo de referencia. Al implementar el modelo a partir de marco de trabajo, en forma de objetos software que representan a los recursos (equipos) del sistema de producción. De esta manera Acosta (2015) menciona que la implementación del modelo particular resulta de un proceso de generación de objetos a partir de las clases respectivas, implementadas en el marco de trabajo (una herramienta informática), estos objetos software

representan a los recursos de fabricación equipo, especializados de acuerdo al tipo (rol) de los existentes en el piso de producción especifico.

Acosta (2015) describe el proceso para instanciar el modelo particular a partir del marco de trabajo, con base en la estructura de clases para la integración de cada uno de los equipos de producción se muestra en la Figura 2.14.

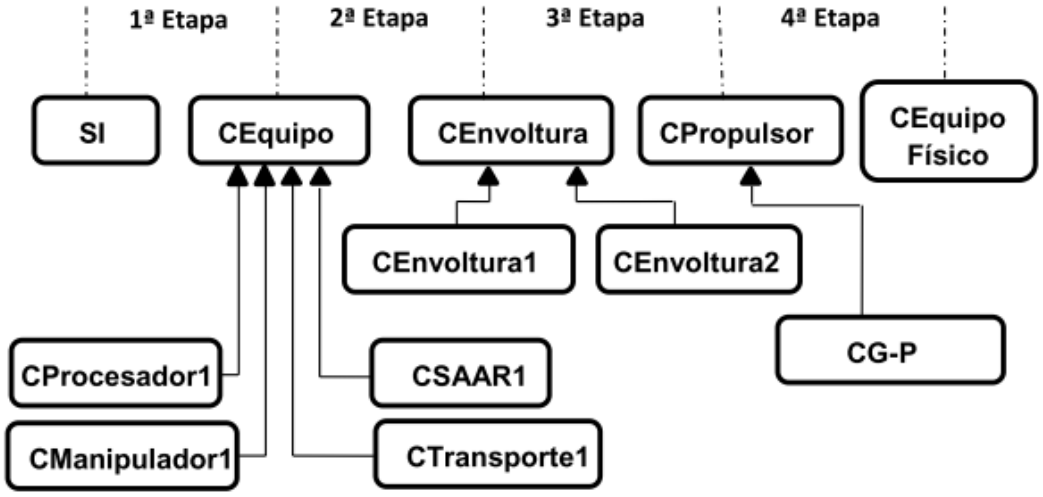

Figura 2.14: Diagrama de clases del marco de trabajo (Acosta J. E., 2016)

El sistema informático (SI) junto al marco de trabajo, crean los ejemplares de objetos software (Clase o subclases de CEquipo), representante de los equipos de producción y pueden ser de los cuatro tipos posibles (subclase de CEquipo). El objeto software y sistema informático, operan en la misma plataforma de computación, en la Figura 2.15 se muestra la primera etapa utilizando la tecnología software componente para que el objeto representante sea instanciado, de esta forma es posible crear nuevas implementaciones de clases representante en tiempo de ejecución, por lo tanto se obtiene una flexibilidad para agregar nuevas instancias de los equipos que se encuentren en el entorno de producción y se evita la reconfiguración del sistema de control. Esto ofrece un acoplamiento débil al momento de agregar otro marco de trabajo al sistema informático.

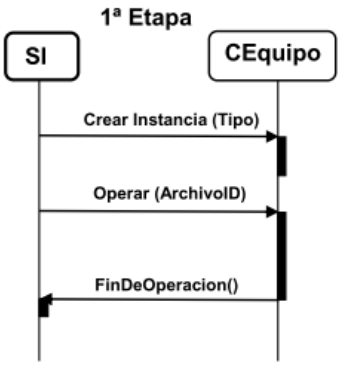

Figura 2.15: Diagrama de secuencia de la primera etapa (Acosta J. E., 2016)

En la Figura 2.16 se muestra la segunda etapa, donde la comunicación se realiza entre objetos remotos, el representante (CEquipo) y la envoltura (CEnvoltura), entre ellos debe haber una compatibilidad en el protocolo de comunicación, los objetos pueden estar operando en distinta plataforma computacional. En caso de modificaciones en el protocolo del objeto envoltura, el sistema informático solo debe instanciar un nuevo objeto representante que incluya el protocolo adecuado.

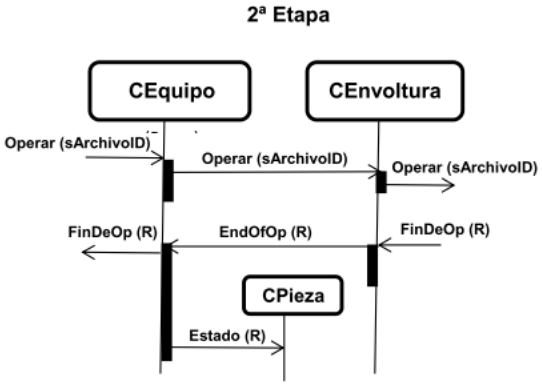

Figura 2.16: Diagrama de secuencia de la segunda etapa (Acosta J. E., 2016)

En la tercera etapa, la comunicación es simplificada entre los objetos envoltura y propulsor, al estar en la misma plataforma computacional. El objeto envoltura utiliza la tecnología software componente para crear un ejemplar del tipo propulsor con las particularidades del controlador del equipo especifico. Si es necesario cambiar de controlador (o equipo), se debe crear una nueva implementación de la clase propulsor y el objeto crearía la instancia del nuevo tipo de propulsor. El propulsor maneja los comandos de programación del controlador al leer el archivo especificado, siendo trasparente al objeto envoltura.

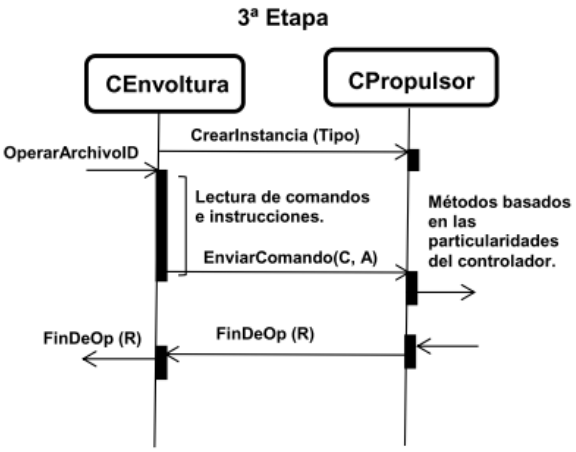

Figura 2.17: Diagrama de secuencia de la tercera etapa (Acosta J. E., 2016)

En la última etapa, el objeto propulsor comunica el comando (detallado) al controlador del equipo físico de producción. El objeto propulsor atiende los detalles particulares del controlador, por ejemplo, el medio de comunicación, la manera de comunicar comandos y argumentos al controlador. En un archivo especifico podría ser enviados los comandos y argumentos escritos directamente al controlador del equipo. En caso de cambiar el medio físico de comunicación, se deberá cambiar el tipo de objeto propulsor, esto sería transparente a los demás objetos.

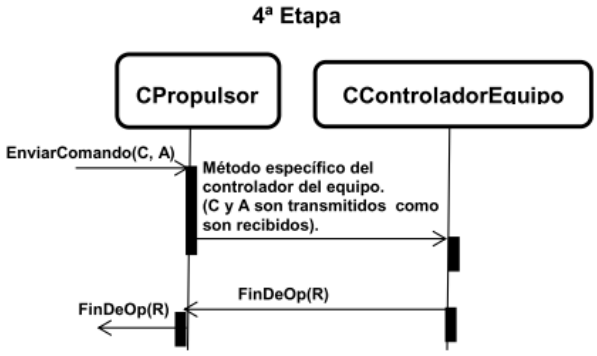

Figura 2.18: Diagrama de secuencia de la cuarta etapa (Acosta J. E., 2016)

En el caso de operación dirigida por modelo, el sistema informático en ejecución interpreta el modelo con las particularidades del sistema y coordina la operación del mismo. En el modelo de particularidades iMRP se abstraen las características específicas de un caso particular, asociado al modelo de referencia e interpretable por un sistema informático. En este tipo de modelado solo se emplean los constructores nodo y arco. Cada recurso es

representado por un nodo y son clasificados en producto (compuesto por fases, piezas y/o ensambles), equipos de producción, operaciones y la interacción entre ellos es el tiempo (describe la secuencia de operación). En el caso de los nodos que representan a cada uno de los equipos, en los atributos se especifica el tipo de clase del objeto representante a utilizar y las direcciones a utilizar en la comunicación en la red del objeto envoltura y de mismo objeto representante. Mediante arcos se asocian las operaciones a realizar por el equipo a determinada pieza (fase), en determinado momento. El arco que asocia el recurso operación y tiempo, el atributo Var1 es utilizado para indicar la tarea a realizar (archivo y ubicación del mismo) por el equipo con una operación específica. En la Figura 2.19, se muestra el modelo de particularidades y su relación con el sistema real, el modelo de referencia y el modelo particular.

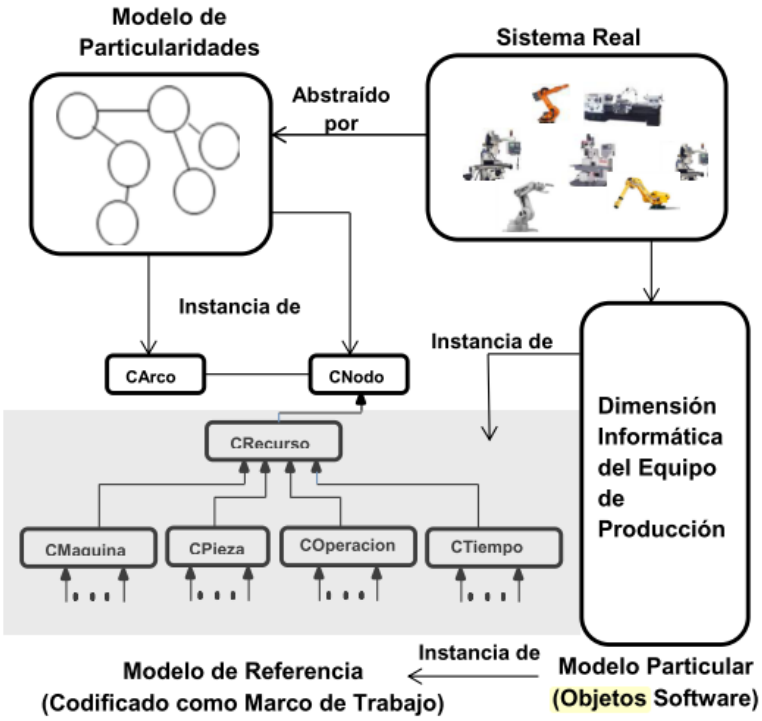

Figura 2.19: Niveles de abstracción del equipo de producción (Acosta J. E., 2016)

Al tener un sistema informático lanzador de ordenes con base en el concepto de acoplamiento débil y operación dirigida por modelo, se puede gestionar las operaciones que se realizan en el piso de producción, al interpretar un modelo particular iMRP. Acosta (2015) describe que el modelo de particularidades iMRP contiene la información requerida para que

un sistema lanzador de ordenes pueda coordinar el ciclo de vida de un producto, creando instancias para establecer la comunicación con los equipos y así poder lanzar órdenes a los equipos especificando los programas a ejecutar, para esto es necesario verificar que las ordenes predecesoras a la que se va lanzar estén realizadas y revisar disponibilidad de los equipos.

Figura 2.20: Descripción gráfica de la operación dirigida por modelo

Capítulo III: Planteamiento del problema

3.1 INTRODUCCIÓN

El control de procesos de producción por lotes es una tarea compleja debido a la diversidad de productos que generalmente se fabrican en una planta, así como la variedad de elementos del sistema físico de producción (depósitos, reactores, tuberías, etc.) posibles a utilizar para un mismo producto. Por tal motivo resulta necesario un sistema informático flexible que facilite los cambios de receta, producto o equipo de producción para obtener un mayor aprovechamiento de los recursos disponibles en el piso de producción, que eventualmente permita optimizar el tiempo y uso de cada equipo instalado en el área de producción.

El concepto de operación dirigida por modelo ampliamente utilizado en el área de flujo de trabajo (modelado de procesos de negocios), no ha sido abordado en el mismo sentido en el área de control de piso de producción. En cierta medida esta falta de interés de la comunidad académica respecto al uso del concepto en la operación del piso de fabricación puede originarse en la falta de una técnica de modelado que facilite la abstracción del sistema de producción.

En el presente proyecto de tesis se plantea experimentar con la técnica de modelado de particularidades denominada iMRP (Acosta & Sastrón, 2007), como base para la aplicación del concepto de operación dirigida por modelo, en el control de equipó de producción en un sistema de fabricación por lotes.

Para obtener una flexibilidad en el sistema informático se aplican los conceptos de ArquiTAM (Acosta, 2016), para el desarrollo de herramientas informáticas dirigidas al control del piso de producción, esto para ofrecer flexibilidad en el conjunto de máquinas y funciones lógicas en un sistema de lanzamientos de órdenes. La aplicación se orienta a un entorno sistema de producción por lotes, en donde existe un gran número de variables en sus procesos que conlleva una complejidad del control en el piso de producción.

3.2 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un sistema lanzador de órdenes de producción de un sistema de producción por lotes, basado en iMRP para el modelado, simulación y control del proceso.

3.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1) Identificar los tres niveles de la arquitectura del esquema ArquiTAM para el desarrollo de un emulador de sistema de producción por lotes.

2) Adaptar la técnica de modelado de particularidades iMRP a un sistema de control de producción por lotes.

3) Aplicar el concepto de operación dirigida por modelo con base en iMRP a un sistema de control de producción por lotes emulado.

3.4 TÉCNICAS A APLICAR EN LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA.

Para obtener la solución al problema planteado, es necesario conjuntar diferentes técnicas para usar en el desarrollo del sistema lanzador de órdenes y obtener con una flexibilidad para la integración sistema informático con el equipo de producción. Para esto, se crea una arquitectura de referencia con base en ArquiTAM y se aplica la técnica de modelado iMRP para crear los modelos particulares sobre una receta en un área de producción especifica. Para el desarrollo del sistema lanzador se usa el paradigma orientado a objetos utilizando el lenguaje de programación Visual Basic® en el ambiente .NET, los modelos iMRP al crearlos en el editor se guarda en archivos XML por lo que el sistema necesita de-serializarlos para crearlos a objetos y poder procesar la información que contienen. También es necesario utiliza la creación de objetos por reflexión en tiempo de ejecución, esto ofrece una flexibilidad y acoplamiento débil a los cambios que se generen en su entorno. En la comunicación que existe entre el sistema lanzador y el equipo de producción se realizará mediante la mensajería de colas de Windows (MSMQ) para establecer una interacción entre las diferentes aplicaciones mediante un protocolo de comunicación. Para el control del proceso se aplica el concepto de Operación Dirigida por Modelo, por lo que el sistema debe sacar el ciclo de vida de cada modelo iMRP y con base en él empezar a lanzar

a operar las tareas verificando la disponibilidad del recurso a utilizar. Al mostrar una simulación de lo que ocurre en el área de producción para un caso específico, las variables con las que reacciona la simulación están contenidas en los atributos de los nodos y arcos del modelo iMRP. Una última técnica es Microsoft Office Project® para mostrar la función de planificación, en donde se encuentra de una manera organizada las tareas que se realizan, las realizadas y las pendientes, en un área de producción.

3.5 UTILIDAD DEL PROYECTO

En la actualidad las empresas buscan optimizar sus procesos para reducir tiempos y costos al momento de producir sus productos. En los procesos de producción por lotes, se fabrica una variedad muy amplia de productos, situación que incrementa la complejidad en el sistema de coordinación del flujo y procesamiento del producto por tal motivo, resulta de interés la informatización del piso de producción para controlar de manera automática los procesos de fabricación. Por lo tanto, resulta de utilidad un sistema informático que soporte el control del área de producción. Para tal efecto se requiere modelar la información del proceso de producción, en el presente proyecto de tesis se propone el modelado clasificando los productos, equipos y operaciones de acuerdo al estándar ISA S88 y la técnica iMRP.

En la solución a desarrollar se busca aprovechar las características tanto del estándar como de la técnica de modelado mencionados en el párrafo anterior, para lograr un sistema flexible de producción a nivel integración sistema informático – equipo de producción.

Capítulo IV: Desarrollo

4.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se describe el desarrollo del sistema para obtener la solución del problema planteado en el capítulo anterior. Para el desarrollo del sistema informático de control se toma con base en la arquitectura ArquiTAM con los conceptos de acoplamiento débil y operación dirigida por modelo. Dicha solución al problema plantea tener un sistema de control con módulos que interactúan con base al modelo iMRP, para poder establecer una comunicación con los equipos que se encuentran el piso de producción y poder enviarles órdenes a los equipos y obtener una simulación del proceso.

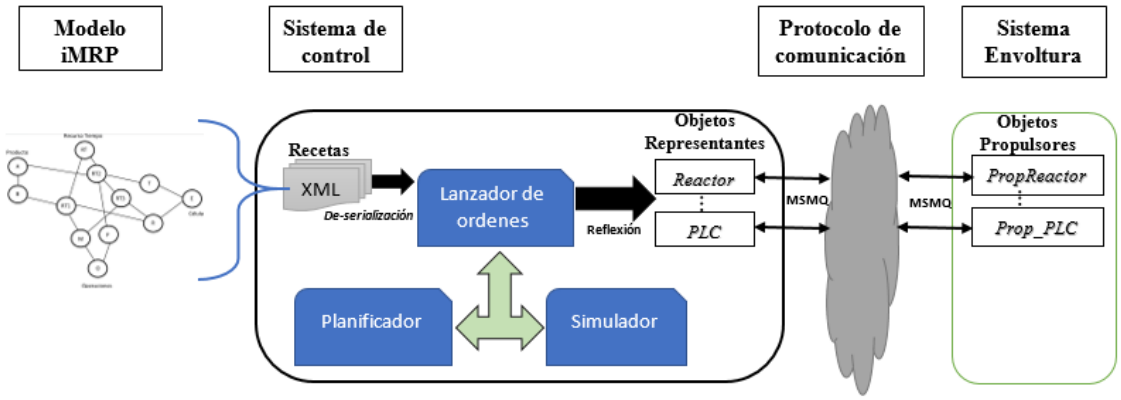

Figura 4.1 Diagrama a bloques de la solución del problema

En la Figura 4.1 se muestra un diagrama a bloques el cual contiene la estructura que contendrá la solución del problema, dicha solución se conforma de dos sistemas informáticos, el primero sistema es de control con base al modelo iMRP para la planificación de proyectos, lanzamiento de órdenes a los equipos y un entorno de simulación de operación del piso de producción; el otro sistema es el encargado de emular la operación de los equipos al recibir las ordenes de operación y poder generar diferentes eventos que ocurren en el equipo, por ejemplo fin de operación, paros de emergencia y abortos de proyecto. A continuación, describe las partes que comprenden la solución y se explican los módulos de los sistemas.

4.2 MODELO IMRP

Los modelos iMRP son la parte esencial para el funcionamiento del sistema de control (operación dirigida por modelo), al contener la información particular de un sistema de producción específico, para que los diferentes módulos operen en conjunción para el fin de controlar el piso de producción. A continuación, se describen las características relevantes al momento de crear el modelado de los procesos que se llevan a cabo en un área específica de producción.

La técnica de modelado iMRP (Acosta & Sastrón, 2007) es una abstracción de características específicas del piso de producción, en donde se utilizan únicamente nodos y arcos, los cuales son instanciados a partir de clases implementadas en el marco de trabajo. En la Tabla 4.1 se muestran los atributos de las clases de los constructores nodo y arco.

Tabla 4.1: Argumentos de los constructores iMRP (Acosta & Sastrón, 2007)

CNodo	**CArco**
ID	ID
GrafoID	GrafoID
Tipo	Cantidad
Nombre	Var1
Nivel	Var2
Var1	Var3
Var2	

Para crear un modelo iMRP se utiliza el "editor de iMRP" desarrollado en (Gonzalez, 2017) en donde se crea el modelo con base en nodos y arcos, contando con las características de moverlos en el diagrama, modificar sus tamaños y asignarles valor a los atributos de cada nodo y arco. La aplicación ofrece la opción de guardar el modelo creado en archivos XML para después abrirlos en la misma aplicación para modificaciones. También es útil guardarlo en archivo XML para que el sistema de control pueda procesarlo, al de-serializar el archivo con base en las clases nodo y arco del sistema de control y así crear las instancias con la información previamente guardada.

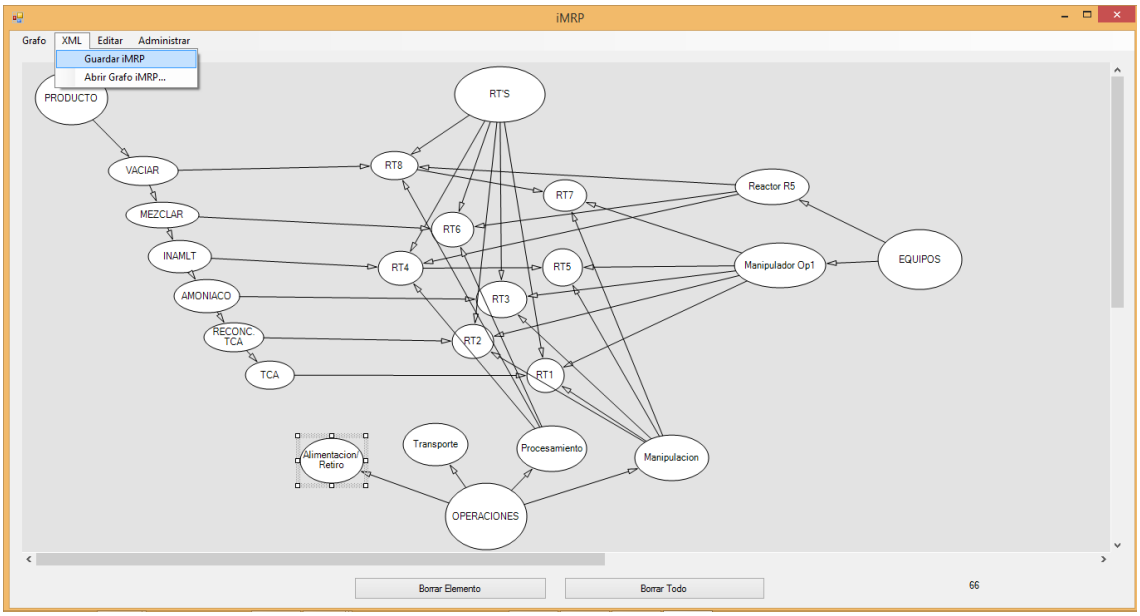

Figura 4.2: Editor iMRP

El modelo iMRP maneja en forma de nodos los cuatros del sistema de producción planteados en la arquitectura AquiTAM (Producto, Operación. Equipo y Recurso Tiempo). En donde el recurso tiempo asocia a los otros tres tipos de recursos, para tener una relación entre los nodos se hace mediante los arcos. En la Tabla 4.2 (Acosta & Sastrón, 2007) plantean el uso de los atributos de los nodos y en la Tabla 4.3 para los arcos.

Tabla 4.2: Atributos de Nodos

Tipo de Grafo	**Producto**	**RecursoTiempo**	**Equipo**	**Operación**
ID	<automático>	<automático>	<automático>	<automático>
GrafoID	<automático>	<automático>	<automático>	<automático>
Tipo	Clase y aplicación	Clase y aplicación	Clase y aplicación	Clase y aplicación
Nombre	Opcional	Opcional	Opcional	Opcional
Nivel	<automático>	<automático>	<automático>	<automático>
Var1	Reserva	Reserva	Dirección de recepción de mensajes-Representantes-.	Reserva
Var2	Reserva	Reserva	Dirección de recepción de mensajes-Clase Envoltura-.	Reserva

Al aplicar el sistema al área de producción por lotes es necesario adaptarse al estándar ISA 88, donde se propone separar las recetas de los equipos y establece metodologías para el diseño y operación del sistema de control. Por lo cual, es importante aprovechar los atributos de los nodos y arcos, para especificar la orden, el lote y las fases. Por ejemplo, en la

Figura 4.3 se muestran los atributos del nodo Producto en el cual la var2 es utilizada para la orden y el lote, y para guardar la fase se utiliza la var2 en el arco que relaciona el nodo operación con el nodo recurso tiempo como se muestra en la Figura 4.4.

Tabla 4.3: Atributos de Arcos

GrafoID	<automático>
Cantidad	Duración de la Operación
Var1	ID del Programa. (Descripción de la tarea a realizar)
Var2	(Transporte o manipulación) Origen
Var3	(Transporte o manipulación) Destino

También en el atributo del nodo producto general se especifica el nombre de la receta y el operador que será encargado de realizarla. El sistema de control tiene un módulo para mostrar de manera visual la simulación de los equipos que se encuentran operando en el piso de producción en tiempo real, para esto se utiliza la var3 de los arcos entre el nodo recurso tiempo y nodo operación.

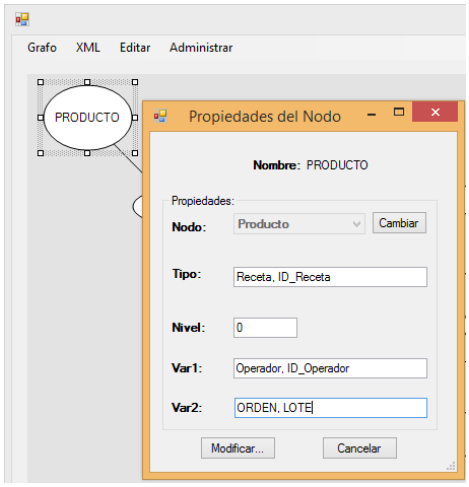

Figura 4.3: Atributo nodo producto

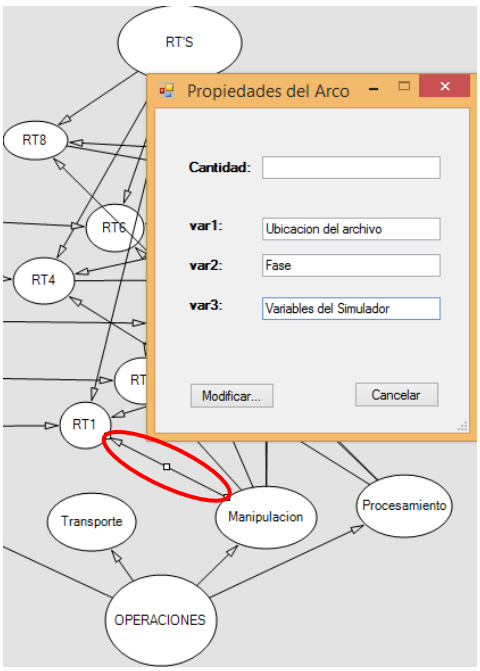

Figura 4.4: Atributos del arco

Para obtener en el sistema de control un acoplamiento débil y una flexibilidad a los cambios en el entorno, se utiliza el concepto de operación dirigida por modelo, en donde se establece una comunicación del sistema de control al equipo. Para esto a cada recurso equipo es necesario definir el tipo de clase del representante del equipo en el atributo "Tipo" y especificar la dirección de envío y recepción de mensajes, Figura 4.5. En la Figura 4.4 el atributo var1 contiene la ubicación del programa que contiene las instrucciones que el equipo debe realizar.

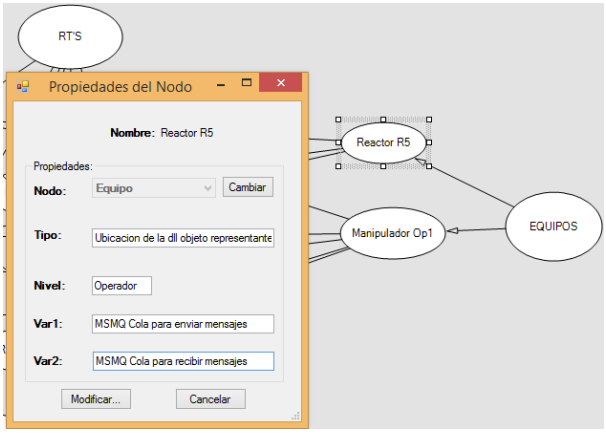

Figura 4.5: Atributos del nodo equipo Atributos del nodo recurso tiempo

Para el módulo de planificador es necesario tener una duración aproximada de la operación y así mostrar de una manera ordenada el ciclo de vida del producto con base en el tiempo. En el atributo var1 del nodo tipo recurso tiempo es empleada para definir la duración en la operación, Figura 4.6.

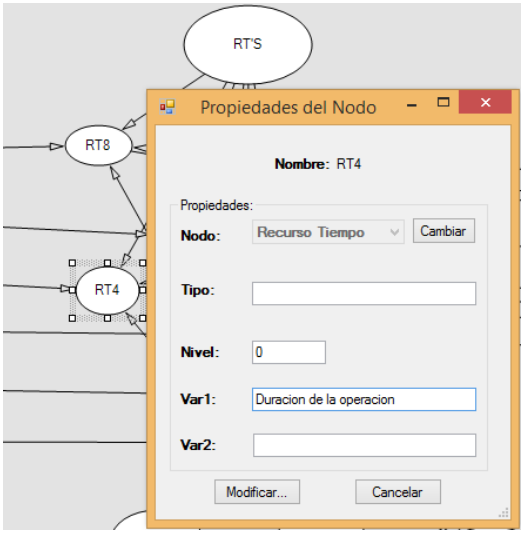

Figura 4.6: Atributos del nodo recurso tiempo

4.3 SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control se realiza con base en la arquitectura de referencia ArquiTAM la cual plantea una forma de crear sistemas flexibles con un acoplamiento débil en su entorno, es decir, el sistema ofrece una adaptabilidad a cambios de recetas, productos y/o equipos. Otra característica importante de la arquitectura es la aplicación de la operación dirigida por modelo, en este caso se usa el modelo iMRP en donde se abstrae la información necesaria para realizar un producto en un entorno de fabricación específico, cada modelo describe el flujo de las operaciones para realizar cada producto, por lo tanto, al procesar cada modelo por un sistema informático se puede coordinar el flujo de operaciones a cada uno de los equipos que se encuentran en el entorno de producción.

4.3.1 Recetas en modelo iMRP

Las recetas contienen la información para realizar un producto en un piso de producción específico. Para esto las recetas son abstraídas en modelos iMRP los cuales son

guardados en archivo con formato XML, para que el sistema de control las pueda instanciar y poder procesar la información contenida. Para poder interpretar el modelo iMRP es necesario tener las clases genéricas del grafo que son listas de nodos y arcos.

Tabla 4.4: Clases genéricas en el marco de trabajo

Clase Grafo	Clase Nodo	Clase Arco
idGrafo	Id	id
Nombre	Nombre	Origen
Fecha	Index	Destino
Tipo	idGrafo	idGrafo
Arreglo de Nodos	Tipo	Cantidad
Arreglo de Arcos	Nivel	Var1
	Var1	Var2
	Var2	Var3

Para interpretar el modelo, se de-serializa el archivo XML en el sistema de control. En el Listado 4.1 se muestra el código en Visual Basic, en donde el método recibe como parámetro la ubicación del archivo XML para después de-serializar el archivo con base en la clase genérica Grafo.

Listado 4.1: Método para de-serializar

```
Public sub deserializar (xml_Adress As String)

     Dim objStreamReader As New StreamReader(xml_Adress)
     Dim x As New XmlSerializer(GetType(Grafo))

     grafo = x.Deserialize(objStreamReader)
     objStreamReader.Close()

End Sub
```

Después de de-serializar el modelo es necesario agrupar los nodos por los cuatro tipos de recursos, para esto se crean listas de cada uno de los recursos y se empiezan a clasificar con base en el atributo “Tipo” de cada Nodo. En el Listado 4.2 se muestra el método que se utiliza para clasificar los recursos en listas de objetos tipo Nodo.

Listado 4.2: Clasificación de los nodos en recursos

```
Public Sub clasif_Nodos()
        For Each items As Nodo In Nodos
            If items.Tipo = "Equipo" Then
                lista_Equipo.Add(items)
            ElseIf items.Tipo = "Recurso Tiempo" Then
                lista_rts.Add(items)
            ElseIf items.Tipo = "Producto" Then
                lista_Productos.Add(items)
            ElseIf items.Tipo = "Operación" Then
                lista_Operacion.Add(items)
            End If
        Next
End Sub
```

4.3.2 Objetos representantes

El sistema de control crea las instancias de los nodos tipo equipo para tener los objetos que representan a los equipos que se encuentra en el piso de producción. Para esto se utiliza la tecnología software componente, en la cual se crea una librería de clases (.dll) que contiene el rol del equipo y el protocolo de comunicación entre la envoltura y el representante. La creación de objetos representantes se genera de manera dinámica por reflexión, para generar el objeto el sistema de control debe obtener el atributo "Tipo" del nodo equipo donde contiene la ubicación de la dll y la clase. En el Listado 4.3 se muestra el código necesario para crear el objeto representante. Esto ofrece una gran flexibilidad al sistema de control al poder agregar objetos representantes en tiempo real sin modificar al sistema de control y al momento de surgir modificaciones en el protocolo de comunicación con la envoltura solo se debe cambiar la librería de clases creada para el rol del equipo.

Listado 4.3: Creación del objeto representante por reflexión

```
Dim objAsm As Assembly
Dim ObjetoEq As New Object
Dim add() As String = Split(equipo.TipoObj, "\\") 'Recurso equipo
objAsm = Assembly.LoadFile(add(0)) 'ubicación de la dll

ObjetoEq = objAsm.CreateInstance(add(1)) 'Clase
```

Cada objeto representante es de suma importancia ya que es el que establece la comunicación con la envoltura, y muestra el estado en el que se encuentra el equipo. Así

como mostrar información acerca del lote, orden y fase de la operación que se realiza en el equipo, un objeto representante de equipo tipo reactor se muestra en la Figura 4.7.

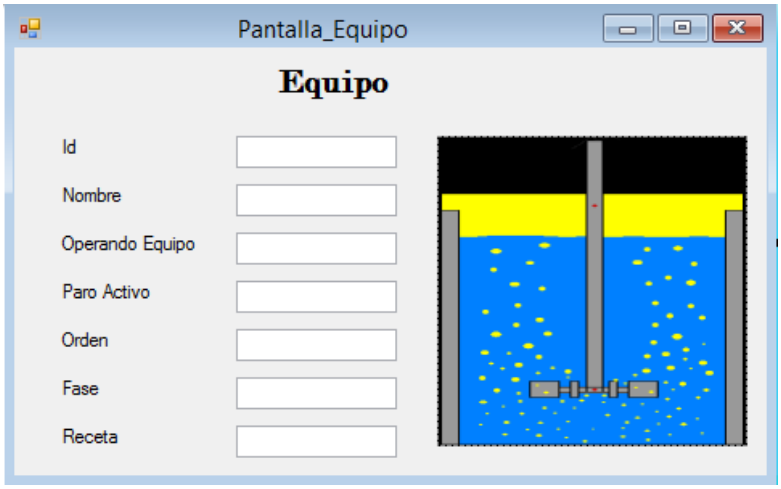

Figura 4.7: Objeto representante tipo procesador

El objeto representante es el encargado de establecer la comunicación con la envoltura, para enviar la orden de operar al equipo desde el módulo lanzador de órdenes. También debe notificar al sistema de control cuando una operación es terminada, cuando se produce un paro de emergencia o se necesita abortar una receta. En la Tabla 4.5 se muestran los estados en los que puede estar el equipo, para esto se actualiza el objeto representante con el estado en el que se encuentra el equipo, también ocurren diferentes eventos generados por el sistema de control y otros que se desarrollan en el piso de producción que afectan al equipo.

Tabla 4.5: Estados y eventos del objeto representante

Estado	**Evento**
En espera	Inicio de Paro
Operando	Fin de Paro
En Paro	Inicio de Operación
Abortando	Fin de Operación

4.3.3 Módulo Planificado

El módulo planificador realizado con base en la aplicación Microsoft Project, se encarga de mostrar las tareas que se encuentran pendientes de realizar, las que se están realizando y mostrar los estados que ocurren al realizar la tarea. En cada tarea contiene la duración de la misma, las tareas predecesoras y el recurso (equipo) en que se realiza la tarea.

Para enlazar el sistema de control con Microsoft Project, se utiliza el kit de entorno de desarrollo(SDK) de Project 2013 que contiene librerías de clases y una referencia para Aplicaciones en Visual Basic (VBA). La referencia contenida ayuda para desarrollar VBA, estas contienen conceptos, código ejemplo y referencias para ayudar a crear soluciones con Project 2013, (Biafore, 2013) y (Microsoft Corporation, 2013).

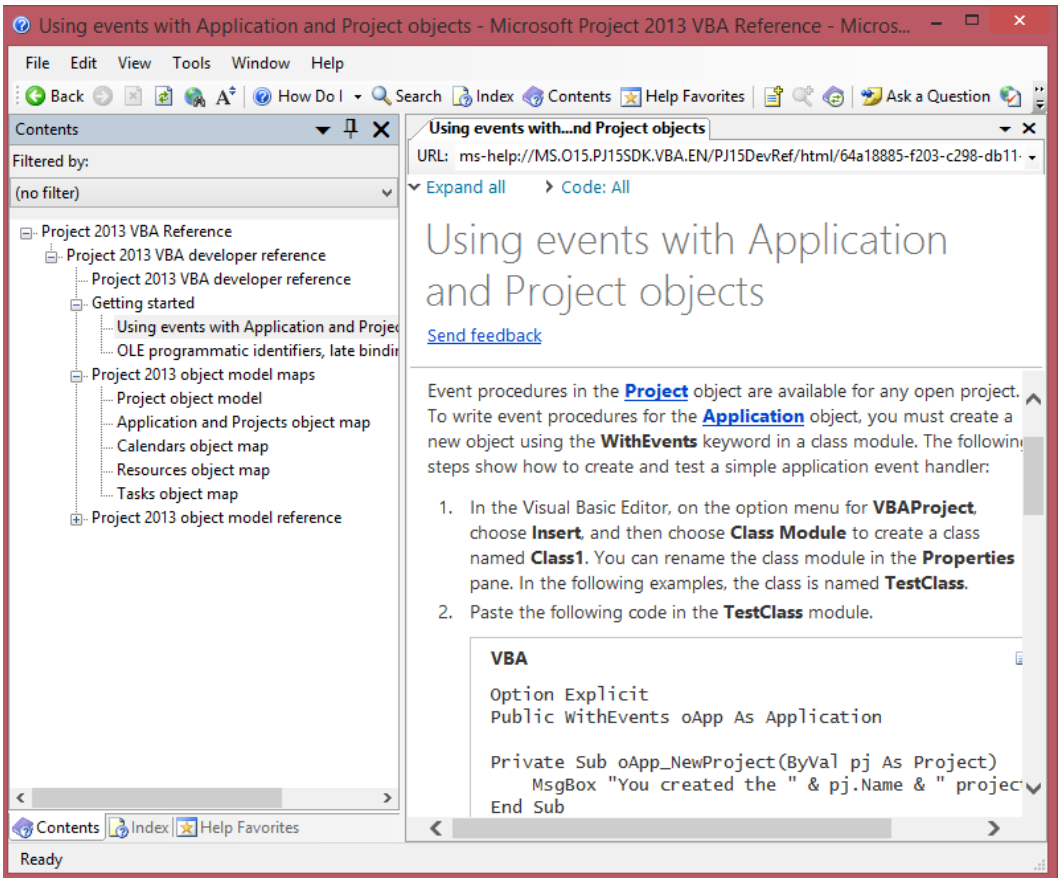

Figura 4.8: Referencias de Project 2013

Para incorporar a una aplicación .NET librerías de Project, es necesario agregar una referencia de Microsoft Project que se encuentra en ensamblados, en extensiones y es

llamado Microsoft.Office.Interop.MSProject. En la Figura 4.9 se muestra donde la localización de la referencia, la cual permite utilizar las clases y los métodos para que la aplicación en visual basic pueda interactuar con Microsoft Project.

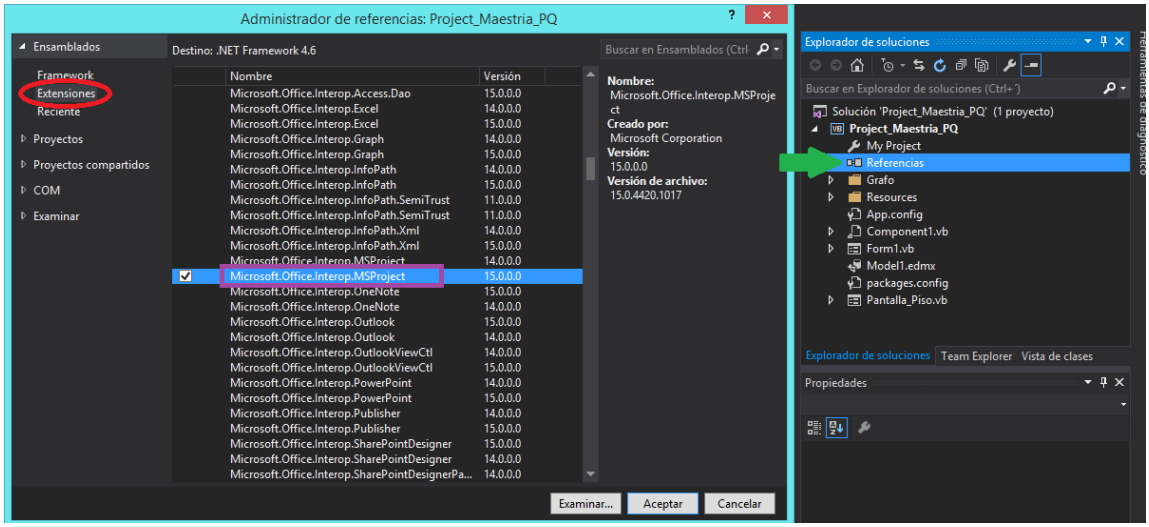

Figura 4.9: Agregar referencia en el proyecto

El desarrollo del módulo de planificación contiene tres secciones: creación de las tareas, creación de los recursos y la configuración de Diagrama de Gantt en Microsoft Project.

Para la creación de las tareas se interpreta el modelo iMRP tomando en cuenta el BOM (estructura del producto) y la información abstraída en los nodos recurso tiempo (RT) de la receta abstraída.

En la Tabla 4.6 se encuentran los atributos que se utilizan del objeto Tarea, al encontrar las tareas predecesoras de cada tarea se utiliza un método para recorrer el ciclo de vida del producto desde el primer RT hasta el último asignado a cada RT sus predecesores, y para saber que recurso equipo se asignó al RT en el modelo se busca el nodo equipo relacionado con el RT mediante un arco. También se utilizan marcas (banderas) del objeto tarea para mostrar diferentes eventos que ocurren al estar realizando las tareas.

Tabla 4.6: Atributos usados del objeto Tarea para Microsoft Project

Atributo	Uso
Nombre de la tarea	Nombre del Recurso Tiempo
Duración	Duración de la operación
Predecesores	Recurso tiempo Predecesores
Nombre del recurso	Recurso Equipo para la tarea
Marca 1	Tarea suspendida
Marca 2	Tarea abortada
Marca 3	Proyecto Abortado

Antes de crear las tareas se requiere conocer los Recursos a utilizar para realizar las tareas. Para esto, es necesario interpretar el modelo iMRP previamente de-serializado y buscar los nodos recurso equipo para asignarlos como Recursos Project. De los nodos Equipos se utiliza los atributos descritos en la Tabla 4.7, para al momento de guardar el proyecto Microsoft Project y volver abrirlo en la aplicación poder crear el objeto representante y especificarle la dirección de envío y recepción de mensajes.

Tabla 4.7: Atributos usados del objeto Recurso de Microsoft Project

Atributo	Uso
Nombre	Nombre del recurso Equipo
Texto 1	Tipo de clase y aplicación del recurso equipo
Texto 2	Dirección de envío de mensajes
Texto 3	Dirección de recepción de mensajes

La vista de Diagrama de Gannt en Project, muestra la hoja de tareas en un lado de la vista y las barras graficas correspondientes a las duraciones de las tareas en el otro lado. Al usar esta vista se configura la escala de tiempo (timescale) al ampliar la resolución visible en un periodo de tiempo, y también se tiene que agregar estilos a las barras graficas de las tareas cambiando su color dependiendo del estado de la tarea. En el Listado 4.4 y Listado 4.5 se muestra un ejemplo de la forma de agregar un nuevo estilo de barra para las tareas y la manera en que se configuro la escala de tiempo del diagrama Gannt, para realizar esto se utiliza la referencia antes mencionada para acceder a los métodos y atributos de Microsoft Project desde la aplicación de Visual Basic.

Listado 4.4: Código para editar una barra en Microsoft Project

```
'Método para agregar un nuevo estilo de barra
obj_Proj.GanttBarStyleEdit(
            Item:=-1, Create:=True, Name:="Tarea Abortada",
            MiddlePattern:=PjFillPattern.pjSolidFillPattern,
            StartColor:=PjColor.pjMaroon,
            MiddleColor:=PjColor.pjYellow,    MiddleShape:=PjBarShape.pjRectangleBar,
            ShowFor:="Marca2")
```

Listado 4.5: Código para configurar la escala de tiempo en Microsoft Project

```
'Método para configurar la escala de tiempo
obj_Proj.TimescaleEdit(TierCount:=3, TopUnits:=PjTimescaleUnit.
                    pjTimescaleMonths, TopLabel:=PjMonthLabel.
                    pjMonthLabelMonth_mmmm_yyyy,
                    MajorUnits:=PjTimescaleUnit.pjTimescaleWeeks,
                    MajorLabel:=PjWeekLabel.pjWeekLabelWeek_mm_dd,
                    MinorCount:=5, MinorUnits:=PjTimescaleUnit.
                    pjTimescaleMinutes)
```

En la Figura 4.10: Estilos de Barra de Microsoft Project se muestran los estilos de barra que se agregan al Microsoft Project desde el sistema de control, los estilos se aplican para mostrar de una forma más visual en el diagrama de Gantt con diferentes colores que sean fácil de interpretar los estados de las tareas afectadas con los eventos que suceden en el objeto representante del recurso equipo.

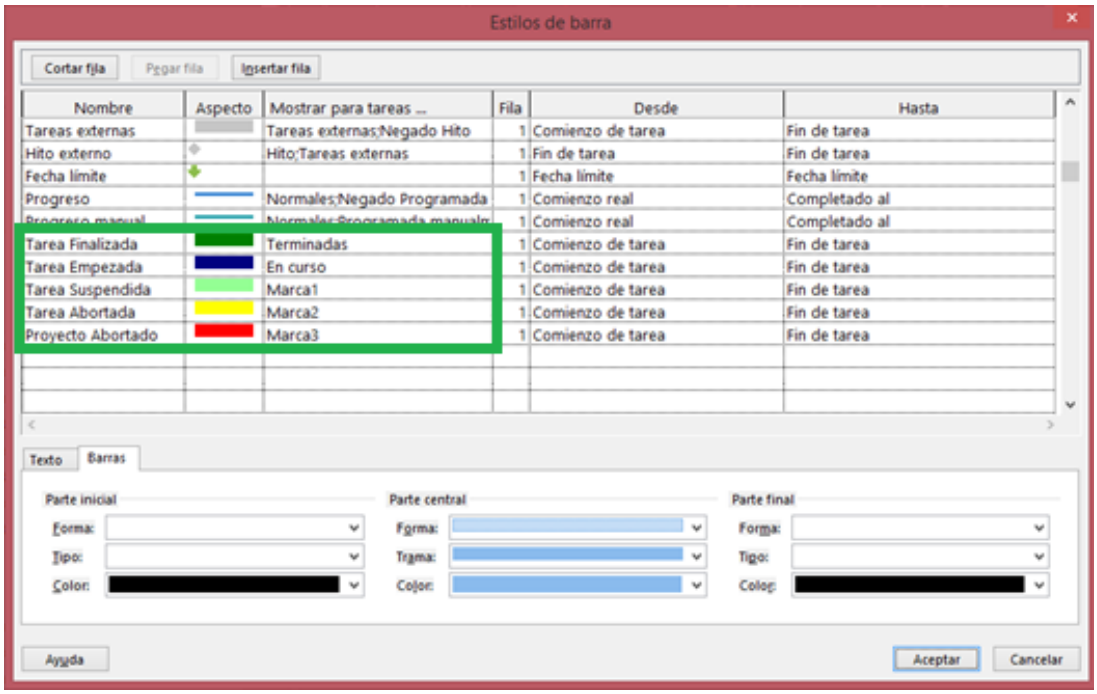

Figura 4.10: Estilos de Barra de Microsoft Project

4.3.4 Módulo Lanzador de Ordenes

El módulo lanzador de órdenes se encarga de mandar operar a los equipos mediante los objetos representantes. Para esto, es necesario encontrar las tareas que se encuentran disponibles para realizar, al estar todas sus tareas predecesoras terminadas, si están realizadas se revisa el estado del equipo en el objeto representante y si se encuentra "en espera" se le envía la ubicación del archivo que procesará en la operación.

Para que el módulo sea implementado es necesario aplicar los conceptos de operación dirigida por modelo, para esta tesis se analiza la técnica de modelado iMRP. Dicho modelo contiene un conjunto de operaciones a realizar por los equipos del piso de producción, descritas mediante nodos y arcos los cuales al interpretar describen el proceso de fabricación de un producto en específico.

La primera etapa del proceso consiste en instanciar el modelo particular a partir del marco de trabajo, tomando como base el modelo de particularidades (iMRP). Por lo tanto, al interpretar el modelo iMRP se crean los objetos representantes necesarios para establecer la comunicación con equipo físico, en donde al encontrar una tarea para lanzar a operar se toma la ubicación del programa y fase de operación necesaria para que el equipo realice la operación. Esta información que contiene el modelo iMRP se agrega a las variables que tiene una tarea en Microsoft Project, Tabla 4.8.

Tabla 4.8: Atributos usados de las tareas en Project para la operación dirigida por modelo

Atributo de la tarea	Uso del atributo
Texto 1	Nombre de la orden
Texto 2	Numero de fase de la tarea
Texto 3	Ubicación del programa
Texto 4	Variables para la simulación
Texto 5	ID de la receta
Texto 6	ID del operador
Texto 7	Nombre del lote
Texto 8	ID del sub-lote(Batch)

Al interpretar el modelo iMRP, la estructura del producto es analizada por el módulo planificador y crea un conjunto de tareas a realizar por los recursos asignados al proyecto. En la Figura 4.1 se muestra el método para lanzar ordenes, en donde se tiene un conjunto de tareas y se va analizando tarea por tarea las condiciones para que se pueda lanzar a operar con el equipo indicado

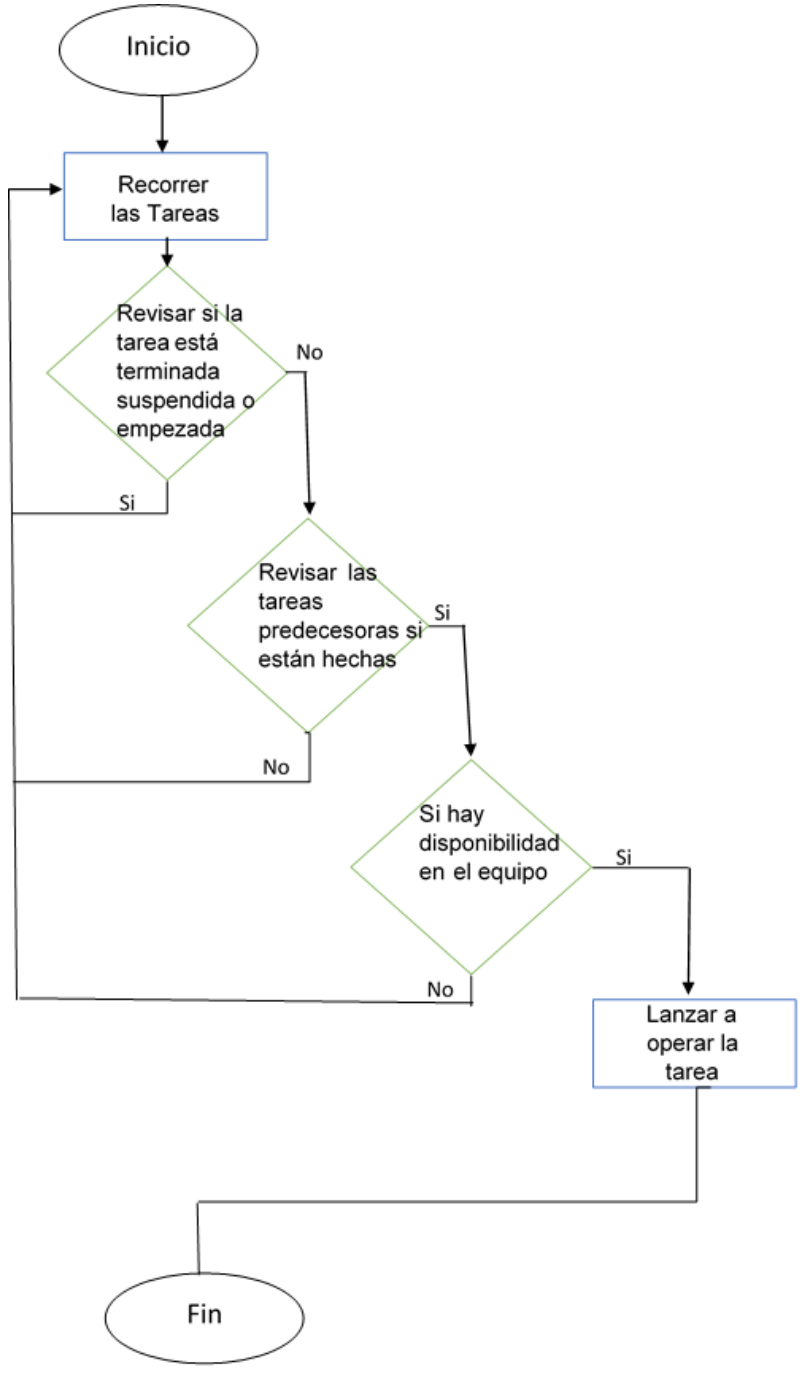

Figura 4.11: Diagrama de flujo del método para lanzar a operar a las tareas

La utilización de más atributos de las tareas, nos ayuda a contener la información de cada receta al interpretar el modelo solo una vez por el módulo planificador, y así poder procesar más recetas y/o continuar con proyectos empezados sin la necesidad de estar interpretando cada vez los modelos iMRP para obtener un atributo.

4.3.5 Módulo de simulación

El módulo de simulación se encarga de mostrar de una manera visual lo que ocurre en el piso de producción dependiendo de las operaciones que son lanzadas mediante el módulo lanzador de órdenes y de los eventos que ocurren en el objeto representante del equipo. En la Figura 4.12, se muestra una vista de la interfaz de usuario del módulo de simulación asociado a una célula de fabricación de productos químicos.

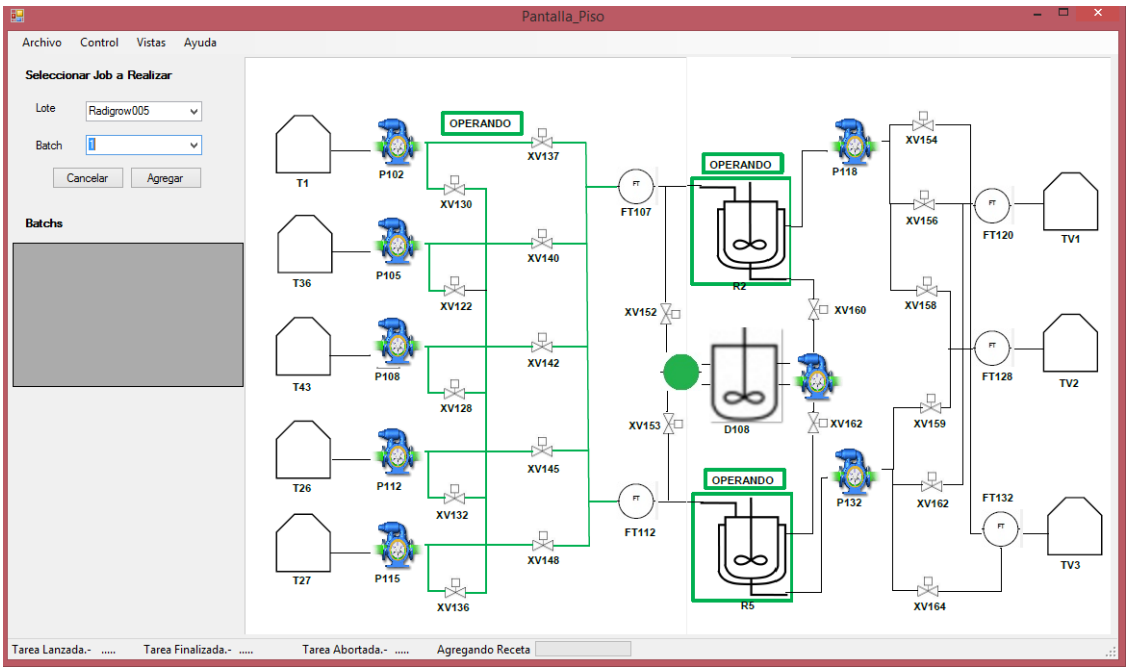

Figura 4.12: Pantalla del módulo de simulación

La simulación dependerá de la configuración que se abstrae en las operaciones del modelo iMRP para la interacción en este módulo. En la Tabla 4.8 el atributo “texto 4” es utilizado para las variables de simulación que interactúan en una operación de tipo manipulación de materia describiendo el origen y el destino.

La interacción de un tipo de operación procesador para mostrar que está operando, se realiza cuando el objeto representante por ejemplo de un reactor es lanzado a operar, por lo tanto, el módulo de simulación tendrá que mostrar a la imagen represéntate que está operando. En la Figura 4.12 se muestra la simulación de un piso de producción que cuenta con tres reactores y dos sistemas de tuberías con bombas para llenar y vaciar los reactores de diferentes depósitos.

4.4 PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN

El protocolo de comunicación se encarga de establecer una comunicación entre los equipos representantes con los objetos envoltura correspondientes, que generalmente es remota. Para esta tesis el protocolo de comunicación es basado en colas de mensajes usando el manejador de colas de mensajes de Microsoft (MSMQ por sus siglas en inglés).

Para incorporación del protocolo MSMQ a una aplicación .NET, es necesario agregar una referencia de Microsoft que se encuentra en ensamblados, Framework y es llamada System.Messaging, así como se muestra en la Figura 4.13.

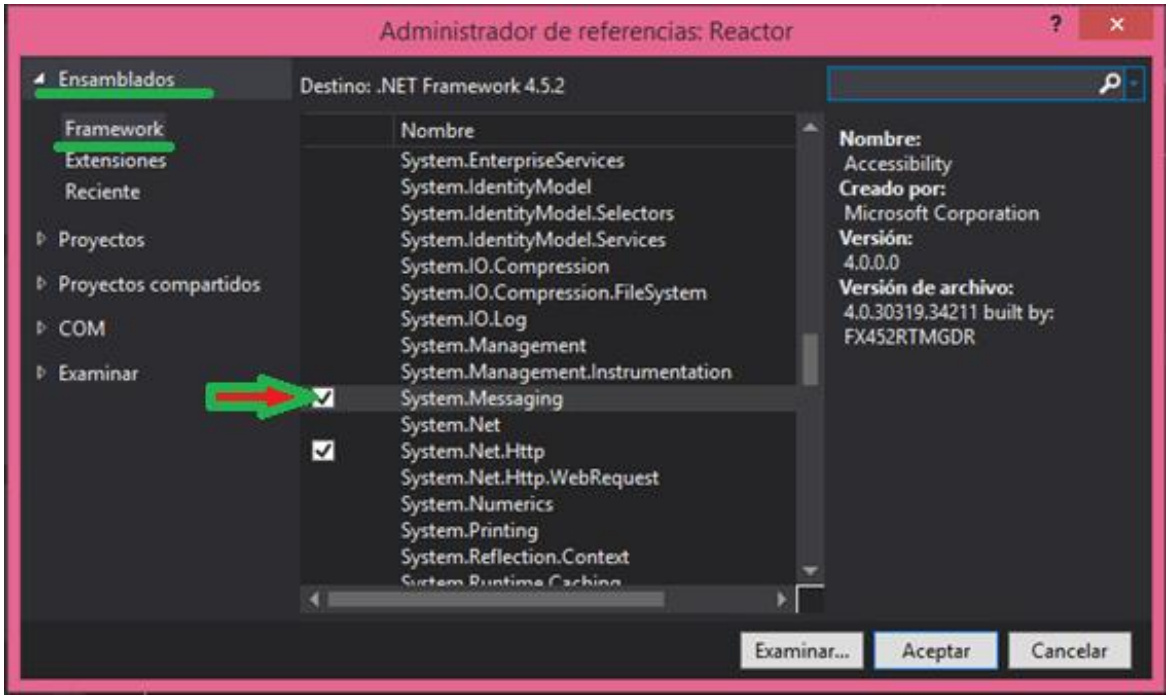

Figura 4.13: Agregar referencia para usar MSMQ

Para la utilización de la mensajería, es necesario la creación de colas de mensajes. Una manera de crearla es desde el IDE de visual basic, esto se encuentra en el explorador de servidores, servidores, nombre del servidor, colas de mensajes, en colas privadas se da clic derecho y se selecciona “crear cola…” se le da un nombre y en aceptar para crear la cola de mensajes. En la Figura 4.14 se muestra un ejemplo al crear una cola llamada “cola_reactor_1” desde el entorno de desarrollo de visual basic.

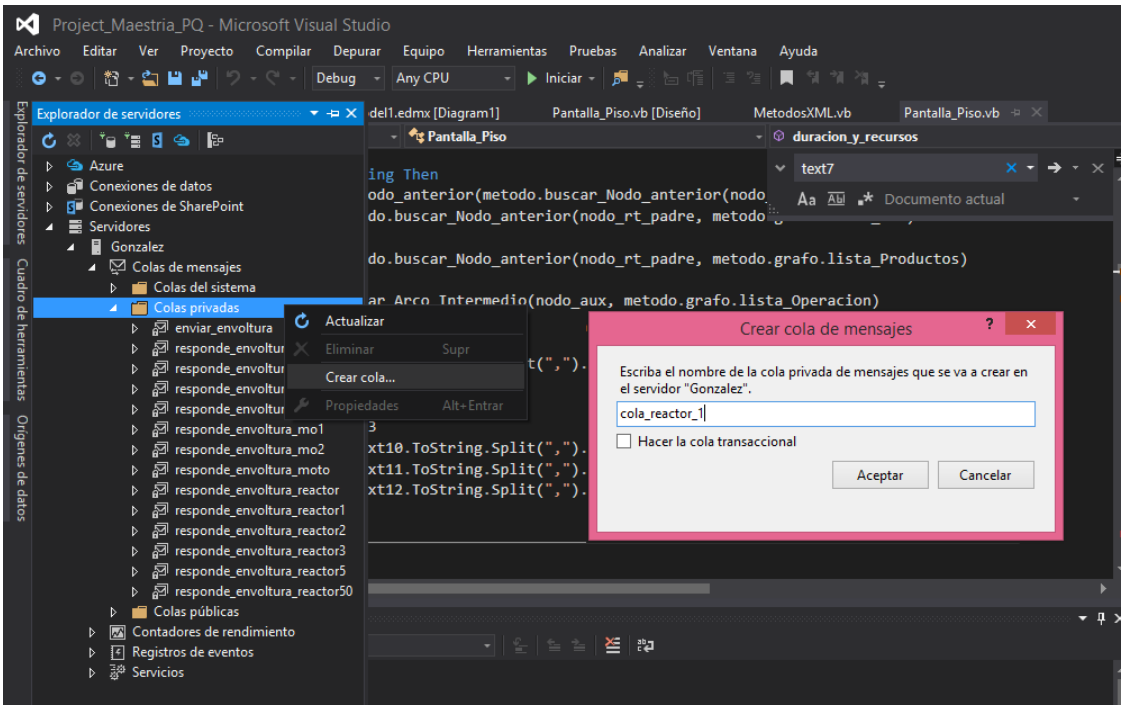

Figura 4.14: Crear una cola desde el Visual Basic

Al querer utilizar la cola para enviar un mensaje, para las aplicaciones de visual basic se utiliza el siguiente Listado 4.6 que contiene las variables y el método para enviar un mensaje a una cola especificando el destino.

Listado 4.6: Método para enviar un mensaje por una cola MSMQ

```
Public WithEvents objCola1 As New MessageQueue
Public Sub Enviar_Mensaje()
        CType(objCola1.Formatter, XmlMessageFormatter).TargetTypeNames = New
.       String() {"System.String"}

        objCola1 = New MessageQueue(var1)    '←--- var1 es la MSMQ a donde enviar
        objCola1.Send("operacion_Equipo", "Reactor 5") ''<-- contenido , etiqueta
End Sub
```

Si se requiere escuchar una cola, es un poco más complicado debido a que al inicializar la aplicación se debe ejecutar el método “ColaRecibir” del Listado 4.7 para definir

la cola que se va escuchar y se ejecuta un método para ponerse a escuchar. Al momento de que llegar un mensaje por la cola que se escucha se genera un evento, en este evento se procesa el mensaje para saber la etiqueta y su contenido, también se ejecuta el método para volver a escuchar a la MSMQ.

Listado 4.7: Métodos para escuchar una cola de MSMQ

```
Public WithEvents objCola As MessageQueue

Public Sub ColaRecibir()
        objCola = New MessageQueue
        objCola.Path = var2     ' Var2 es la MSMQ que se escucha
        objCola.BeginReceive()  ' Se pone a escuchar la MSMQ
End Sub

Private Sub objCola_ReceiveCompleted(ByVal sender As Object, ByVal e As
System.Messaging.ReceiveCompletedEventArgs) Handles objCola.ReceiveCompleted
        mensaje = New System.Messaging.Message
        mensaje.Formatter = New XmlMessageFormatter
        CType(objCola.Formatter, XmlMessageFormatter).TargetTypeNames = New      .
String() {"System.String"}
        mensaje = objCola.EndReceive(e.AsyncResult)  ' Mensaje recibido
        Dim contenido As String
        Dim etiqueta As String
        etiqueta = mensaje.Label  ' Etiqueta del mensaje
        contenido = mensaje.Body  ' Contenido del mensaje
        objCola.BeginReceive()    ' Volver a escuchar la MSMQ                    End
Sub
```

Al momento de establecer una comunicación entre el objeto representante y el objeto envoltura, ambos deben utilizan el protocolo MSMQ. Para lograr esto, debe de definir la información que es enviada mediante la cola para que el objeto que la reciba sepa cómo interpretar el mensaje. A continuación, se describe el protocolo de comunicación para establecer comunicación en ambos sentidos.

4.4.1 Protocolo de comunicación representante→envoltura

Para establecer la comunicación es necesario tener una cola especifica que es escuchada por la envoltura y enviar un mensaje desde el objeto representante a la cola especifica. En el mensaje que recibe la cola específica para poder ser interpretado por la envoltura debe saber que información le envía en el mensaje. En la Tabla 4.9 se muestra la

información que se envía por la cola y así al momento de ser procesada por la envoltura pueda realizar el equipo la acción que recibió.

Tabla 4.9: Atributos del mensaje enviados a la cola envoltura

Contenido	**Etiqueta**
Ubicación del programa	Nombre del equipo
	Acción
	ID Operador
	ID Receta
	Orden
	Fase
	Lote
	Sub lote

4.4.2 Protocolo de comunicación envoltura→representante

Al momento de comunicarse del objeto envoltura al representante, será para informar sobre eventos que ocurren en el equipo por ejemplo el fin de operación de una orden lanzada por el sistema de control, también se puede enviar el estado en el que se encuentra el equipo. Por lo cual se necesita estar escuchando a una cola en específico desde el objeto representante y al momento de enviar el mensaje desde la envoltura el estado o el evento será enviado en el contenido del mensaje.

4.5 SISTEMA ENVOLTURA

El sistema envoltura es el encargado de establecer la comunicación generalmente de naturaleza remota con el sistema de control y el equipo de producción. Para esto, se deben de crear instancias de objetos propulsores dependiendo del controlador del equipo específico, y así poder comunicarse con el equipo utilizando los comandos del mismo. En la Figura 4.15 se muestra una envoltura que se encarga de procesar los mensajes que son enviados por el sistema de control, y con la interfaz se puede emular diferentes eventos que ocurren en el equipo para tener una interacción con el sistema de control, dicha envoltura utiliza el protocolo de comunicación de colas MSMQ.

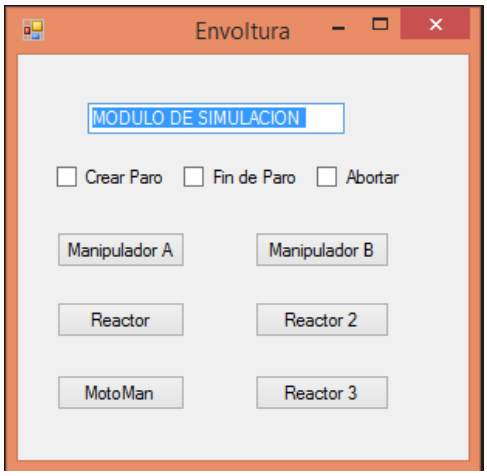

Figura 4.15: Envoltura para emular eventos de equipos

Para esta tesis el sistema envoltura es utilizado para emular eventos que ocurren en los equipos por lo cual no se establece comunicación con un equipo físico. A continuación, se describen los roles que tienen el objeto propulsor en la envoltura y de los eventos que se notifica al sistema de control.

4.5.1 Objetos Propulsor

Este objeto es encargado de contener la forma de comunicarse con el equipo, es decir, contiene los comandos utilizados para el equipo y el medio de comunicación entre el sistema envoltura y el equipo, todo esto para poder mandar a operar el equipo desde el sistema de control. Cada objeto propulsor es diferente entre si, debido a que para cada equipo existen una variedad de comandos para realizar la misma acción y pueden cambiar dependiendo la conexión. Al tener un acoplamiento débil, los cambios en el entorno por ejemplo la conexión con el equipo solo se vería afectado el objeto propulso y se tendría que realizar otro objeto propulsor que se adapte a las necesidades.

Los objetos propulsores son los encargados de notificar a la envoltura los eventos que ocurren en el equipo. Estos eventos pueden ser generados por el mismo equipo por ejemplo de manera digital generar una señal que indica que termino de hacer una acción, o también pueden ser generados de manera manual por ejemplo al tener una interfaz para crear un fin de operación, un paro, etcétera.

Capítulo V: Validación y Resultados

5.1 INTRODUCCIÓN

Con la finalidad de validar el esquema de referencia ArquiTAM y el concepto de operación dirigida por modelo en el sistema informático de control. Se realizo una estancia en una empresa de producción por lotes dedicada a la fabricación de productos químicos, para analizar el comportamiento del módulo de lanzamiento de órdenes y ver las problemáticas que ocurren en el piso de producción al implementar el sistema de control al área de producción por lotes. Para la validación del sistema, la empresa proporcionó una receta para ellos llamada ingeniería donde se describe el proceso que se lleva para realizar un producto en un equipo específico. A continuación, se describe lo que se realizó en la empresa para validar el sistema de control, protocolo de comunicación y la validación del sistema envoltura (Ontiveros, 2017) utilizada para el análisis de desempeño de los equipos en el piso de producción.

5.2 VALIDACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL EN UN ÁREA DE PRODUCCIÓN POR LOTES

El área de producción como se mencionó anteriormente se ubica en una empresa de productos químicos, en la cual se utilizó el área de formulación para realizar la validación del sistema. Cabe mencionar que el sistema informático de control se realizó de manera genérica con base en la arquitectura de referencia ArquiTAM, para analizar la flexibilidad que ofrece a los cambios (equipo, recetas y/o protocolo de comunicación) que ocurre en su entorno sin que se vea afectado el sistema de control. A continuación, se describen las etapas importantes que interactúan en el sistema de control.

5.2.1 Abstraer la receta en un modelo iMRP

En la primera etapa para la implementación de la prueba de validación del sistema fue necesario solicitar algunas recetas de los productos que se realicen en el área de formulación de la empresa. Al tener las ingenieras (recetas) se tiene que analizar el proceso y las operaciones que son realizadas por el equipo, así como los operadores que interactúan. Después se empieza a aplicar la técnica de modelado iMRP para contener la información necesaria que describa el proceso y las operaciones de la misma ingeniería. En la Figura 5.1

se muestra como el modelo iMRP en el cual se abstrajo la información necesaria de la ingeniería de la empresa de procesos químicos y por razones de confidencialidad los nombres de los componentes del proceso son ficticios.

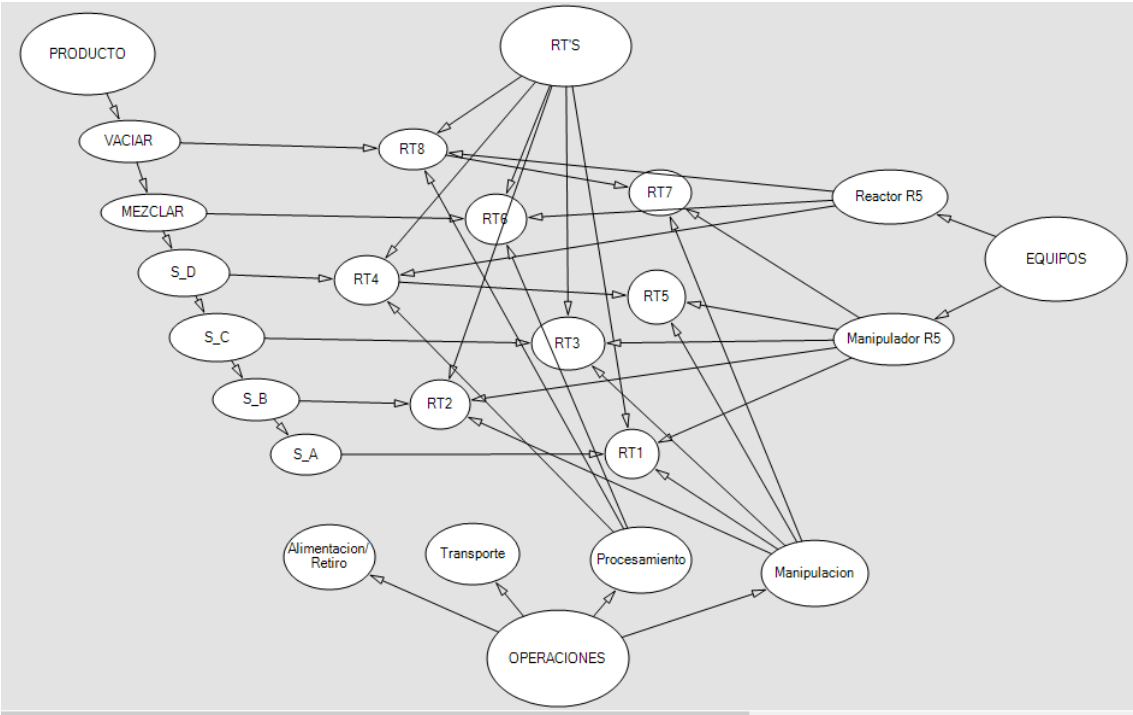

Figura 5.1: Modelo iMRP para la validación

Para esta ingeniería, los procesos se realizan en el reactor R5 y las operaciones son realizadas por un operador. Para ello se crearon dos nodos tipo recurso uno para describir las operaciones de procesamiento en el reactor 5 por ejemplo mezclar, y el otro para las operaciones de manipulación de materia prima por ejemplo agregar una sustancia de manera manual o semi manual.

5.2.2 Interpretación del modelo iMRP

La segunda etapa es la interpretación de la receta que es contenida en el modelo iMRP. Para ello en el sistema de control se debe seleccionar el lote y el sub-lote que se desea realizar para cargar el archivo XML especifico de la ingeniería. Para esto es necesario crear un proyecto nuevo o abrir un proyecto existente, en este caso se crea un proyecto nuevo. Al crear un proyecto nuevo se genera una instancia de Microsoft Project para manejarlo desde

la aplicación de visual basic. En la Figura 5.2 se puede ver en que pestaña se encuentran las características para crear un proyecto nuevo o abrir uno existente entre otras.

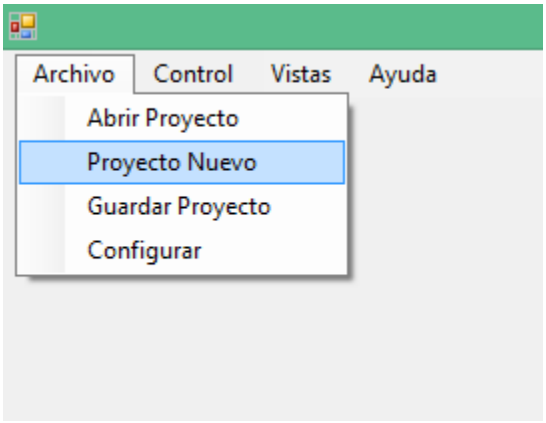

Figura 5.2: Sistema de control creación de proyecto

Después de haber creado el proyecto nuevo se habilita la opción para seleccionar el lote y el sub-lote que se desea realizar, para esta situación de validación la información del lote y los sub-lotes que contienen el equipo, la receta y los operadores que interactúan se guardan en una base de datos. Por lo tanto, al seleccionar lote y sub-lote se aprensa al botón "agregar" para empezar a interpretar el modelo iMRP especifico, Figura 5.3.

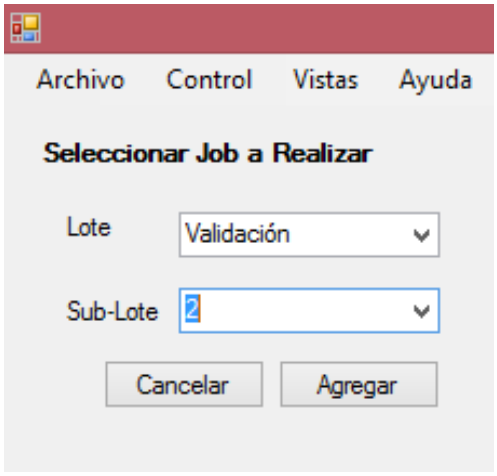

Figura 5.3: Sistema de control agregar receta

En esta etapa al interpretar el modelo se crean las tareas descritas en el modelo iMRP en forma de tareas de Microsoft Project, en donde se muestra de una manera más ordenada las tareas que debe realizar cada recurso para cierto producto. En la Figura 5.4 se muestra el diagrama de Gantt de Project que se genera al interpretar el modelo iMRP. También es

importante mencionar que los objetos representantes de cada receta se crean en esta etapa para tenerlos disponibles al momento de lanzar órdenes (iniciar operación).

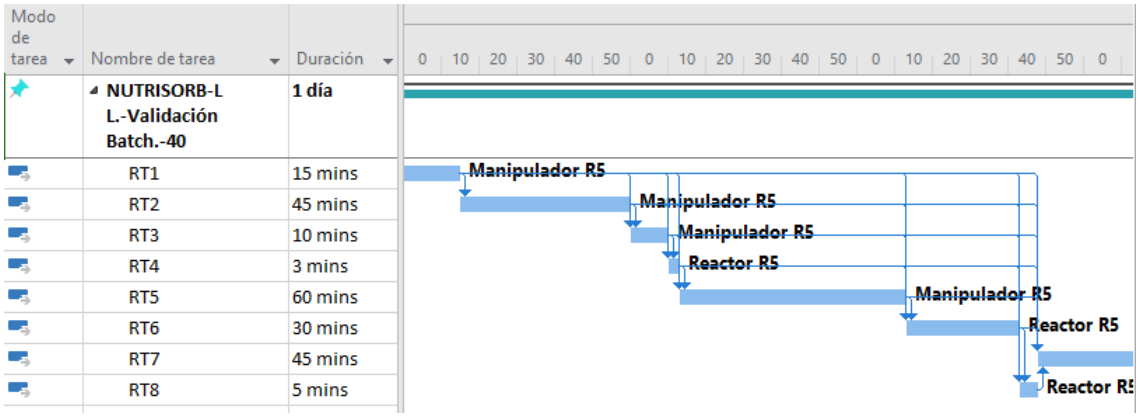

Figura 5.4: Diagrama de Gantt de Project

5.2.3 Lanzar Tareas a operar en los equipos

En la etapa de lanzamiento de órdenes a los equipos por el sistema de control, el módulo lanzador es el que se encarga de encontrar las tareas disponibles en cada receta y lanzarlas a operar si el recurso se encuentra disponible. En la Figura 5.5 se muestra el sistema de control y donde se encuentra la opción para empezar a lanzar órdenes a operar.

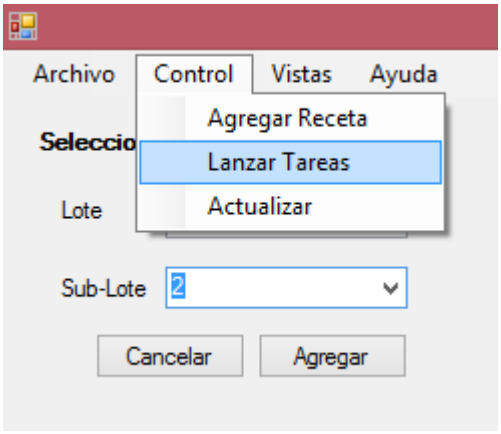

Figura 5.5: Sistema de control lanzar tareas a operar

Para esta etapa es necesario tener los objetos representantes de los recursos que se encuentren en el piso de producción, en la Figura 5.6 se muestran los objetos representantes que interactúan en la receta previamente abstraída, cada objeto contiene información del

equipo, así como el protocolo de comunicación y la forma en que el sistema de control interactúe con los eventos que se generan en equipo.

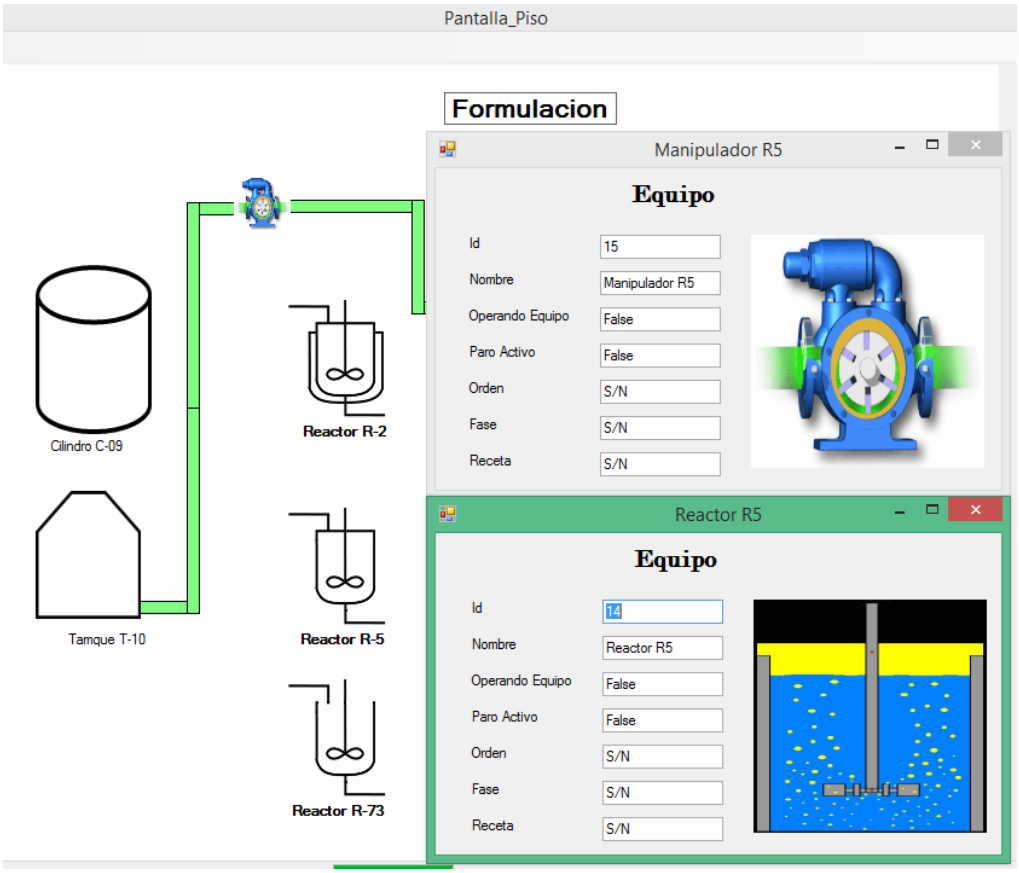

Figura 5.6: Objetos representantes del piso de producción

Después de tener los objetos representantes de los equipos que interactúan en dicha receta, el módulo lanzador empieza a buscar las tareas disponibles. Al encontrar una tarea para lanzar a operar al equipo el sistema de control se comunica al objeto representante mandando la orden de que opere la tarea, para esto se le envía la información necesaria descrita en el protocolo de comunicación para que el sistema envoltura y el objeto propulsor pueda comprender el mensaje. Ya cuando es lanzada la tarea a operar en la Figura 5.7 se puede ver en el diagrama de Gantt en Microsoft Project la barra grafica correspondiente a la duración de la tarea, que cambia de color indicando que se encuentra esa tarea en operación por el equipo.

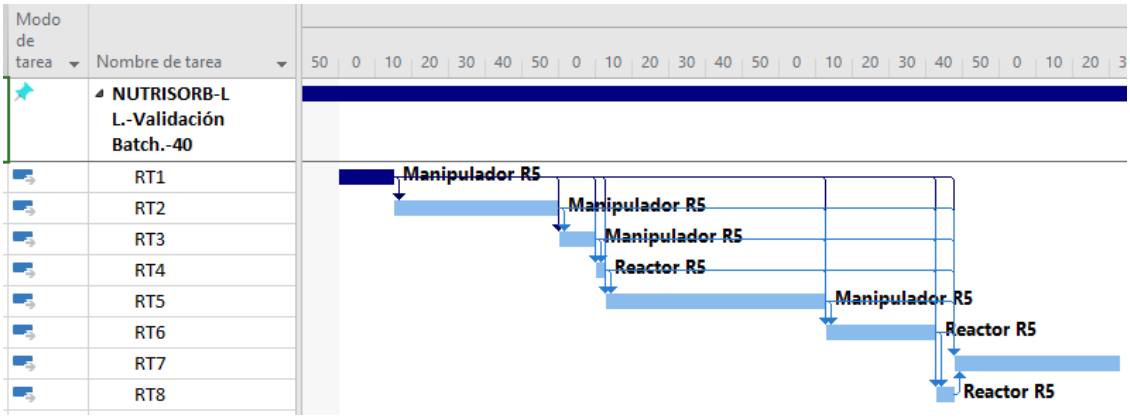

Figura 5.7: Diagrama Gantt en Project con tarea en operación

En este caso empieza con la primera operación que se describió en el modelo iMRP que es una de manipulación en el reactor 5, la cual trata sobre llenar el reactor 5 con 1,059 litros de la sustancia A al reactor 5 mediante una bomba controlando el llenado por el operador de la receta. El sistema de control se encarga de enviar la ubicación del archivo que describe las instrucciones de la operación que debe realizarse en el equipo al sistema envoltura mediante el protocolo de comunicación. Para su validación, se realizaron las pruebas entre el sistema de control desarrollado y un sistema envoltura desarrollado en (Ontiveros, 2017) la cual se apega a los conceptos de acoplamiento débil y operación dirigida por modelo todo esto con base en la arquitectura de referencia ArquiTAM.

En la Figura 5.8 se observa el sistema envoltura el cual recibe la primera tarea a operar por el recurso manipulador describiendo un origen, destino y cantidad de cierta sustancia, también se muestra información sobre el lote, la receta que se realiza, la fase en que se encuentra e información del operador que tiene que realizar las operaciones.

Este sistema envoltura es utilizado para guiar al operador indicando las operaciones que debe realizar al momento de estar realizando cierto producto, cuando el operador indica que termino cierta operación el sistema envoltura envía el fin de operación al sistema de control para esperar una nueva operación, así hasta terminar todas las operaciones para el operador.

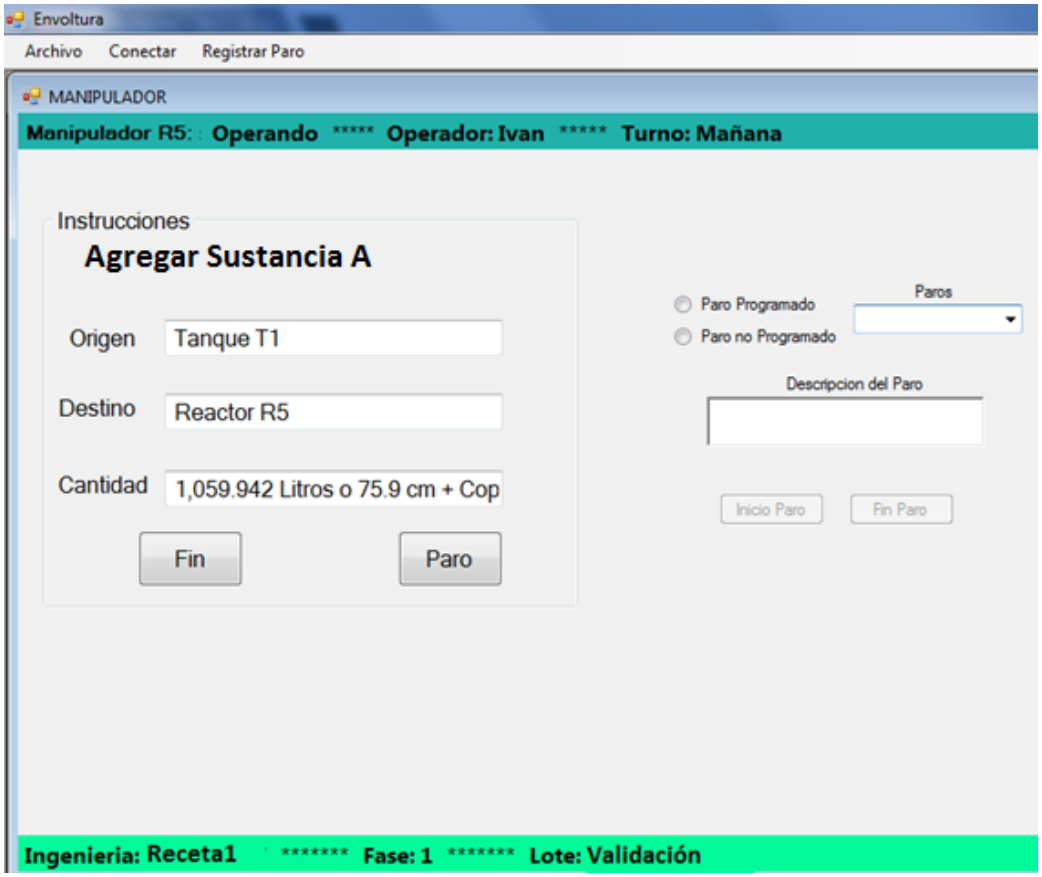

Figura 5.8: Envoltura con un objeto propulsor tipo manipulador para el reactor 5

Cabe mencionar que en el sistema envoltura (Ontiveros, 2017) propone usar una botonera para enviar el fin de operación y también de crear paros al momento de que cierto operador le ocurra. En la Figura 5.9 se muestra el diseño de la botonera en donde diferentes operadores pueden dar fin o crear un paro al realizar las operaciones que se muestran en una pantalla del sistema envoltura.

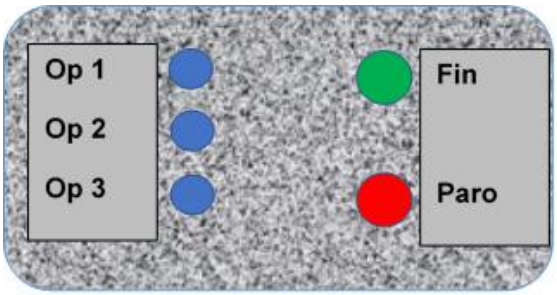

Figura 5.9: Botonera del sistema envoltura

Al continuar con el proceso de validación del sistema de control, se tiene una operación de procesamiento por un reactor, la cual al ser lanzada por el sistema de control y recibida por el sistema envoltura, el objeto propulsor es diferente al anterior por lo cual muestra diferente información al operador para realizar la operación indicada. En la Figura 5.10 se muestra las instrucciones que deben ser realizadas en el reactor por ejemplo en este caso es encender la recirculación del reactor.

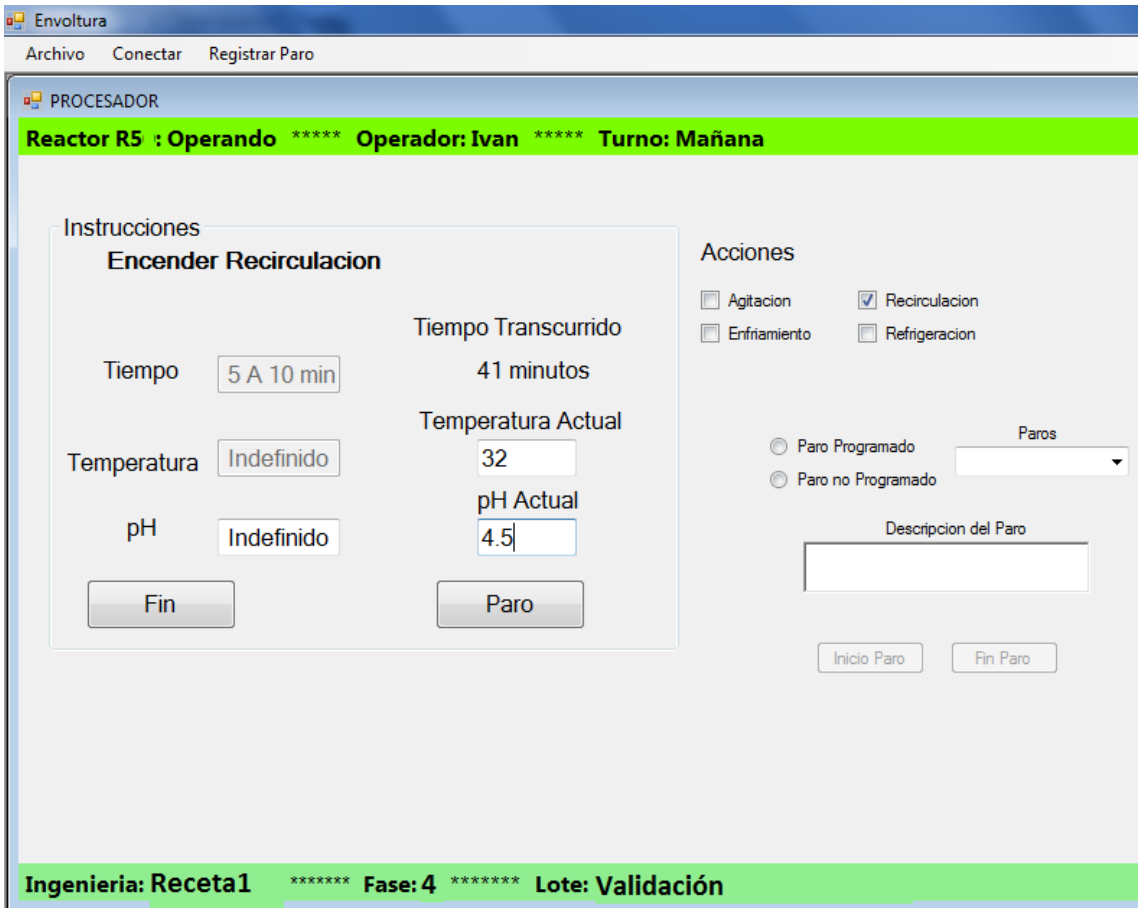

Figura 5.10: Envoltura con objeto propulsor tipo procesador para el reactor 5

Una parte importante de la validación es analizar la forma en que el sistema de control reacciona al momento de que un operador registre un paro. Al momento de ocurrir el paro el sistema envoltura informa al sistema de control mediante el objeto propulsor y el objeto represéntate. En la Figura 5.11 se muestra que en la tarea "RT6" se encuentra en estado suspendida indicando que se realizó un paro al momento de realizar la operación en el equipo.

Al momento en que se termine el paro que realizo el operador la tarea continua y se indica al sistema de control para que vuelva a lanzar tareas a operar.

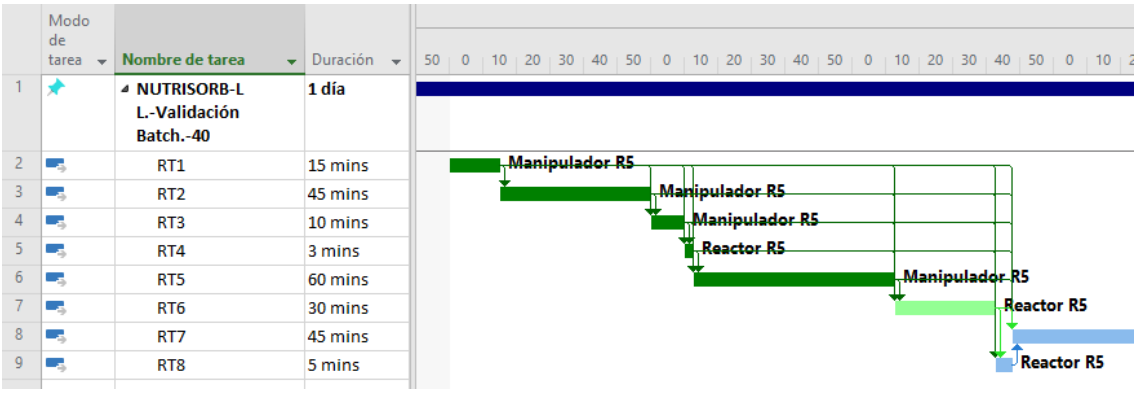

Figura 5.11: Diagrama de Gantt al ocurrir un paro en la operación

5.2.4 Comportamiento del módulo de simulación del piso de producción

Para la validación en el módulo de simulación del sistema de control fue necesario agregar los atributos al momento de modelar el proceso de la receta especificando las acciones que debe realizar la simulación para simular lo que se realiza en el piso de producción. Para esto se analizó el piso de producción en el área de formulación de productos químicos en el cual se cuenta con 5 reactores y unas bombas para llenar o vaciar los reactores.

En esta etapa se continuo con la misma receta que se ha utilizado en el área de validación, en la cual cuenta con diferentes operaciones que se simulan en la pantalla del sistema de control. En la primera tarea que es lanzada por el sistema de control, el objeto representante establece comunicación con el módulo de simulación para que procese los datos que se especifican para la simulación dependiendo de lo descrito en el modelo iMRP. En este caso en la tarea se describe que la operación es de manipulación y se utiliza una bomba para trasladar la sustancia desde un tanque al reactor como se muestra en la Figura 5.12.

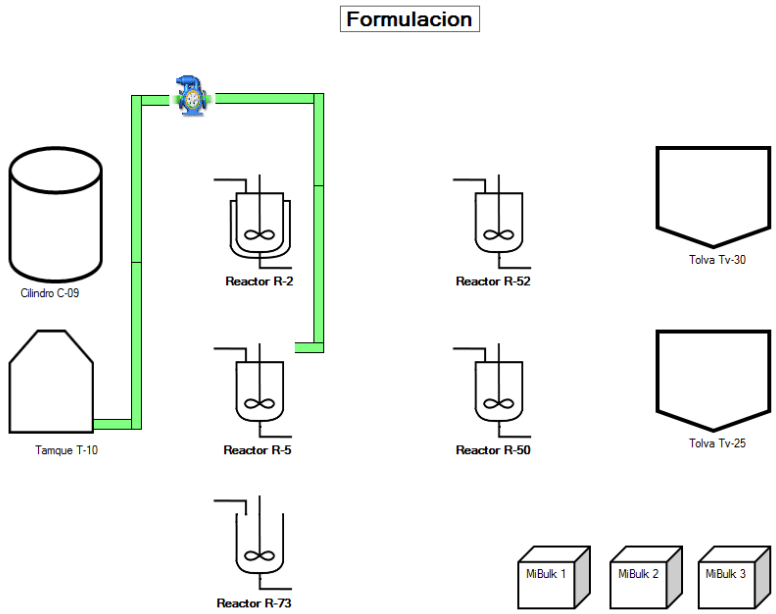

Figura 5.12: Simulación del piso de producción con la manipulación de líquidos

Otras operaciones que se muestran en el simulador son cuando al reactor se le agrega materia prima de manera manual o que el reactor se quede realizando una operación solo por ejemplo mezclando. En la Figura 5.13 se muestra cuando están operando en el reactor 5 al agregar cierta cantidad de una sustancia química y el reactor se encuentra en recirculación.

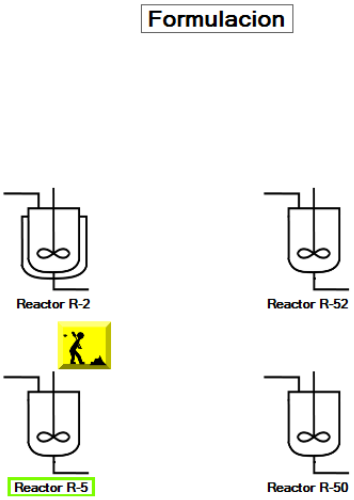

Figura 5.13: Simulación de la manipulación de sustancias que se agregan

Al momento de ser necesario reiniciar la simulación de piso de producción se realiza en la pestaña ayuda y se da click en reiniciar como se muestra en la Figura 5.14.

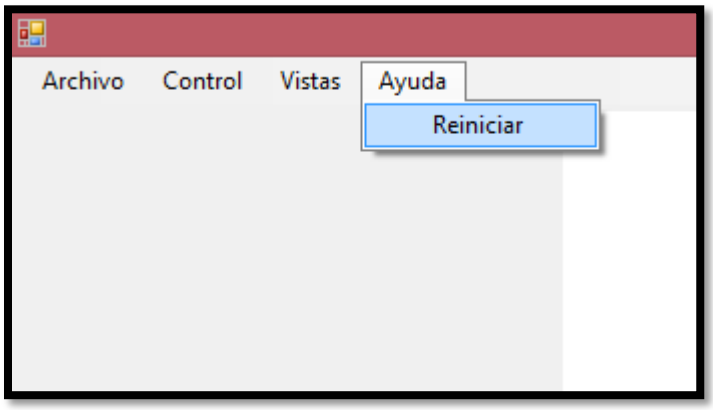

Figura 5.14: Sistema de control botón para reiniciar la simulación

5.3 RESULTADOS OBTENIDOS

Con base en la prueba de validación de un entorno real se obtuvieron diferentes problemáticas que al momento de realizarse en un laboratorio no suelen presentarse. Para ello fue necesario adaptar los conceptos generalmente aplicados al área de manufactura discreta al área de producción por lotes. Al momento de aplicar la Arquitectura de referencia ArquiTAM ofreció una gran flexibilidad debido a su modularidad en donde los cambios de recetas, equipos o protocolo de comunicación no afectan al código del sistema de control.

Un resultado obtenido de las pruebas de validación para el entorno de producción por lotes es que en el mismo reactor se pueden estar realizando diferente operación por lo cual el recurso tipo reactor es ocupado por una receta nada más hasta que se termina para poder realizar operaciones en el reactor. También es importante resaltar que al estar en el área de formulación de productos químicos los operadores se dedican a realizar solamente una receta y hasta haberla terminado empiezan a realizar la otra, y la mayoría de los procesos que se realizan son de manera manual al no contar con controladores en el proceso.

Los resultados del sistema de control obtenidos fueron favorables al momento de que todos los módulos implementados respondieron de manera correcta a los eventos que ocurrían en su entorno por ejemplo agregar nuevas recetas en tiempo real con diferentes equipos, procesos, operadores, etcétera. Un resultado obtenido del módulo lanzador fue que

al momento de tener diferentes recetas para realizar si el equipo y el operador estaba disponible para realizarlas se podía ir realizando las diferentes recetas lanzando a operar las tareas y mostrando el progreso en el diagrama de Gantt de Project. Otro punto importante de mencionar es que al momento de establecer comunicación con el sistema envoltura (Ontiveros, 2017) no fue necesario adaptar el sistema de control solo se adaptó el objeto representante y el sistema envoltura con el protocolo de comunicación establecido.

Capítulo VI: Conclusiones y recomendaciones

6.1 INTRODUCCIÓN

Con base en el análisis realizado sobre el desarrollo y validación del sistema de control, se obtuvieron las siguientes conclusiones y recomendaciones descritas a continuación. Así mismo se mencionan trabajos futuros propuestos como continuación del presente proyecto de tesis.

Al desarrollar el sistema de control con base en la arquitectura de referencia ArquiTAM se obtuvo un sistema modular con capacidad para establecer acoplamiento débil entre el sistema informático de control y los equipos que se encuentran en el área de producción. Por lo cual se analizó el entorno de producción por lotes en donde el control de la información en el piso de producción se dificulta en particular cuando los procesos en el mismo son efectuados manualmente.

La técnica gráfica de modelado iMRP utilizada para abstraer la información del piso de producción, permitió una interacción entre el sistema de control y el equipo de producción; en el modelo iMRP se abstraen las particularidades de la receta a realizar. Usar los conceptos de acoplamiento débil el sistema ofrece reusabilidad, es decir, no es necesario reconfigurar el sistema de control debido a cambios en el entorno; en esta dirección el concepto de operación dirigida por modelo permite subsanar cambios en el entorno mediante modificaciones en las particularidades abstraídas en el modelo iMRP, así el módulo lanzador de órdenes actúa (opera) sobre el nuevo sistema particular.

La integración de la función de despliegue de la programación de tareas, permitió afirmar la flexibilidad del concepto de integración, respecto al manejo de nuevas funciones relacionadas con el control de piso de producción. La integración de funciones con base en Microsoft Project aporta una vista ordenada del estado de determinada receta (tareas). Así mismo, diferentes equipos pueden estar operando con diferentes recetas al mismo tiempo, todo esto ayuda a aprovechar mejor los recursos de piso de producción.

Otro módulo incorporado al sistema lanzador de órdenes consistió en el módulo emulador del equipo del piso de producción, en donde se reciben los eventos que ocurren en

el piso de producción lo cual ofrece la facilidad de poder simular el lanzamiento de órdenes a las recetas sin la necesidad de interactuar con el equipo y así evitar afectar los procesos que se realizan en tiempo real al momento de estar haciendo las validaciones.

Mediante el uso de ArquiTAM se obtuvo flexibilidad de acoplamiento del sistema de control con cada equipo, teniendo el mismo protocolo de comunicación para el lanzamiento de órdenes y emulación del sistema.

6.2 TRABAJOS FUTUROS

Actualmente el sistema de control ha sido validado en un área de producción por lotes con procesos manuales. Por lo cual en un trabajo futuro seria probar el sistema para un entorno donde los procesos sean controlados automáticamente por controladores, por ejemplo, basados en PLC. Otro punto de interés por desarrollar sería trabajar en diferentes plataformas de computación y protocolos de comunicación para el sistema envoltura y el sistema de control. Otro aspecto de interés consiste en aplicar el sistema en diferentes áreas de la empresa de fabricación por ejemplo incluir el área de envasado y la rastreabilidad del producto.

Referencias Bibliográficas

Acosta, J. E. (2016). Esquema de Referencia para Acoplamiento Débil entre Sistema Informático y Equipo de Producción. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.

Acosta, J., & Sastron, B. (2006). Schematic Architecture: Reference Architecture / Frameworks / Particular Models for the Shop Floor Environment. *32nd Annual Conf. of the IEEE Industrial Electronics Society*, (págs. 4563-4568). Paris, Francia.

Acosta, J., & Sastrón, F. (2007). Production Shop Floor System Modeling With Reusability Focus. *Cost Effective Automation in Networked Product Development and Manufacturing.* Monterrey, N. L.: IFAC Conference.

Biafore, B. (2013). *Microsoft Project 2013: The Missing Manual.* O'Reilly Media, Inc.

Desel, J., & Reisig, W. (2014). The concepts of Petri nets. *Software & Systems Modeling*.

Emerson. (Abril de 1999). What Does a Procedure Look Like? The ISA S88.02 Recipe Presentation Format. *World Batch Forum North American Conference*. San Diego, California.

Gestión de recetas para procesos por lotes - Plant Batch iT. (s.f.). Obtenido de https://www.proleit.es/productos/plant-it/plant-batch-it.html

Gómez, M. S. (Junio de 2012). ESQUEMA DE REFERENCIA PARA SISTEMAS DE RASTREABILIDAD BASADO EN ARQUITAM. Chihuahua, Chihuahua, Mexico: Instituto Tecnológico de Chihuahua División de Estudios de Posgrado e Investigación.

Gonzalez, M. (2017). Sistema de lanzamiento de órdenes de producción para ambientes de fabricación por lotes, bajo el concepto de iMRP basado en el estándar ISA-s. Chihuahua, Mexico.

Hamed, R. I., Ahson, S. I., & Parveen, R. (2010). Designing Genetic Regulatory Networks Using. *International Journal of Automation and Computing*.

Hee, K., Serebrenik, A., & Sidorova, N. (2008). Token History Petri Nets. *Fundamenta informaticae*.

Hellgren, A., Fabian, M., & Lennartson, B. (2005). On the execution of sequential function charts. *Control Engineering Practice*.

Liu, S.-Z., Shi, H., & Yang, Z.-X. (2010). Research of control recipe for batch plants based on PFC. *Scopus*, 1079-1082.

Lohmann, S., & Engell , S. (2008). Systematic Logic Controller Design as Sequential Function Chart Starting from Informal Specifications. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 43-47.

Marichal, R. L., & González, E. J. (2014). ULLSIMGRAF: An educational tool with syntax control for Grafcet notation. *Computer Applications in Engineering Education*.

Martinez, E. (1999). Project-oriented Management of Batch Plants . Information System Design. *Computers and Chemical Engineering Supplemen*, S711-S714.

Medina , J., & Seck , J. (2013). *Aplicación de redes de petri en la modelación de sistemas de eventos discretos*. Obtenido de https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/icbi/n1/multimedia/e4/e4_3p.jpg

Microsoft Corporation. (2013). Microsoft Project 2013 SDK . (https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=30435, Recopilador) Obtenido de https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=30435

Murillo Soto, L. D. (2010). Simulación de un sistema de manufactura flexible con redes de Petri coloreadas. *Tecnología en Marcha*, 47-62.

Ontiveros, C. I. (Junio de 2017). Desarrollo de un emulador de un sistema de producción discreta con base en iMRP utilizando la operación dirigida por modelo. Chihuahua, Chihuahua.

PDU Course MS Project 2013. (2013). Obtenido de https://lib.store.yahoo.net/lib/yhst-94726811619380/pdu-training-microsoft-project-1.jpg

Rensburg, A., & Zwemstra, N. (1995). Implementing IDEF techniques as simulation modelling specifications. *29, Issue 1*, 467-471. Computers & Industrial Engineering.

Shang , Z., Qiu , C., & Zhu, S. (2011). A Model of Application System for Man-Machine-Environment System Engineering in Vessels Based on IDEF0. *Journal of Marine Science and Application*, 347-357.

Tüysüz, F., & Kahraman, C. (2010). Modeling a flexible manufacturing cell using stochastic Petri nets. *Expert Systems with Applications*, 3910-3920.

Curriculum Vitae

Mi nombre es Miguel Angel Gonzalez Hidalgo, nacido en Chihuahua, Chihuahua el 13 de Agosto de 1992, tengo 24 años de edad, soltero. Soy egresado del CONALEP plantel Chihuahua 2 de la Ciudad de Chihuahua, Chihuahua donde cursé la especialidad de Mantenimiento en equipo de cómputo y control digital durante los años 2006 al 2009 obteniendo el título de profesionista. Posteriormente estudie la carrera de Sistemas computacionales Hardware en la facultad de Ingeniería de la UACH, en la Ciudad de Chihuahua, Chihuahua durante los años 2010 al 2015 obteniendo el título de Ingeniero en Sistemas Computacionales en Hardware. Durante los años 2015 al 2017 curse la maestría en Ingeniería en Computación en la misma facultad de ingeniería de la UACH, especializado en el área de automatización obteniendo el grado de maestro en Ingeniería en Computación. En el Año 2016 cursé el diplomado de inglés que se imparte en el centro de idiomas de la UACH durante diez meses. En el año 2017 comencé a practicar en la empresa INNOVAC de Chihuahua durante un periodo de seis meses para la validación del sistema de control en el área de producción por lotes.

Domicilio Permanente: Calle Porfirio Diaz, s/n, colonia Ejido Sacramento
Chihuahua, Chihuahua, Código Postal 31150

Esta tesis fue mecanografiada por Miguel Angel Gonzalez Hidalgo.