

**INTEGRACIÓN DE LAS PLATAFORMAS FACTORYTALK Y SAP R/3 PARA LA
CATEGORÍA ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES DE PRODUCCIÓN DEL
ESTÁNDAR ISA 95: CASO DE ESTUDIO**



**Jhon Jairo Calvo Giraldo
Jhon Geiber Herrera Gaitán**

**Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Electrónica Instrumentación y Control
Ingeniería en Automática Industrial
Popayán, Diciembre de 2010**

**INTEGRACIÓN DE LAS PLATAFORMAS FACTORYTALK Y SAP R/3 PARA LA
CATEGORÍA ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES DE PRODUCCIÓN DEL
ESTÁNDAR ISA 95: CASO DE ESTUDIO**



**Monografía presentada como requisito parcial para optar por el título de Ingenieros
en Automática Industrial**

**Jhon Jairo Calvo Giraldo
Jhon Geiber Herrera Gaitán**

Director: Ingeniero Jaime Oscar Díaz

**Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Electrónica Instrumentación y Control
Ingeniería en Automática Industrial
Popayán, Diciembre de 2010**

Nota de aceptación: _____

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Popayán, Diciembre de 2010

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresamos nuestros más sinceros agradecimientos a:

Dios por colmarnos de bendiciones y darnos la fortaleza para tener siempre la mirada fija hacia el cumplimiento de las metas propuestas.

A nuestras familias por apoyarnos en todo momento y tener siempre la disposición para aconsejarnos y acompañarnos en los momentos difíciles, a ellos les debemos todo lo que somos.

A los ingenieros Juan Fernando Flórez, por sus orientaciones y apoyo para encaminar este proceso hacia los resultados obtenidos.

A nuestros grandes amigos, por su valiosa amistad y apoyo.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	14
1 INTEGRACIÓN EMPRESARIAL.....	16
1.1 CONCEPTO DE INTEGRACIÓN EMPRESARIAL.....	16
1.2 ANTECEDENTES.....	16
1.3 ARQUITECTURAS DE REFERENCIA PARA INTEGRACIÓN EMPRESARIAL	17
1.3.1 Arquitectura CIMOSA	17
1.3.1.1 CIMOSA - Arquitectura de referencia.....	18
1.3.1.2 CIMOSA – Ambiente de modelado	19
1.3.1.3 CIMOSA – Ciclo de vida.....	20
1.3.1.4 CIMOSA – Infraestructura integrada	21
1.3.2 Arquitectura GRAI/GIM.....	22
1.3.2.1 Modelo conceptual GRAI	23
1.3.2.2 Método GRAI	24
1.3.2.2.1 Rejilla GRAI	24
1.3.2.2.2 Redes GRAI	25
1.3.2.3 Ambiente de Modelado GIM.....	25
1.3.2.4 Enfoque Estructurado GIM.....	26
1.3.3 Arquitectura PERA.....	27
1.3.3.1 Ciclo de vida en la Arquitectura PERA	28
1.3.3.1.1 Etapa Conceptual	29
1.3.3.1.2 Etapa de Definición.....	30
1.3.3.1.3 Etapa de Especificación.....	31
1.4 ESTÁNDARES PARA INTEGRACIÓN EMPRESARIAL	32
1.1.1 Estándar ISA 95	32
1.4.1.1 Estructura del estándar ISA 95.....	34
1.4.2 Estándar ISA 88	35

1.4.2.1	Estructura del estándar ISA 88.....	35
1.5	TECNOLOGÍAS DE INTEGRACIÓN EN EMPRESAS DE MANUFACTURA	37
1.5.1	Protocolo XML en integración empresarial	37
1.5.1.1	B2MML (Bussines to Manufacturing Markup Language)	38
1.5.1.1.1	Arquitectura de B2MML	38
1.5.2	Servicios Web.....	39
1.5.2.1	Servicios Web y sistemas de automatización integrada	40
1.5.3	Redes de comunicación	42
2	SISTEMAS MES Y ERP	44
2.1	SISTEMAS MES (MANUFACTURING EXECUTION SYSTEMS)	44
2.1.1	ISA 95 parte 3: Modelo de Actividades de Administración de Operaciones de Manufactura.....	45
2.1.2	Administración de operaciones de producción.....	46
2.1.3	Implementación de Soluciones MES	47
2.1.3.1	Características de una solución MES.....	48
2.1.4	Soluciones Tecnológicas MES	49
2.1.4.1	Plataforma FactoryTalk	49
2.2	SISTEMAS ERP (ENTERPRISE RESOURCE PLANNING)	50
2.2.1	Características principales de un ERP.....	50
2.2.2	Implantación de sistemas ERP	51
2.2.2.1	Metodologías de Implantación.....	52
2.2.3	Soluciones ERP.....	53
2.2.3.1	SAP Businnes One	54
3	PROCEDIMIENTO PARA LA INTEGRACIÓN DE FACTORYTALK Y SAP R/3 EN PROYECTOS DE INTEGRACIÓN EMPRESARIAL.....	55
3.1	PANORAMA DE LOS PROCESOS DE INTEGRACIÓN EMPRESARIAL.....	55
3.2	DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO	56

3.2.1	Definición de alcances.....	57
3.2.2	Assessment de proceso y tecnología	57
3.2.3	Diseño del modelo de integración.....	61
3.2.4	Recomendaciones tecnológicas	62
3.2.5	Diseño funcional.....	64
3.2.6	Implementación	65
4	INTEGRACIÓN DE LAS PLATAFORMAS FACTORYTALK Y SAP R/3	68
4.1	DEFINICIÓN DE ALCANCES.....	68
4.2	ASSESSMENT DE PROCESO Y TECNOLOGÍA	69
4.2.1	Descripción de la empresa caso de estudio.....	69
4.2.1.1	Proceso administrativo en la empresa modelo Procesos S.A.....	69
4.2.1.2	Definición de procesos cadena de abastecimiento de la fábrica modelo .	69
4.2.1.2.1	Macroprocesos de Planeación.....	71
4.2.1.3	Proceso productivo	73
4.2.1.3.1	Sedimentación y floculación.....	73
4.2.1.3.2	Preparación de concentrado	73
4.2.1.3.3	Preparación de jarabe simple	73
4.2.1.3.4	Preparación de aditivos	74
4.2.1.3.5	Preparación de bebida.....	75
4.2.2	Descripción del estado actual del proceso.....	75
4.2.2.1	Registro de Variables.....	75
4.2.2.2	Sistemas de control y supervisión	75
4.3	DISEÑO DEL MODELO DE INTEGRACIÓN	76
4.3.1	Modelos ISA 88	76
4.3.1.1	Modelo de proceso.....	76
4.3.1.2	Modelo Físico.....	76
4.3.1.3	Modelo de control procedimental	77

4.3.1.4	Modelo de récipes.....	78
4.3.2	Modelos ISA 95	78
4.3.2.1	Categorías de información	78
4.3.2.2	Actividades e Interfaces	79
4.3.2.3	Definición de requerimientos.....	79
4.3.2.3.1	Administración de definición de producción (Production Definition Management)	79
4.3.2.3.2	Despacho de producción (Production Dispatching).....	80
4.3.2.3.3	Administración de ejecución de producción (Production Execution Management)	80
4.3.2.3.4	Recolección de datos de producción (Production Data Collection)	81
4.3.2.3.5	Análisis de desempeño de la producción (Production Analysis).....	82
4.3.2.3.6	Seguimiento de producción (Production Tracking).....	84
4.3.2.3.7	Interfaz programa de producción (Production Schedule Interface).....	84
4.3.2.3.8	Interfaz desempeño de producción (Production Performance Interface)	85
4.4	RECOMENDACIONES TECNOLÓGICAS.....	85
4.4.1	Componentes sistema de ejecución batch.....	86
4.4.2	Mapeo de Requerimientos.....	87
4.4.3	Componentes del sistema ERP	89
4.4.4	Medio de Integración	89
4.4.4.1	Intercambio de archivos en XML.....	90
4.4.4.2	Bases de datos	90
4.5	DISEÑO FUNCIONAL	92
4.5.1	Sistema de control y supervisión	92
4.5.2	Arquitectura sistema MES y ERP	93
4.5.2.1	Arquitectura del sistema.....	94
4.5.2.2	Lógica funcional del sistema	95

4.6	IMPLEMENTACIÓN	96
4.6.1	Cambios en el paradigma de programación de PLC's	97
4.6.2	Ejecución de procedimientos	97
4.6.3	Reportes de Materiales.....	98
4.6.4	Visualización de proceso	99
4.6.5	Reportes de ejecución batch	99
4.6.5.1	Detalle de ejecución batch	100
4.6.5.2	Comparación de tiempos de ejecución.....	101
4.6.5.3	Reporte de eventos.....	101
4.6.6	Generación de lista de materiales.....	102
4.6.7	Reporte de órdenes de producción.....	102
5	CONCLUSIONES	104
	BLIOGRAFÍA	105

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Soluciones MES. Fuente Propia.....	49
Tabla 2. Soluciones ERP. Fuente Propia.....	53
Tabla 3. Recolección, variables de producción. Fuente Propia.....	58
Tabla 4. Recolección, variables de proceso. Fuente Propia.....	58
Tabla 5. Recolección, variables de calidad. Fuente Propia.....	59
Tabla 6. Recolección, variables de mantenimiento. Fuente Propia.....	59
Tabla 7. Recolección, variables de inventario. Fuente Propia.....	60
Tabla 8. Datos sistema de control. Fuente Propia.....	60
Tabla 9. Datos de sistema HMI. Fuente Propia.....	61
Tabla 10. Especificación de requerimientos. Fuente [26]......	62
Tabla 11. Datos de sistema de control. Fuente Propia.....	65
Tabla 12. Datos de sistema HMI. Fuente Propia.....	65
Tabla 13. Sistema de control planta SED. Fuente Propia.....	75
Tabla 14. Sistema HMI planta SED. Fuente Propia.....	75
Tabla 15. Modelo de proceso planta SED. Fuente Propia.....	76
Tabla 16. Modelo físico planta SED. Fuente Propia.....	76
Tabla 17. Modelo de procedimientos planta SED. Fuente Propia.....	77
Tabla 18. Récipe para planta SED. Fuente Propia.....	78
Tabla 19. Requerimientos de usuario para PDM. Fuente Propia.....	79
Tabla 20. Requerimientos de usuario para PD. Fuente Propia.....	80
Tabla 21. Requerimientos de usuario para PEM. Fuente Propia.....	80
Tabla 22. Requerimientos de usuario para PDC. Fuente Propia.....	81
Tabla 23. Requerimientos de usuario para PPA. Fuente Propia.....	82
Tabla 24. Requerimientos de usuario para PT. Fuente Propia.....	84
Tabla 25. Requerimientos de usuario para PSI. Fuente Propia.....	84
Tabla 26. Requerimientos de usuario para PPI. Fuente Propia.....	85
Tabla 27. Requerimientos de usuario Vs Componentes software. Fuente Propia.....	87
Tabla 28. Sistema de control planta SED. Fuente Propia.....	92
Tabla 29. Sistema HMI planta SED. Fuente Propia.....	92

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Arquitectura de referencia CIMOSA. Fuente [2]	19
Figura 2. Ambiente de Modelado CIMOSA. Fuente [2]	20
Figura 3. Ciclo de vida del sistema empresarial. Fuente [7]	21
Figura 4. Infraestructura Integrada. Fuente [7].	22
Figura 5. Modelo Conceptual GRAI-GIM. Fuente [7].	23
Figura 6. Rejilla GRAI. Fuente [7].	25
Figura 7. Redes GRAI. Fuente [8].	25
Figura 8. Combinación de vistas y niveles de abstracción. Fuente [8].	27
Figura 9. Arquitectura PERA. Fuente [9].	29
Figura 10. Componentes de las etapas conceptual y de definición. Fuente [9].	30
Figura 11. Integración basada en ISA 95. Fuente [11].	33
Figura 12. Izq. Integración Tradicional, Der. Integración con XML. Fuente [17].	38
Figura 13. Equivalencia de esquemas B2MML a modelos ISA S95. Fuente [17].	39
Figura 14. Componentes básicos de los servicios Web. Fuente [17].	40
Figura 15. Arquitectura de un sistema de automatización con servicios web. Fuente [17].	41
Figura 16. Niveles de Comunicación. Fuente Propia.....	42
Figura 17. Modelo MESA. Fuente [18].	45
Figura 18. Modelo de Administración de Operaciones de Manufactura. Fuente [19].	46
Figura 19. Modelo de Actividad de Administración de Operaciones de Producción. Fuente [19].	47
Figura 20. Arquitectura Integrada. Fuente [20].	50
Figura 21. Esquema general de SAP R/3. Fuente [21].	54
Figura 22. Procedimiento para la integración de FactoryTalk y SAP R/3. Fuente Propia.	67
Figura 23. Diagrama macroprocesos de la cadena de abastecimiento. Fuente [27].	70
Figura 24. Diagrama de flujo proceso de planeación. Fuente Propia.	72
Figura 25. Diagrama planta caso de estudio. Fuente Propia.	74
Figura 26. Clasificación de herramientas FactoryTalk. Fuente Propia.	85
Figura 27. Esquema de funcionamiento FactoryTalk Batch. Fuente Propia.	86
Figura 28. Traslape de componentes software en el modelo de administración de operaciones de producción. Fuente Propia.	89
Figura 29. Arquitectura del sistema de control. Fuente Propia.	93
Figura 30. Arquitectura sistemas MES y ERP. Fuente Propia.	94

Figura 31. Arquitectura completa del sistema. Fuente Propia.	95
Figura 32. Esquema de funcionamiento del sistema. Fuente Propia.....	96
Figura 33. Programación con Phase Manager. Fuente Propia.....	97
Figura 34. Pantalla de ejecución batch. Fuente Propia.	98
Figura 35. Reporte de materiales. Fuente Propia.....	98
Figura 36. Visualización de proceso. Fuente Propia.	99
Figura 37. Interfaz para generación de reportes. Fuente Propia.	100
Figura 38. Reporte resumen de batch. Fuente Propia.....	100
Figura 39. Reporte de comparación de tiempos de ejecución. Fuente Propia.....	101
Figura 40. Reporte de eventos de ejecución. Fuente Propia.....	101
Figura 41. Lista de materiales en SAP. Fuente Propia.....	102
Figura 42. Seguimiento de órdenes de producción. Fuente Propia.....	103

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Complemento arquitecturas y estándares para integración empresarial.

ANEXO B. Descripción y configuración de componentes software y hardware de la plataforma de integración.

ANEXO C. Complemento del modelo de administración de operaciones de producción del estándar ISA 95.

ANEXO D. Complemento a modelos ISA 95.

ANEXO E. Proceso de fabricación de bebidas carbonatadas.

INTRODUCCIÓN

Actualmente en el contexto de las empresas de manufactura la necesidad de adaptarse a continuos cambios tecnológicos así como a las exigencias del mercado ha obligado a las empresas a adoptar mecanismos y estrategias que les permitan coordinar adecuadamente todos los procesos empresariales pudiendo obtener altos niveles de competitividad dentro del mercado global. Por otro lado la necesidad de obtener información de alta calidad y el acceso a ella de una manera rápida y eficiente, para el conocimiento del proceso y el soporte de los procesos de negocio, ha hecho que las empresas hagan uso de sistemas de IT (Information Technologies) en fabricación, con el fin de alcanzar la integración entre los diferentes niveles empresariales.

Como respuesta a estas necesidades surge el enfoque de integración empresarial, que tiene como objetivo mejorar la eficiencia global del sistema mediante la conexión de todos sus componentes, obteniendo mayor flexibilidad en cuanto a la producción y la capacidad de reconfigurar rápidamente los procesos. Este enfoque comprende conceptos, modelos, métodos y técnicas para “la definición, el análisis, el rediseño y la integración de procesos de negocios, procesos de datos y conocimiento, aplicaciones de software y sistemas de información dentro de una empresa, con el propósito de mejorar el rendimiento global de la organización”, permitiendo establecer una visión global de la empresa, a través del modelado de todos sus componentes, las actividades que en ella se realizan y los flujos de información intercambiados dentro de la misma. La integración empresarial permite establecer las pautas necesarias para abordar el problema de integración entre el proceso productivo y los sistemas de negocio mediante la adopción de arquitecturas de referencia, ampliamente desarrolladas como CIMOSA [1], GRAI/GIM [2] y PERA [3], las cuales describen, de una manera genérica, cómo lograr la integración de los procesos de la empresa, así como de estándares internacionales que proporcionen modelos y terminología que permitan abordar fácilmente dicha problemática. Es así como la organización ISA (International Society of Automation) desarrolló los estándares ISA 88 e ISA 95, el primero enfocado a resolver los problemas de normalización de los procesos en los sistemas de manufactura tipo batch proporcionando un conjunto de herramientas necesarias para el análisis de los procesos existentes permitiendo agregar rápidamente nuevos productos a los sistemas de procesamiento. Por su parte ISA 95 provee los modelos y terminologías para la definición de interfaces entre el sistema de negocios y el

sistema de control de manufactura, buscando una fácil integración de las operaciones durante todo el ciclo de producción sin tener en cuenta el grado de automatización actual del proceso. Describe las funciones relevantes del nivel ERP (Enterprise Resources Planning) y del nivel MES (Manufacturing Execution System), y la información clave que se requiere compartir en esos dominios.

El gran reto de las empresas de manufactura a nivel mundial se basa en ¿cómo? explotar al máximo los datos generados desde el sistema de producción con el fin de convertirlos en información valiosa que les permita tomar decisiones inteligentes; sin embargo el problema que ha obstaculizado estos alcances ha sido la dificultad de relacionar de una manera eficiente los sistemas de control de manufactura (MES) con los empresariales (ERP). En este sentido las empresas se han dado cuenta de la importancia de trabajar de acuerdo a estándares como ISA 88 y 95, los cuales permiten establecer una estructura común para el modelado e intercambio de información entre los sistemas mencionados, tomándolos como herramienta clave en el desarrollo de proyectos de automatización integrada bajo el enfoque de integración empresarial. Dichos proyectos tienen el inconveniente de ser muy costosos debido a la tecnología y plataformas de información que se deben utilizar para su implementación, pero sobretodo la falta de conocimiento de las personas involucradas en la ejecución del mismo ha conllevado a que no se alcancen los objetivos para los que fue concebida dicha implantación y por consecuencia muy pocas empresas decidan implementar soluciones de este tipo.

A nivel nacional la industria colombiana no ha sido ajena a estos inconvenientes, sin embargo este aspecto no ha influido para que hasta el momento se hayan logrado avances significativos en el desarrollo de proyectos de automatización a gran escala. Desde este punto de vista queda claro que aún falta mucho por mejorar y que existen grandes necesidades en el sector productivo con respecto a las soluciones de integración no solo en Colombia sino a nivel de la industria mundial, abriendo grandes posibilidades para los profesionales en esta área que actualmente desconocen como plantear soluciones tangibles de automatización desde el punto de vista de integración empresarial.

1 INTEGRACIÓN EMPRESARIAL

En este capítulo se presenta información relevante en donde se abordan de una manera general conceptos, arquitecturas, estándares y tecnologías alrededor de la temática de integración empresarial enfocada a las actividades de producción en empresas de manufactura.

1.1 CONCEPTO DE INTEGRACIÓN EMPRESARIAL

La integración empresarial es un concepto de la ingeniería empresarial que tiene como filosofía proporcionar la información precisa, en el lugar y tiempo adecuados, bajo el formato exacto, lo cual permite la comunicación entre personas, máquinas y computadores así como su eficiente coordinación y cooperación a través de toda la empresa [4].

En este sentido se persigue la integración de los procesos de decisión, control y manejo de información de la empresa a través de un enfoque integral de planificación estratégica fundamentada en el modelado de la empresa y de sus sistemas de información, decisión y control; es así como las diferentes aplicaciones o sistemas que satisfacen un área de negocios se intercomunican haciendo uso de la integración de procesos, a partir de modelos del negocio, donde se define de manera clara la separación entre las diferentes funciones, la responsabilidad de la información y una visión común de la empresa [5].

1.2 ANTECEDENTES

El enfoque de integración empresarial tiene sus orígenes entre la década del 70 y 80 con el desarrollo de las primeras propuestas de modelado empresarial generadas en Estados Unidos y Europa. Es así como Estados Unidos presentó su primera propuesta de modelado e integración empresarial denominada ICAM (Integrated Computer Aided Manufacturing) liderado por la fuerza aérea de dicho país en 1981. El modelo NBS (National Bureau of Standards) fue el primer modelo presentado como una arquitectura CIM (Computer Integrated Manufacturing), caracterizado por tener una gran flexibilidad para emular una amplia variedad de células de manufactura. Así mismo la universidad de Purdue propuso el "Purdue CIM Reference Model", considerado actualmente como el modelo de referencia más antiguo, el cual define requerimientos comunes a todas las implementaciones, pero independiente de los requerimientos específicos de cualquier implementación en particular [6].

En cuanto a Europa se refiere los proyectos más significativos son COSIMA (Control System for Integrated Manufacturing) en 1985 y CIMOSA (CIM Open System Architecture) en 1996 ampliamente reconocidos por abordar de manera directa, el problema de integración entre el control de producción y planificación y el control en las células de manufactura.

Debido a las múltiples propuestas que surgieron en torno a esta temática, la organización IFAC/ IFIC (International Federation for Automatic Control/International Federation for Information Processing) decidió crear en 1996 la “Task Force on Architectures for Integrated Manufacturing Activities and Enterprises” con el fin de generar una propuesta para el desarrollo de la integración empresarial, obteniendo como resultado la selección de las arquitecturas CIMOSA, PERA y GRAI/GIM por considerarse como las únicas tres propuestas que tenían los suficientes elementos para tomarlas como referencia para el modelado e integración empresarial [6].

1.3 ARQUITECTURAS DE REFERENCIA PARA INTEGRACIÓN EMPRESARIAL

Uno de los resultados más importantes del Modelado e Integración Empresarial lo constituyen las arquitecturas de referencia, las cuales describen, de una manera genérica, cómo lograr la integración de los procesos de negocio, procesos de datos y conocimiento, aplicaciones de software y sistemas de información dentro de una empresa. Una arquitectura es un modelo o patrón que establece los aspectos más importantes que deben considerarse durante el proceso de modelado e integración empresarial [5]. Las arquitecturas CIMOSA, GRA-GIM y PERA, ampliamente reconocidas por su aplicación en el modelado de las actividades de producción en empresas de manufactura, han sido el punto de partida para importantes avances en este tema, tales como el surgimiento del estándar ISA 95, el cual está basado en la arquitectura PERA; así como también la creación de tecnologías que han permitido establecer soluciones óptimas de integración por medio de la vinculación de las redes industriales y las plataformas de automatización como activos clave en un sistema de manufactura.

1.3.1 Arquitectura CIMOSA

Conocida como Arquitectura de Sistemas Abiertos para CIM (Manufactura Integrada Por Computador) por sus siglas en inglés, fue desarrollado por el consorcio AMICE (European CIM Architecture) en el año 1996, con el objetivo de asistir a las empresas a manejar el

cambio, integrar sus instalaciones y operaciones, para enfrentar la competencia mundial, la competencia en precios, calidad y tiempos de entrega. En este sentido se desarrolló una arquitectura para la definición, especificación y aplicación de los sistemas CIM en empresas de manufactura [2].

Esta arquitectura comprende tres componentes principales que soportan la descripción de la empresa desde el nivel administrativo hasta el piso de planta.

- Ambiente de modelado con arquitectura de referencia y arquitectura particular.
- Ciclo de vida del sistema.
- Infraestructura integrada.

1.3.1.1 CIMOSA - Arquitectura de referencia

La Figura 1 muestra el proceso de modelado empresarial. La arquitectura de referencia proporciona la construcción de modelos, necesarios para el modelado de cualquier parte del sistema operacional de la empresa. La descripción de la operación particular resulta en un modelo empresarial particular, que será liberado para su uso en la operación. CIMOSA soporta el modelado del ciclo de vida completo del sistema desde la definición de requerimientos hasta la descripción de la aplicación. La validación y verificación del modelo son parte de las actividades recomendadas del ciclo de vida para realizar antes del uso operacional del modelo.

Dentro de la arquitectura se pueden destacar dos ambientes:

- *Ambiente para ingeniería de empresas:* En donde se construyen o adaptan los modelos.
- *Ambiente para operación de empresas:* Los modelos son empleados para soportar, controlar, y monitorear las operaciones de la empresa a lo largo del ciclo de vida del producto.

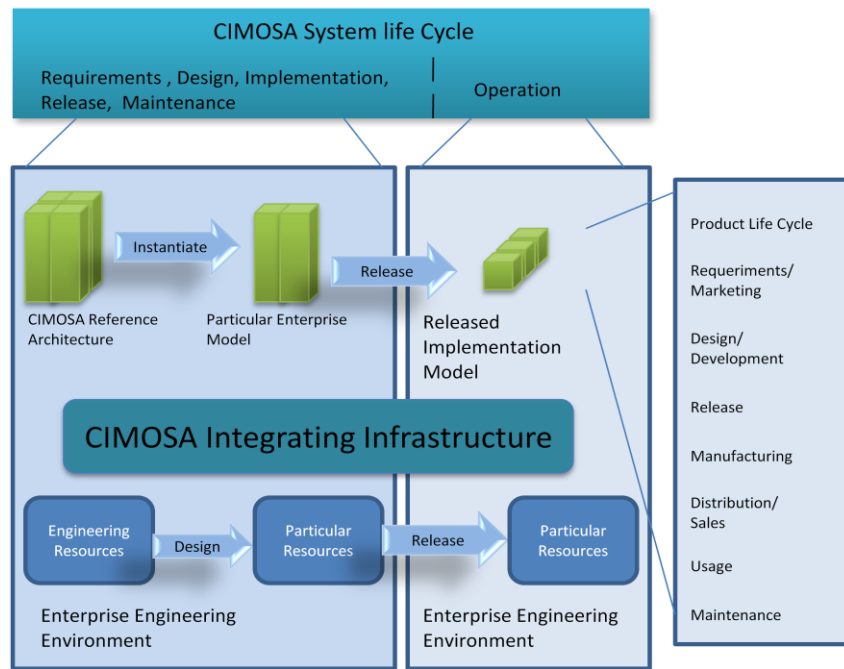


Figura 1. Arquitectura de referencia CIMOSA. Fuente [2]

1.3.1.2 CIMOSA – Ambiente de modelado

El ambiente de modelado de la Figura 2 muestra las estructuras de la arquitectura de referencia CIMOSA dentro de un nivel de modelado genérico y uno parcial, cada uno soportando diferentes vistas sobre el modelo particular de la empresa. El concepto de vistas permite trabajar con un subconjunto del modelo en lugar del modelo completo reduciendo la complejidad para un área en específico. CIMOSA ha definido cuatro vistas diferentes de modelado:

- *Vista de función*, representa las funcionalidades y comportamientos de la empresa (eventos, actividades y procesos) incluyendo aspectos temporales y manejo de excepciones.
- *Vista de información*, representa los objetos de la empresa y sus objetos de información.
- *Vista de recursos*, representa los medios con los que cuenta la empresa, sus capacidades y administración.
- *Vista de organización*, representa los niveles organizacionales, autoridades y responsabilidades

Esta arquitectura de referencia soporta el ciclo de vida completo de las operaciones empresariales, definición de requerimientos, especificación del sistema y descripción de la aplicación. El modelado puede empezar en cualquiera de las fases del ciclo de vida y puede ser repetido en caso de que sea necesario [3].

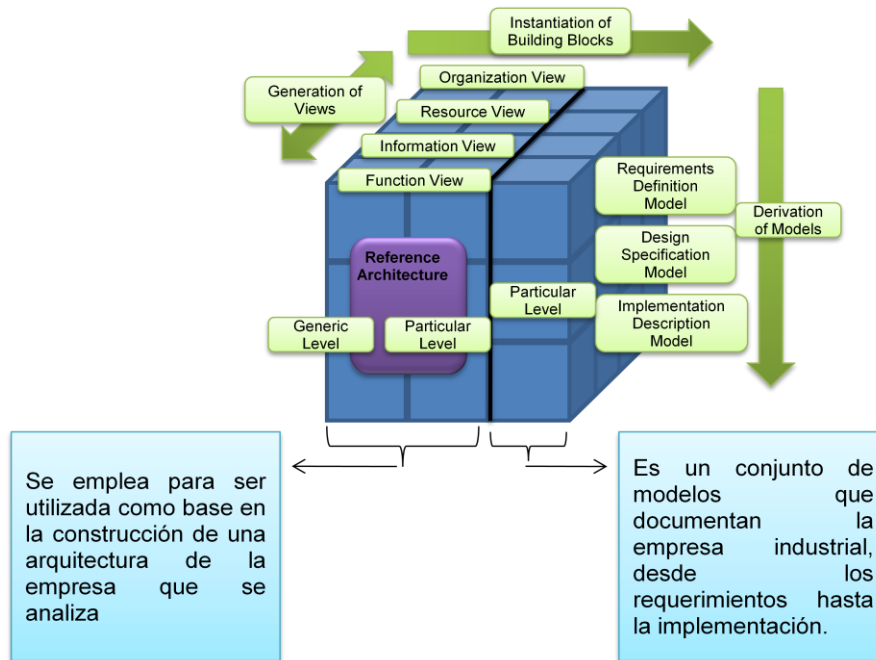


Figura 2. Ambiente de Modelado CIMOSA. Fuente [2]

1.3.1.3 CIMOSA – Ciclo de vida

Como muchas otras metodologías de modelado, CIMOSA se basa en el concepto de ciclo de vida del sistema el cual es una dimensión del ambiente de modelado CIMOSA. Las relaciones entre el ciclo de vida empresarial y las etapas de modelado empresarial son mostradas a continuación en la Figura 3.

Comenzando desde las limitaciones y objetivos empresariales y utilizando las construcciones de modelado proporcionadas por la arquitectura de referencia CIMOSA, los requerimientos del sistema son definidos en el modelo particular de definición de requerimientos, el cual es la base para el diseño del sistema, identificando el conjunto de recursos y entidades funcionales necesarias para la operación del mismo. El diseño del sistema es capturado en el modelo particular de especificaciones de diseño, derivando las especificaciones de diseño del sistema de requerimientos, reutilizando y modificando las construcciones de modelado definidas en el modelo de definición de requerimientos en sí

mismo. El sistema operacional es construido de acuerdo a las especificaciones de diseño mediante la adquisición de entidades funcionales del stock disponible, el mercado o mediante la construcción de nuevas de acuerdo a las especificaciones de diseño. La descripción del sistema operacional implementado incluyendo todas las desviaciones del diseño del sistema son registrados en el modelo de descripción de la aplicación. Este modelo después de la instalación, verificación y puesta en marcha, posteriormente será usado por las aplicaciones deseadas en el ambiente operacional.

CIMOSA define una fase especial en su ciclo de vida para capturar solicitudes de cambio o mantenimiento del sistema. Las modificaciones de la operación empresarial serán modeladas y evaluadas previamente para su implementación, proporcionando así el soporte necesario para la evolución y mejoramiento de las operaciones empresariales [3].

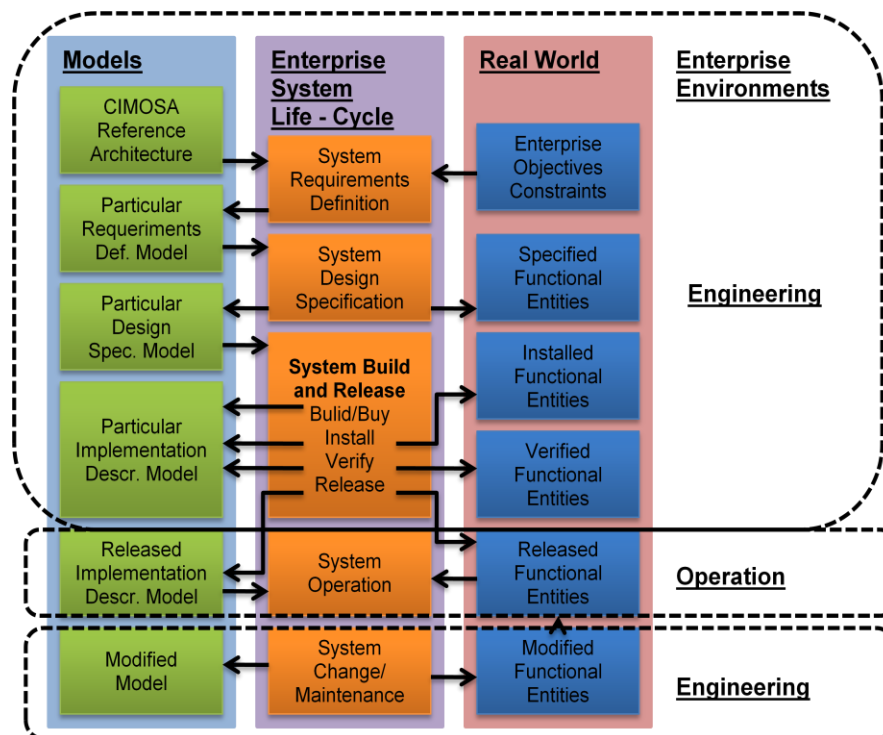


Figura 3. Ciclo de vida del sistema empresarial. Fuente [7]

1.3.1.4 CIMOSA – Infraestructura integrada

Son dos los objetivos de la infraestructura integrada, por un lado debe ofrecer soporte para sistemas de integración CIM, tales como interconexión y comunicación entre componentes heterogéneos y distribuidos. Por otro lado debe suministrar soporte para la

coordinación de la empresa, como por ejemplo garantizar la coherencia en la ejecución de procesos de dominio concurrentes.

La infraestructura integrada proporciona un conjunto de entidades de servicio genéricas para el modelo de ingeniería y el modelo basado en el control operacional de la empresa, especialmente en ambientes heterogéneos. Estas entidades de servicio analizan el contenido del modelo, asignan los recursos, identifican la información solicitada y se conectan a la base de información sobre recursos tecnológicos y de manufactura a través de las entidades de información, presentación y de servicios comunes. A continuación en la Figura 4 se muestra el conjunto de entidades de servicio que conforman la infraestructura integrada [7].

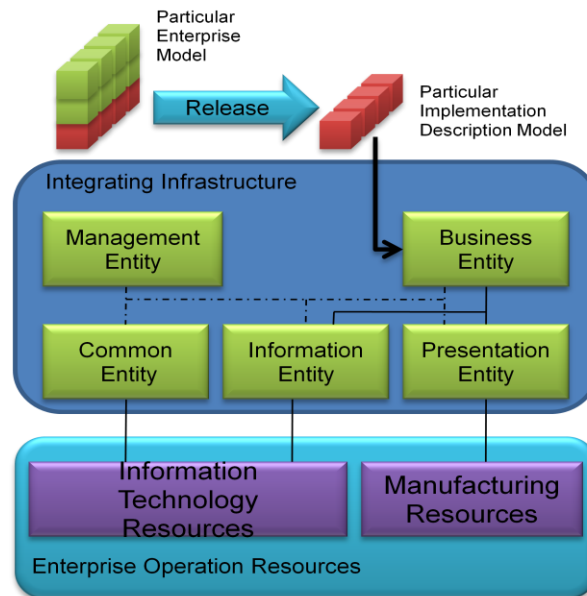


Figura 4. Infraestructura Integrada. Fuente [7].

1.3.2 Arquitectura GRAI/GIM

Tanto GRAI (Graph with Results and Activities Interrelated) como GIM (GRAI Integrated Methodology) fueron desarrollados por los laboratorios de automatización y producción de la Universidad de Bordeaux- Francia. Fue diseñado para ayudar a definir el modelo para un sistema integrado de manufactura, con el fin de especificar un sistema CIM para su posterior venta o desarrollo.

La metodología GRAI/GIM está compuesta de cuatro partes fundamentales:

- El modelo conceptual GRAI
- El método GRAI incluyendo la rejilla GRAI y las redes GRAI.
- El ambiente de modelado GIM.
- El enfoque estructurado GIM.

1.3.2.1 Modelo conceptual GRAI

Este modelo es el elemento fundamental de la metodología GIM fue desarrollado a partir de una base soportada en diferentes teorías, como son la teoría de sistemas, la estructuración de sistemas y la descomposición de un sistema en actividades. Su principal objetivo es el análisis del sistema de toma de decisiones de la empresa, así como de proporcionar una descripción genérica de lo que es un sistema de fabricación, incidiendo en la parte de control de este sistema (la gestión de la producción en un amplio sentido). El control de un sistema de fabricación se representará en primer lugar desde un punto de vista global, al nivel de los centros de decisión. El interés del modelo GRAI es ser lo suficientemente genérico para poder ser utilizado en cualquier sistema de fabricación [6].

El modelo GRAI mostrado en la Figura 5 consiste en un macro modelo de referencia conceptual para los sistemas de fabricación y un micro modelo conceptual para los centros de decisión. A nivel conceptual este modelo se compone de tres subsistemas [6]:

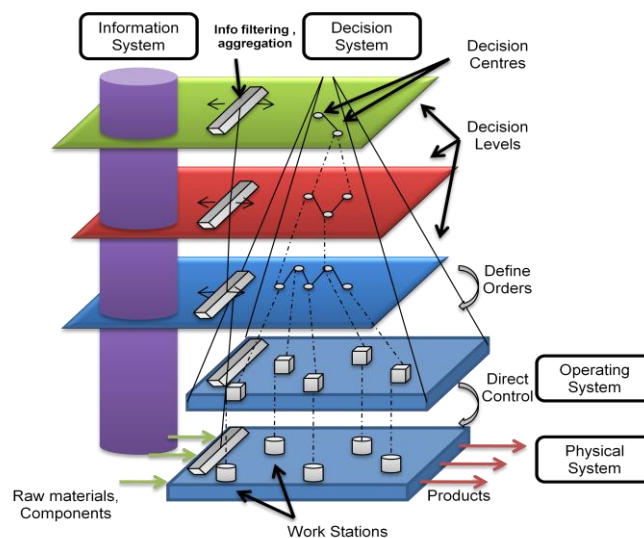


Figura 5. Modelo Conceptual GRAI-GIM. Fuente [7]

- *Sistema físico:* Es el encargado de transformar las materias primas y componentes en productos terminados, creando un flujo de materiales a través de los medios (equipos, máquinas, etc.) organizados de acuerdo a varios criterios de agrupamiento.
- *Sistema de toma de decisiones:* Se encarga de hacer cumplir los objetivos de producción, está compuesto por varios niveles de decisión, cada uno compuesto por uno o varios centros de decisión. Este sistema está dividido en dos partes; una parte que está dirigida por periodos y otra que está dirigida por eventos, en donde se encuentran las interfaces con el sistema físico, sistemas de control numérico, PLC (Programmable logic controller).
- *Sistema de información:* Contiene toda la información necesaria para el sistema de decisión. Debe estar estructurado de una manera jerárquica de acuerdo con la estructura de los centros de decisión [8].

1.3.2.2 Método GRAI

Está basado en dos herramientas básicas de modelado:

- La rejilla GRAI.
- Las redes GRAI.

1.3.2.2.1 Rejilla GRAI

La rejilla GRAI modela el sistema de toma de decisiones; esta es mostrada en forma de tabla, donde cada columna representa las funciones y las filas, los niveles de decisión, como se muestra en la Figura 6. Las funciones son descompuestas dentro de niveles de acuerdo al horizonte de decisión H y el periodo de revisión P . Un periodo de decisión es un intervalo de tiempo durante el cual las decisiones tienen vigencia y un periodo de revisión es un intervalo de tiempo al final del cual las decisiones son revisadas. Los horizontes de planificación a largo plazo están en la parte superior, mientras que los de planificación a corto plazo están en la parte inferior de la red. Cada celda en la tabla define un centro de decisión. Los centros de decisión están conectados por enlaces de decisión e información. La rejilla es utilizada para analizar las relaciones entre los centros de decisión en términos de los flujos de decisión e información.

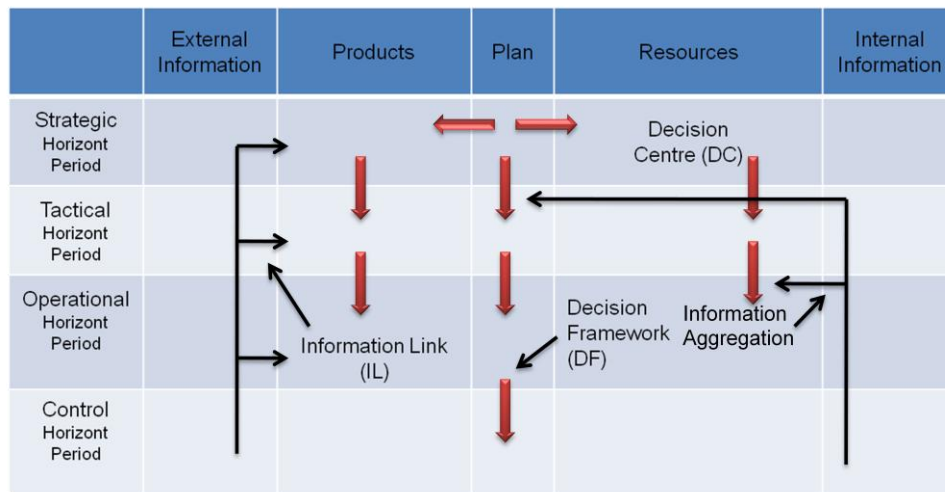


Figura 6. Rejilla GRAI. Fuente [7].

1.3.2.2 Redes GRAI

Las redes GRAI mostradas en la Figura 7 modelan las diferentes actividades de cada centro de decisión identificado en la rejilla GRAI. Las actividades, recursos, objetos de entrada y salida también son incluidas en las redes. Las redes GRAI permiten el análisis de los centros de decisión [8].

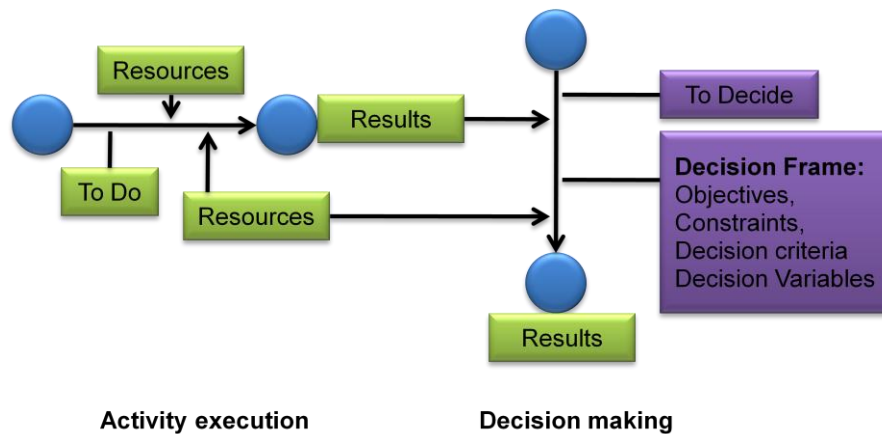


Figura 7. Redes GRAI. Fuente [8].

1.3.2.3 Ambiente de Modelado GIM

El ambiente de modelado GIM está compuesto por dos dimensiones: vistas y niveles de abstracción.

- *Vistas:* De acuerdo al modelo GRAI, cualquier sistema de manufactura puede ser dividido en tres sistemas: el *sistema físico*, el *sistema de toma de decisiones* y el *sistema de información*. Estos tres sistemas proporcionan tres vistas. Una vista puede ser definida como una percepción selectiva de un sistema de manufactura que se concentra en algún aspecto particular sin tener en cuenta los demás. Además de estas tres vistas se agrega una cuarta denominada vista funcional, esta vista proporciona una manera de mostrar las principales actividades de producción en un sistema de manufactura y los flujos de información entre ellas, además que define exactamente las fronteras del dominio que se está estudiando.
- *Niveles de abstracción:* El proceso de modelado implica la simplificación de una realidad demasiado compleja. De modo que un modelo conserva solamente los conceptos y elementos que serán necesarios en el momento de utilizar el modelo. La introducción de niveles de abstracción permite una descripción jerárquica en el sentido que el modelo está constituido de muchos modelos que integran conceptos específicos. En la práctica el modelo tiene tres niveles de abstracción:
 - a. *Nivel conceptual:* Hecho sin ninguna consideración organizacional o técnica, este es el nivel más estable cuyo objetivo es hacer la pregunta ¿Qué?
 - b. *Nivel estructural:* Integra un punto de vista organizacional, su objetivo es hacer las preguntas ¿Quién?, ¿Dónde? y ¿Cuándo?
 - c. *Nivel de realización:* Este es el nivel más específico porque integra las limitaciones técnicas del caso de estudio para determinar el ¿Cómo?

La combinación de estas dos dimensiones produce el ambiente de modelado GIM, en la Figura 8 se puede apreciar que el ambiente de modelado se divide en dos partes, la parte superior enfocada al usuario, mientras que la otra está enfocada hacia la tecnología [7].

1.3.2.4 Enfoque Estructurado GIM

De acuerdo a los requerimientos de usuario del sistema futuro, el objetivo de GIM es proporcionar especificaciones en términos de la organización, tecnologías de información y fabricación, que permitirán la construcción de este nuevo sistema. Este enfoque estructurado tiene cuatro fases principales:

- *Inicialización*, consiste en definir los objetivos de la empresa, el dominio de estudio, el personal involucrado, etc.

- *Análisis*, se hace la definición de las características del sistema actual en términos de cuatro vistas orientadas al usuario.
- *Diseño*, es realizada en dos etapas, diseño orientado al usuario y diseño orientado a la tecnología. El primero utiliza los resultados de la fase de análisis para establecer los requerimientos del nuevo sistema; el segundo consiste en la transformación de los modelos orientados al usuario, del nuevo sistema, a los modelos orientados a la tecnología.
- *Implementación*, el sistema es implementado.

A continuación en la Figura 8 se muestra la combinación de vistas y niveles de abstracción de las cuatro fases del enfoque estructurado GIM.

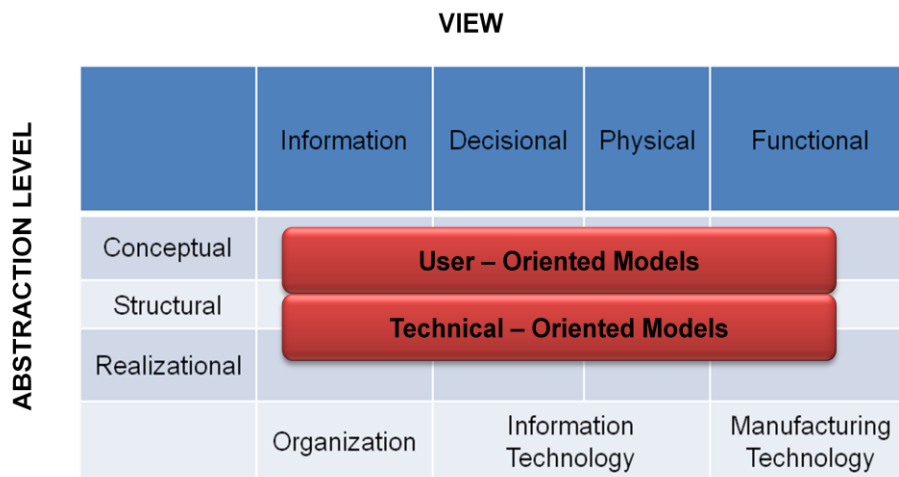


Figura 8. Combinación de vistas y niveles de abstracción. Fuente [8].

Las técnicas usadas para desarrollar nuevos sistemas de manufactura son actualmente muy complejas de entender por los usuarios de los sistemas futuros, en particular en el dominio de tecnologías de información. Además, debido a la alta inversión que se necesita para construir un nuevo sistema de manufactura, los usuarios necesitan estar seguros que el diseño del nuevo sistema cumpla con los objetivos definidos en los requerimientos de usuario [7,8].

1.3.3 Arquitectura PERA

La arquitectura de referencia PERA (Purdue Enterprise Reference Architecture) y su metodología asociada desarrolladas en la Universidad de Purdue en el año 1989, están definidas con el fin de ayudar a las empresas a llevar a cabo proyectos de integración

empresarial de manera exitosa. Esta es una metodología completa y ampliamente documentada para definir, diseñar, construir, instalar y desarrollar proyectos de integración empresarial, para las actividades de producción en empresas de manufactura [7].

1.3.3.1 Ciclo de vida en la Arquitectura PERA

Una empresa es una entidad organizacional de negocio, constituida para producir bienes y/o servicios en respuesta a las necesidades de los clientes. En este sentido PERA considera que una empresa debe enfrentarse a dos ambientes dinámicos [9]:

- El medio ambiente externo, caracterizado por cambios rápidos de las necesidades del mercado y gran competencia con otros vendedores en el mismo campo.
- El medio ambiente interno, caracterizado por objetivos globales, actitudes de gestión y grandes cambios tecnológicos.

Por lo tanto PERA considera la empresa desde dos puntos de vista distintos, uno desde el medio ambiente externo o medio ambiente del negocio y otro desde el medio ambiente interno o de acuerdo a los recursos de la empresa, tales como las tecnologías de fabricación, información y control. Estos dos puntos de vista se ven reflejados en las etapas conceptuales de la arquitectura mostrada en la Figura 9, en donde se hace referencia a una planta de producción, que presenta un diagrama de bloques simple de la arquitectura PERA.

Se puede observar que los tipos de tareas de integración que se dan en las diferentes áreas de la representación gráfica de la arquitectura PERA, en la Figura 9, comienzan con la identificación de la entidad de negocio para integración empresarial (EBE), bajo las condiciones tanto del medio interno como externo. Esta identificación considera el futuro uso por parte de la empresa del proyecto de integración y cómo la dirección de la empresa identifica la necesidad de iniciar el proyecto o programa. Esto conlleva a la etapa conceptual de la arquitectura PERA, donde se hace una descripción de la misión, visión, así como cualquier otra filosofía de operación, o acciones, tales como: elección de procesos, selección de clientes etc.

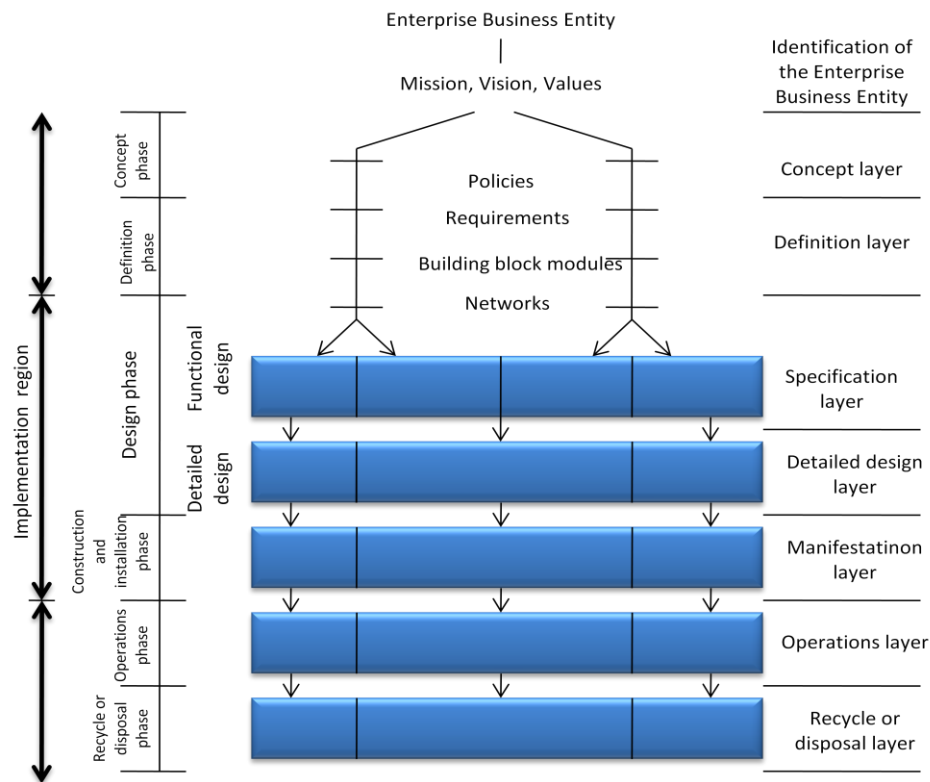


Figura 9. Arquitectura PERA. Fuente [9].

1.3.3.1.1 Etapa Conceptual

En esta etapa se definen las políticas operacionales de la compañía para la entidad de negocio y se desglosan para todas las unidades y áreas concernientes (ver Figura 10). Se clasifican entonces en dos categorías funcionales, una para las políticas relacionadas con información y control, y otra para las políticas relacionadas con la producción, estas dos categorías completan la etapa conceptual [9].

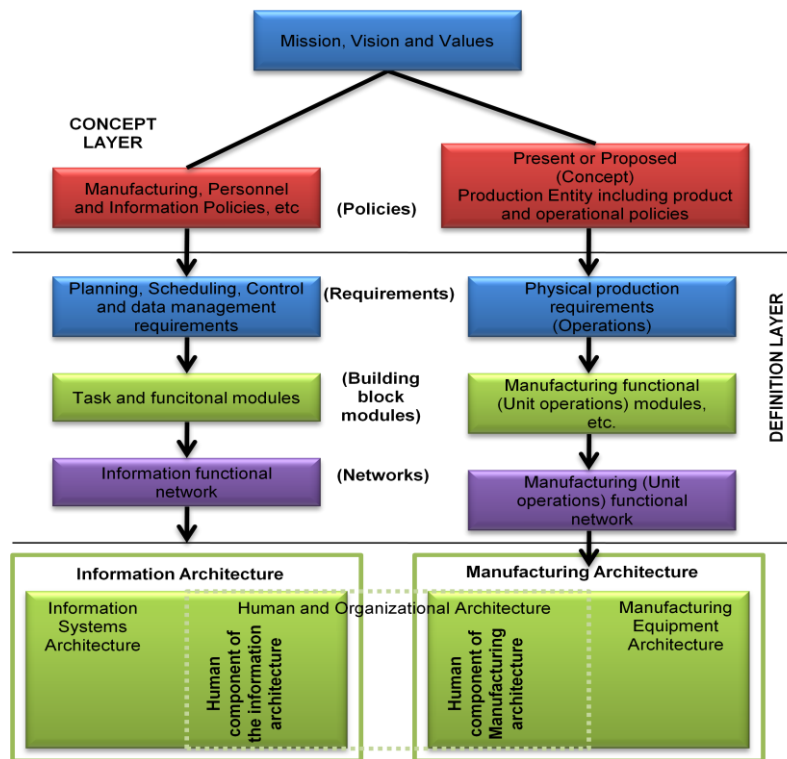


Figura 10. Componentes de las etapas conceptual y de definición. Fuente [9].

1.3.3.1.2 Etapa de Definición

En esta etapa se da paso a la definición de requisitos operacionales y funcionales de la entidad definida. Todos los análisis de la etapa de definición son independientes del método específico para la implantación de la tarea o función, es decir, sin importar si es una tarea basada en máquinas o en personas. PERA considera que funcionalmente, todas las tareas pueden ser inicialmente definidas sin referencia a su método de implantación, por lo tanto, cualquier discusión de las funciones a llevar a cabo en la implantación, puede ser propuesta en el desarrollo del sistema hasta después de que sean definidas todas las tareas y funciones. En la etapa de definición, basada en el establecimiento de los requisitos, se lleva a cabo un enfoque funcional “bottom-up” empezando por la definición y colección detallada de tareas [9].

La arquitectura PERA define un módulo de tareas como, “*el nivel más bajo de la descomposición funcional el cual corresponde al trabajo de una sola persona o máquina en un determinado tiempo*” y define cada función “*como un grupo de tareas que pueden ser clasificadas por un objetivo común dentro de una empresa*”.

1.3.3.1.3 Etapa de Especificación

En esta etapa comienzan las consideraciones de implementación. Si el sistema futuro fuera totalmente automático y no hubiera personas involucradas, las dos redes funcionales definidas en la etapa de definición se trasladarían directamente en esta etapa como dos arquitecturas de implementación: La arquitectura de información y la arquitectura de producción. Sin embargo debido a la necesidad de personas en casi cualquier implementación, la primera necesidad en esta etapa es definir qué tareas, ya sean de información o de producción, serán hechas por personas. En otras palabras será definido el lugar para el factor humano en ambas arquitecturas. Aunque las tareas llevadas a cabo por humanos en estas arquitecturas son diferentes, los requisitos económicos, sociales, culturales y educacionales de los mismos se pueden considerar básicamente comunes y también sus capacidades físicas y psicológicas. Así, todas las tareas realizadas por humanos pueden considerarse de un modo conjunto, como resultado de esto, las dos redes funcionales se convierten en tres arquitecturas de implementación como sigue:

- La arquitectura de los sistemas de información (ordenadores, equipos de comunicación, bases de datos).
- La arquitectura organizacional y humana.
- La arquitectura del equipo de producción.

Hay dos enfoques importantes relacionados con el desarrollo de las arquitecturas descritas anteriormente.

- *Vista funcional*: Agrupa todos los módulos de trabajo que describen las funciones asignadas a las entidades de negocio y su relación con las demás entidades; este enfoque comprende, un conjunto de tareas genéricas llevadas a cabo por todos o la gran mayoría de entidades de negocio para integración empresarial.
- *Vista de implementación o física*: Agrupa el factor humano, además de hardware y software, utilizados para la realización de la totalidad o parte de las funciones descritas, en el enfoque funcional de una entidad de negocio.

Como resultado del establecimiento de las tres arquitecturas en la etapa de especificación, la integración de todas las funciones de un programa de integración con sus consideraciones, puede ser entonces planificada y especificada en forma de un plan

maestro. Este plan proporcionará al programa de integración la coordinación y acciones de integración necesarias; así la puesta en marcha de este tipo de integración puede ser dividida en una serie de proyectos coordinados todos y cada una de los cuales están dentro de las capacidades financieras, físicas y económicas de la empresa.

Después de la etapa de especificación, el seguimiento del ciclo de vida continuará a través de su fase detallada de diseño, fase de construcción, fase de operaciones y finalmente a su obsolescencia [9].

1.4 ESTÁNDARES PARA INTEGRACIÓN EMPRESARIAL

En las secciones anteriores, se detallaron tres de las arquitecturas de integración empresarial más importantes para el modelado de las actividades de producción en empresas de manufactura; las recomendaciones y modelos establecidos en estas, así como la necesidad de intercambiar información confiable y de alta calidad entre el nivel de gestión y el nivel de proceso, han dado lugar al desarrollo de una amplia gama de estándares que proporcionan un conjunto de herramientas y lenguajes comunes a través de los cuales el intercambio de información y la interoperabilidad pueden alcanzarse.

A continuación, en las siguientes secciones se detallan solamente los estándares ISA 95 e ISA 88 los cuales hacen parte del desarrollo del presente proyecto. La información relacionada con otros estándares para integración empresarial, está consignada en el anexo A.

1.1.1 Estándar ISA 95

Es un estándar internacional desarrollado por ISA (*International Society of Automation*) que provee los modelos y terminologías para la definición de interfaces entre el sistema de negocios y el sistema de control de manufactura, buscando una fácil integración de las operaciones durante todo el ciclo de producción sin tener en cuenta el grado de automatización actual del proceso. Describe las funciones relevantes del nivel de negocios y del nivel MES, y la información clave que se requiere compartir en esos dominios. Define el alcance de las operaciones en los dos niveles, la jerarquía de los equipos de la empresa, las funciones específicas asociadas con la interface entre los dos niveles y finalmente las señales intercambiadas entre ellos [10].

La solución de integración con base en el estándar ISA 95 se muestra en la Figura 11, donde se presenta un escenario en el cual existe sólo una interfaz estándar y además genérica, que es independiente de las arquitecturas de integración del proveedor de los sistemas MES Y ERP, lo cual facilita el alcance de todos los objetivos de integración [11].

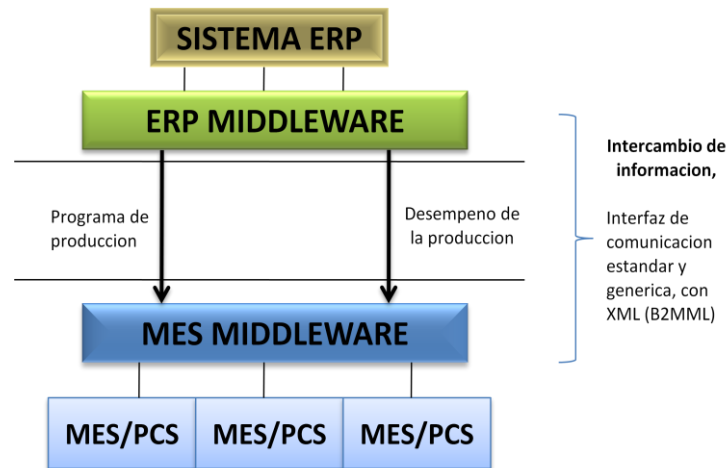


Figura 11. Integración basada en ISA 95. Fuente [11].

Para dar solución a los problemas de integración, el estándar ISA 95:

- Separa claramente los procesos del nivel de negocio, del nivel de manufactura, para que así las modificaciones en un nivel no produzcan cambios en el otro y causen gastos innecesarios.
- Suministra una descripción clara de los tipos de información y el contenido que debe intercambiarse, brindando una interfaz empresa-control.
- Realiza una asignación clara de funciones y competencias, donde se define quién debe tomar ciertas decisiones y a qué componentes les corresponde realizar determinadas actividades, estableciendo los niveles de decisión y competencia dentro de los niveles.
- Especifica claramente las funciones que se involucran en las operaciones de manufactura y en el intercambio de datos, detallando cada uno de los componentes que desarrollan tareas comunes.
- El estándar ISA 95 realiza la definición de las funciones a nivel de manufactura y las describe a través de componentes funcionales que representan las actividades que deben ser realizadas dentro de la administración de las operaciones de manufactura.

- Además establece la forma cómo los componentes deben interactuar para lograr la eficiencia y seguridad en las actividades de administración de operaciones de producción, facilitando la integración de información entre los niveles de negocio y de manufactura de manera dinámica y eficaz.

1.4.1.1 Estructura del estándar ISA 95

Este estándar se encuentra dividido en 6 partes, las cuales se describen a continuación:

Parte 1. Modelos y terminología: Define modelos y terminologías estándar en cuanto a la definición de las interfaces entre los sistemas comerciales de una empresa y sus sistemas de control de la producción.

Parte 2. Modelos de objeto y atributos: Estructuras y atributos de los objetos. En conjunto con la Parte 1 define el contenido de la interfaz entre las funciones de control en la producción y otras funciones de la empresa.

Parte 3. Modelos de actividad de administración de operaciones de manufactura: Describe más ampliamente las operaciones de administración de manufactura. Se ocupa de los procesos de producción y del procesamiento de las informaciones entre planificación y producción, para describir las tareas y las funciones de los sistemas MES. Define la terminología de administración de manufactura que permite una integración sistémica entre el nivel de empresa y el de control de la producción.

Parte 4. Modelo de objetos y atributos de la administración de operaciones de manufactura: Provee los modelos de objetos y los atributos de las actividades de administración de operaciones de manufactura, los cuales describen más ampliamente las definiciones realizadas en la parte 3. Su objetivo es proporcionar la base para el diseño y la implementación de interfaces estándar dentro de la administración de operaciones de manufactura, dando soporte para lograr la interoperabilidad entre las funciones del nivel 3.

Parte 5. Transacciones entre sistemas de negocios y de manufactura: Especifica la manera, cómo debe realizarse el intercambio de la información definida en las partes 1 y 2 del estándar, teniendo en cuenta la forma en que ésta debe ser almacenada, recibida y transferida; estableciendo para ello la estructura del mensaje, mas no el contenido.

Parte 6. Transacciones en la administración de operaciones de manufactura: Establece la manera como deben ser realizadas las transacciones dentro de la administración de operaciones de manufactura.

1.4.2 Estándar ISA 88

El comité SP88 de ISA trabajó en el desarrollo de un estándar que permitiera normalizar los procesos en los sistemas de manufactura tipo batch, proporcionando un conjunto de herramientas necesarias para el análisis de los procesos existentes permitiendo agregar rápidamente nuevos productos a los sistemas de procesamiento. ISA 88 define la administración jerárquica de récipes y las estructuras de segmentación del proceso, que separan la información del producto con respecto al equipo de producción, de tal manera que la misma máquina se puede utilizar de diferentes formas para ejecutar diferentes récipes [12].

El estándar permite la reutilización y flexibilidad tanto de equipos como de software y provee una estructura para la coordinación e integración de la información relacionada con los récipes, a través de los sistemas ERP, MES y los dominios de control.

1.4.2.1 Estructura del estándar ISA 88

El estándar está compuesto de 4 partes, las cuales se describen a continuación:

Parte 1. Modelos y terminología: En esta parte del estándar se definen un conjunto de modelos y terminología estándar para la definición de los requerimientos de control en procesos de manufactura tipo batch [13].

Los modelos y terminología definidos en esta parte del estándar tienen como objetivo:

- Suministrar una terminología estándar y un conjunto de conceptos y modelos a las plantas de fabricación batch.
- Mejorar el control y la eficiencia en los procesos de manufactura tipo batch.
- Proveer un modelo común y consistente para el diseño y la operación de plantas de fabricación por batch y sistemas de control de producción por batch.

Parte 2. Estructura de datos y pautas de lenguaje: Define modelos de datos que describen el control Batch aplicado en los procesos industriales, además de las

estructuras de datos para facilitar las comunicaciones entre las aplicaciones de control Batch, y las pautas del lenguaje para representar los récipes.

El modelo de datos se encarga de definir la estructura de la información que especifica un conjunto de objetos, atributos, y sus relaciones básicas que cubren los conceptos de la parte 1 del estándar ISA 88 a un alto nivel de abstracción. Los modelos se aplican a las interfaces de los sistemas de control Batch de una manera tecnológicamente independiente y no tienen como objetivo tratar la arquitectura interna de los sistemas de control Batch [13].

Parte 3. Récipe general y de sitio, modelos y representación: Esta parte del estándar proporciona a las empresas una definición detallada de los contenidos de un récipe general. La parte 1 de este estándar da escasa información sobre este tipo de récipe, ya que esta está enfocada en control batch. Sin embargo, los usuarios finales necesitan un estándar que les permita la gestión corporativa de la información del producto [14].

Parte 4. Registros de producción por batch: Esta parte del estándar define un modelo de referencia para los registros de producción por batch que contienen información detallada con respecto a la producción de batch o elementos de dicha producción.

El uso de registros estándar de producción por batch se hace con el fin de establecer un modelo de referencia que permita el desarrollo de aplicaciones para el almacenamiento y/o intercambio de registros de producción. En este sentido las implementaciones basadas en esta parte del estándar permitirán la recuperación, análisis y presentación de informes de determinados datos del registro de producción [15].

Parte 5. Conceptos modulares para sistemas automatizados: Esta parte se centra en aclarar y ampliar las definiciones de los módulos de control de proceso. Define los requerimientos de la interfaz para la ejecución del control de tareas de fabricación en una estructura modular basada en los conceptos definidos en la parte 1. La intención principal de esta parte del estándar es proporcionar una estructura jerárquica clara para definir e implementar los requerimientos de control que normalmente se producen a nivel de los módulos de control de proceso [16].

1.5 TECNOLOGÍAS DE INTEGRACIÓN EN EMPRESAS DE MANUFACTURA

Uno de los principios fundamentales de la integración empresarial se basa en el flujo rápido y oportuno en el intercambio de datos entre los diferentes niveles empresariales, tanto entre el piso de planta y el nivel de gestión así como entre aplicaciones del mismo nivel. Dicho intercambio de datos tiene lugar entre componentes de diversas plataformas de IT (Information Technologies), como son controladores, estaciones de trabajo, sistemas ERP, etc. los cuales se comunican de acuerdo a una serie de requerimientos de funcionalidad y desempeño que son determinados según el nivel empresarial y la aplicación que deben soportar.

Actualmente el principal medio para el intercambio de datos entre los diferentes niveles empresariales se basa en una plataforma de comunicación especializada que toma una estructura jerárquica, con redes individuales reflejando en gran medida las necesidades de las aplicaciones en los diferentes niveles, en términos de funcionalidad y desempeño. Es así como las redes de comunicación y las tecnologías de IT, soportadas en estándares internacionales, han tomado parte fundamental en la implementación y desarrollo de arquitecturas integradas debido a que son estas las que permiten realizar el intercambio de datos, de una manera óptima y confiable, entre los componentes que conforman el sistema empresarial.

1.5.1 Protocolo XML en integración empresarial

Actualmente el uso de XML (*Extensible Markup Language*) se ha hecho característico en el desarrollo de proyectos de integración. Como tecnología emergente, XML ofrece un gran número de herramientas para su uso y desarrollo, además de la funcionalidad de un lenguaje común que puede trabajar con sistemas diferentes. Sin embargo mientras que XML proporciona interoperabilidad a nivel de protocolo, sigue existiendo un problema de integración a nivel de aplicación con respecto a la estructura XML que se debe intercambiar, es decir los elementos, atributos y organización de los datos.

Con XML como protocolo común en proyectos de integración, el problema de estandarización de la terminología XML para el proyecto se hace crítico, es así como surge B2MML (*Business to Manufacturing Markup Language*) dando solución a dicho problema, basado en el estándar ISA S95, B2MML permite a los integradores definir el

mapeo de los datos de una manera estandarizada de acuerdo a una serie de modelos y terminología común que pueden ser llevados a la representación B2MML XML [17].

1.5.1.1 B2MML (Business to Manufacturing Markup Language)

El B2MML desarrollado por el WBF (World Batch Forum) es un conjunto de esquemas XML que están basados en el estándar ISA 95; dichos esquemas cumplen con el formato del esquema XML del W3C (World Wide Web Consortium) y define una terminología de acuerdo a las especificaciones establecidas en el estándar ISA 95, de esta manera los documentos XML basados en B2MML pueden ser usados en el intercambio de archivos entre los sistemas de manufactura y los sistemas de negocio [17]. En la Figura 12 se muestran los dos escenarios de integración (integración tradicional, integración con XML).

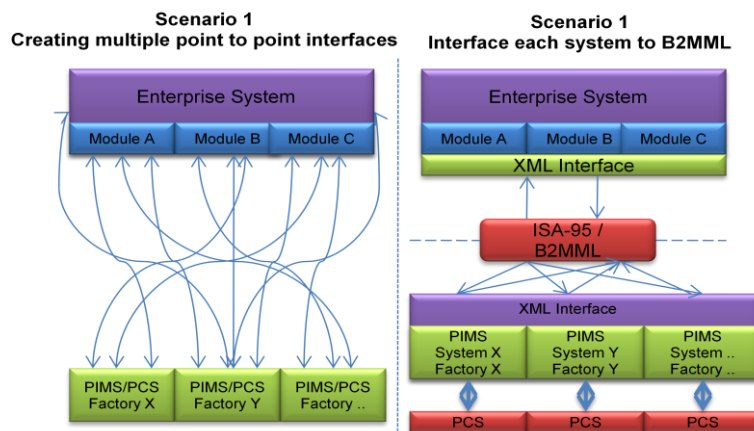


Figura 12. Izq. Integración Tradicional, Der. Integración con XML. Fuente [17].

1.5.1.1.1 Arquitectura de B2MML

Cada uno de los esquemas XML mapea a los modelos de datos definidos en el estándar ISA 95, como se muestra en la Figura 13, donde existe un esquema para cada modelo con excepción del modelo de equipo el cual tiene dos esquemas, uno para los objetos de equipo y otro para los objetos de mantenimiento, con el fin de proporcionar flexibilidad en el uso de dichos objetos separadamente.

La estructura interna de los esquemas relacionados con el modelo sigue la estructura de los modelos de objeto del estándar ISA 95. El elemento principal de un esquema es nombrado después de cada elemento principal del modelo de datos, y cada objeto en un modelo de objetos es representado generalmente en un elemento XML. En B2MML solamente unos pocos elementos son declarados globalmente, lo que significa que

pueden ser usados en otros esquemas o documentos XML. Generalmente los objetos del estándar ISA 95 que representan datos a ser intercambiados entre sistemas son implementados como elementos globales con la adición de algunos elementos para los modelos de material, personal y de equipo. Los demás objetos, los cuales son generalmente parte de los objetos intercambiados, son definidos como elementos locales.

Una de las mayores ventajas de B2MML se debe a que los objetos en los esquemas son opcionales, lo que permite a los documentos XML basados en ellos contener solamente los elementos necesarios para la solución que se está implementando [17].

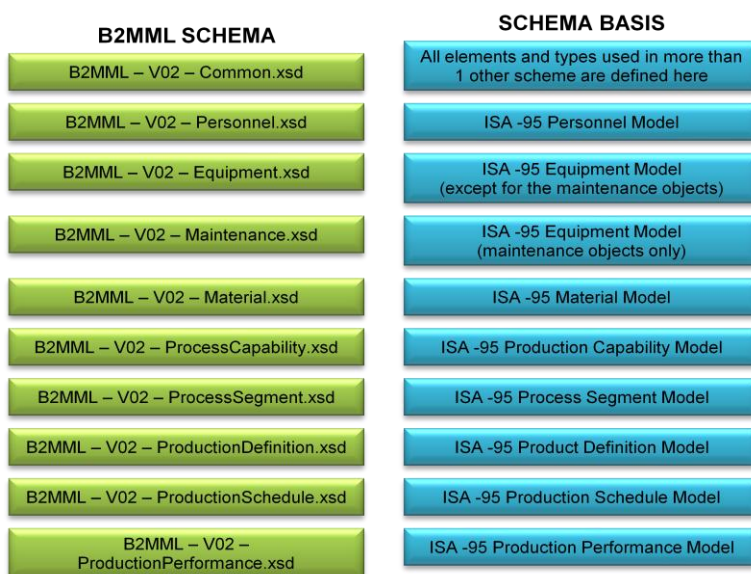


Figura 13. Equivalencia de esquemas B2MML a modelos ISA S95. Fuente [17].

1.5.2 Servicios Web

Un servicio Web puede ser definido de acuerdo a dos perspectivas. Desde el punto de vista empresarial brinda a las organizaciones una arquitectura común orientada al servicio, que permite a sus aplicaciones el intercambio de información a través de la red en forma de servicios. Desde el punto de vista de aplicación los servicios web crean una interfaz independiente de la plataforma y del lenguaje de programación que permite la interoperabilidad entre diferentes aplicaciones [17].

En comparación con las interfaces tradicionales y las tecnologías basadas en componentes, las características de diferenciación de los servicios web son los mecanismos de descripción basados en estándares que permiten la neutralidad tanto en

plataforma como en lenguaje de programación, logrando la integración de aplicaciones desarrolladas bajo plataformas diferentes, lo que ha permitido que en la actualidad sean ampliamente utilizados dentro de sistemas de automatización integrada [17].

La arquitectura de los servicios web consiste en un conjunto de bloques funcionales, cada uno de los cuales representan diferentes funciones. Los componentes clave son, *service provider*, *service requester* y *service bróker*. Como se muestra en la Figura 14.

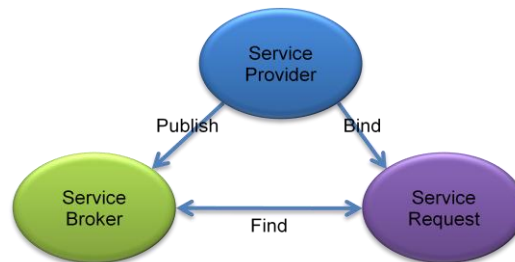


Figura 14. Componentes básicos de los servicios Web. Fuente [17].

El *service provider* desarrolla y publica servicios mediante el registro de ellos con el servidor *broker*. Esto proporciona un ambiente para el funcionamiento de los servicios web de modo que los consumidores puedan usarlos. El *service broker* cuenta con un repositorio para registrar y administrar la descripción del servicio y su información operacional. Esto también proporciona un mecanismo para organizar y estructurar eficientemente los servicios. El *service requester* busca los servicios necesarios utilizando el *service bróker*, los enlaza al *service provider* y luego los utiliza [17].

1.5.2.1 Servicios Web y sistemas de automatización integrada

Para los sistemas empresariales es fundamental tener una importante integración de la información, la cual es cuidadosamente seleccionada para propósitos específicos. Las múltiples estructuras de sistemas de información industrial, caracteriza la actual tendencia en el modelado de la información y la automatización industrial. Dichos sistemas cubren diferentes niveles empresariales. La información requerida por cada nivel (Integración vertical) o fase del ciclo de vida empresarial (Integración horizontal) es diferente, por lo tanto debe estructurarse de acuerdo a las propiedades específicas de los niveles y las fases, proporcionando coherencia a la solución integrada. En este contexto una representación estructural múltiple es inevitable. Aun para los mismos niveles o fases, múltiples estructuras y múltiples vistas de información son algunas veces deseadas, para suministrar entendimiento dentro del sistema desde diferentes puntos de vista.

Los servicios web son normalmente implementados basándose en la arquitectura cliente/servidor. En los sistemas de automatización integrada, algunos servicios web especiales, tales como los servicios de navegación, servicios de petición, servicios de eventos, entre otros, son necesarios desde el lado del proveedor de servicios. Para cada servicio web existe un servicio proxy de parte del que solicita el servicio. A continuación en la Figura 15 se detalla la arquitectura completa de este sistema, la cual contiene los componentes típicos en un sistema de automatización tradicional, clientes HMI (Human Machine Interface), canales de comunicación sobre redes de control y OPC (OLE for process control), y dispositivos de campo. Usualmente en una arquitectura cliente servidor la conexión entre el cliente HMI y el servidor del sistema se establece a través de ciertas interfaces de programación. Para un sistema integrado soportado en servicios web las comunicaciones entre cliente y servidor pueden hacerse a través de dichos servicios [17].

De acuerdo a la Figura 15 existe una interfaz principal del lado del proveedor del servicio la cual controla la comunicación y administra la solicitud para simplificar la implementación. Y el cache¹ tanto del lado del servidor como del cliente mejora el desempeño de los servicios web. El adaptador del lado del solicitante del servicio resuelve el problema de compatibilidad del cliente. El propósito de esta arquitectura es migrar un sistema de automatización integrada a la plataforma de servicios web con el objetivo de mejorar la interoperabilidad de los sistemas.

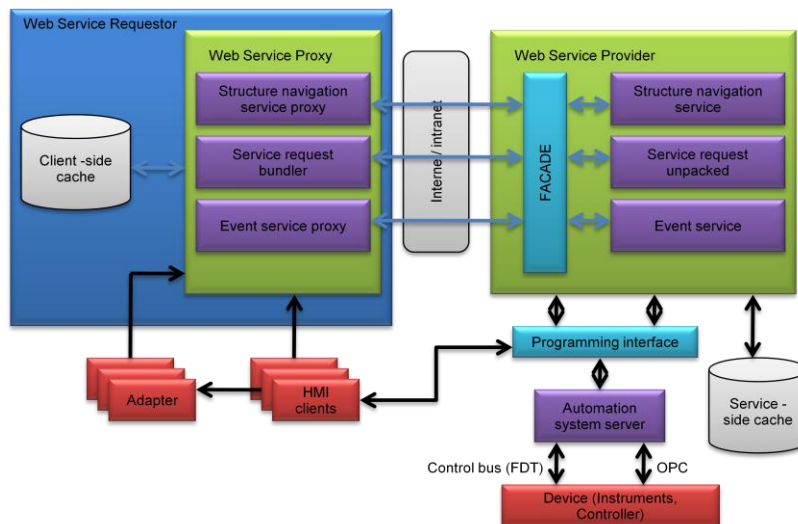


Figura 15. Arquitectura de un sistema de automatización con servicios web. Fuente [17].

¹ Conjunto de datos duplicados de otros originales, con la propiedad de que los datos originales son costosos de acceder, normalmente en tiempo, respecto a la copia en el caché. Cuando se accede por primera vez a un dato, se hace una copia en el caché; los accesos siguientes se realizan a dicha copia, haciendo que el tiempo de acceso al dato sea menor.

1.5.3 Redes de comunicación

La adecuada integración de un sistema empresarial implica la utilización de tecnologías apropiadas que permitan realizar el envío y administración de la información que se genera desde y hacia los diferentes niveles empresariales; en este sentido se hace necesario contar con una infraestructura de comunicaciones, con diferentes niveles de funcionalidad, que pueda adaptarse a las características específicas de cada nivel o área dentro de la empresa, permitiendo que los activos de la empresa se comuniquen a través de una misma plataforma de comunicaciones, dicha plataforma es soportada gracias a las redes de comunicación las cuales se pueden clasificar de acuerdo a su nivel de funcionalidad, como se muestra en la Figura 16.

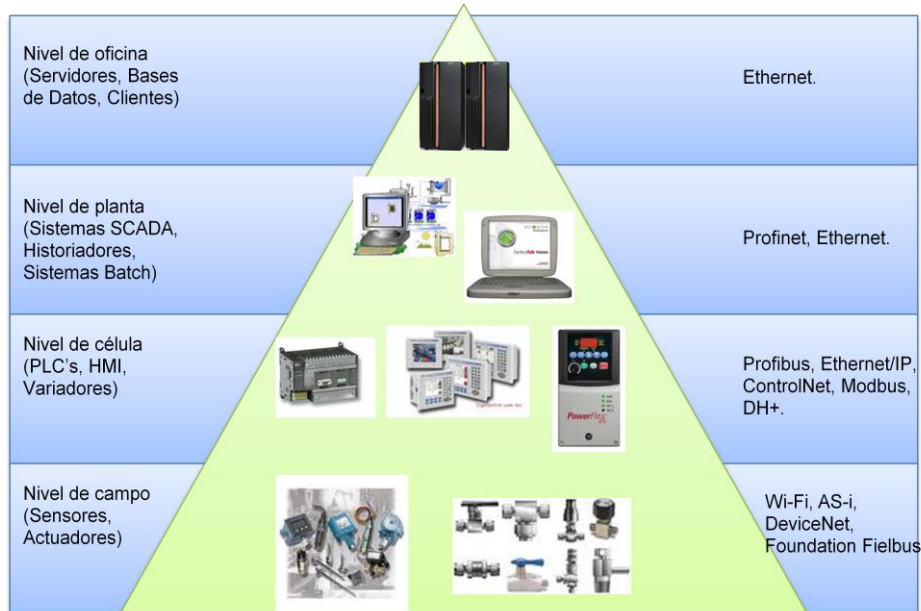


Figura 16. Niveles de Comunicación. Fuente Propia.

Las redes de comunicación se clasifican de acuerdo a su nivel de funcionalidad, que básicamente depende del volumen de información y la velocidad de respuesta requeridos por cada nivel empresarial. Siendo el nivel de oficina el que mayor volumen de información necesita transmitir y al mismo tiempo el que menor velocidad de respuesta requiere (días, semanas); mientras que en el nivel de campo la cantidad de datos es mucho menor y los tiempos de respuesta deben estar, en la mayoría de los casos, en el orden de los μs o ms .

Sin duda la utilización de las redes inalámbricas en ambientes industriales básicamente en el nivel de campo, supone grandes ventajas en lo que respecta a cableado, escalabilidad y facilidad de instalación, permitiendo mejorar la confiabilidad de los datos sobre todo cuando se trata de transmisión a grandes distancias y ambientes hostiles en donde las redes cableadas presentan grandes dificultades. Con el mejoramiento en aspectos clave como la velocidad y la seguridad en la transmisión de datos, además del ahorro energético, el uso de las redes inalámbricas y el surgimiento de equipos denominados *Smart Wireless* ha crecido notablemente, siendo su principal función la de transmitir datos tanto de variables de proceso como mensajes de diagnóstico, en donde el volumen de información es relativamente bajo.

Actualmente la tendencia en lo que a comunicaciones se refiere, está relacionada con la utilización de *Ethernet Industrial* a lo largo de todo el sistema empresarial. La utilización de esta tecnología en el nivel de planta ha permitido mayores prestaciones, más velocidad en la transferencia de datos y una mayor calidad en los procesos de producción, lo cual se ve reflejado en la transparencia total de los datos entre los niveles de gestión y producción, una estructura estandarizada en toda el área de implementación, accesibilidad remota a todos los datos de la red, entre otras muchas ventajas inherentes al uso de este tipo de redes. En este sentido se logra establecer una plataforma tecnológica estándar en la cual diferentes tipos de dispositivos interactúan, tales como computadores, PLC's, HMI's, sensores y actuadores, soportada bajo los diferentes protocolos basados en *Ethernet Industrial* (ProfiNet, Etherne/IP, Foundation Fielbus HSE). Es así como se logra una mayor interoperabilidad la cual permite obtener un sistema integrado con acceso en tiempo real a la información que viaja por la red y por ende una visión global del estado actual de todos los recursos de la empresa.

2 SISTEMAS MES Y ERP

En este capítulo se abordan los conceptos relacionados con los sistemas de ejecución de manufactura MES y los sistemas de planeación de los recursos empresariales ERP, los primeros dedicados a la administración de todas las actividades relacionadas con la producción y los segundos enfocados a la gestión de información de todas las áreas funcionales de un sistema empresarial (producción, inventario, finanzas, ventas, etc.). Se ha dedicado una sección exclusivamente para la descripción de estos dos sistemas debido a la importancia que actualmente tienen, en cuanto a integración empresarial se refiere, debido a que todos los esfuerzos que actualmente se están realizando en este campo, son con el objetivo principal de integrar estos dos niveles empresariales.

2.1 SISTEMAS MES (MANUFACTURING EXECUTION SYSTEMS)

En primera instancia se puede decir que un sistema de ejecución de manufactura MES es un sistema dinámico de información que conduce de forma efectiva la ejecución de las operaciones de fabricación. A través de información actual y precisa, el MES guía, pone en marcha e informa las actividades en planta a medida que ocurren los acontecimientos. El conjunto de funcionalidades MES gestiona operaciones de producción desde el momento del lanzamiento de la orden de fabricación hasta el punto de la entrega del producto terminado. El MES permite una atenta gestión y comunicación bidireccional de la información crítica sobre todas las actividades productivas, a través de la organización y de la cadena de suministro [18]. Por su parte la organización internacional MESA (Manufacturing Enterprise Solution Association) define MES como: "Guiar, iniciar, responder a, e informar sobre las actividades de planta cuando ocurren" además define un modelo que abarca una variedad de niveles y disciplinas, propios de las empresas de manufactura, que convergen en puntos de vista comunes sobre lo que necesitan y cómo las soluciones empresariales pueden ayudar. Este modelo desarrollado en 2008, abarca desde las iniciativas estratégicas a nivel de empresa para las operaciones empresariales hasta las operaciones de planta y la producción actual. Muestra las relaciones entre las estrategias, las operaciones a nivel de empresa y las operaciones de la planta, como se describe en la Figura 17.

De acuerdo a la funcionalidad para la que inicialmente fueron creados estos sistemas se consideran como un puente natural o interfaz entre los sistemas de gestión (ERP, Supply Chain, etc), centrado en la transacción de negocios, decisiones tácticas, (horizonte

temporal de días, semanas, meses) y los sistemas de control de planta, decisiones operativas (PLC, sensores, actuadores) centrados en el tiempo real (horizonte temporal de minutos, segundos). Sin embargo, actualmente los sistemas MES no son considerados como un sistema de automatización sino como toda una plataforma de gestión que sirve de apoyo a la toma de decisiones para la ejecución de la producción, ya que proporciona a los sistemas ERP una visión detallada del proceso productivo.

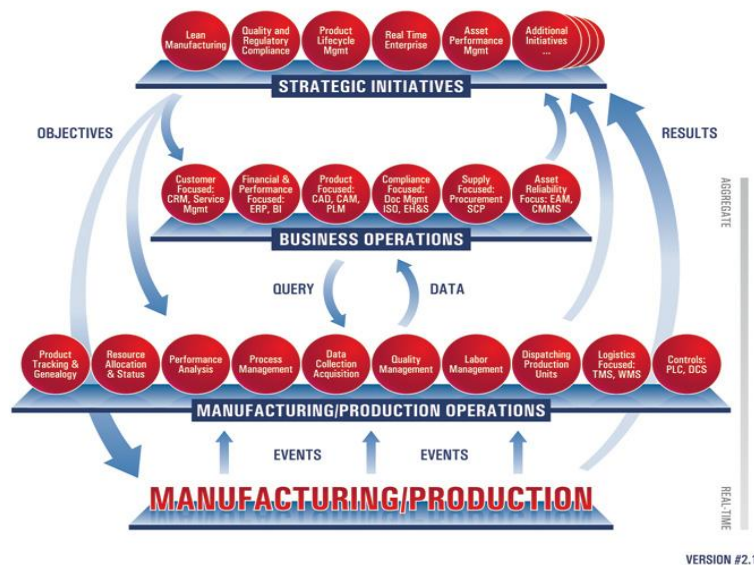


Figura 17. Modelo MESA. Fuente [18].

2.1.1 ISA 95 parte 3: Modelo de Actividades de Administración de Operaciones de Manufactura.

La parte 3 del estándar ISA 95 define claramente una serie de modelos y terminología que describen las tareas o funciones correspondientes a los sistemas MES. Los modelos y terminología definidos en esta parte del estándar enfatizan en buenas prácticas de operaciones de manufactura, los cuales pueden ser usados para mejorar la existencia de los sistemas de operaciones de manufactura y pueden ser aplicados sin tener en cuenta el grado de automatización de la empresa [10].

Las actividades descritas en la Figura 18 hacen referencia al conjunto de actividades de nivel MES, en una empresa de manufactura, que coordinan el personal, los equipos, materiales y energía involucrados en la transformación de materias primas en productos

terminados. Dichas actividades pueden ser desempeñadas por equipos físicos, esfuerzo humano o sistemas de información.

Es así como el estándar agrupa las actividades de manufactura en 4 categorías principales y establece un modelo para cada una de ellas [19]:

- *Administración de Operaciones de Producción.* Incluye las actividades del nivel MES relacionadas con el control y programación de la producción.
- *Administración de Operaciones de Mantenimiento.* Incluye todas las actividades involucradas en las operaciones de mantenimiento.
- *Administración de Operaciones de Calidad.* Involucra las actividades relacionadas con el aseguramiento de la calidad.
- *Administración de Operaciones de Inventario.* Incluye las actividades de control de inventario de producto, materiales y energía.

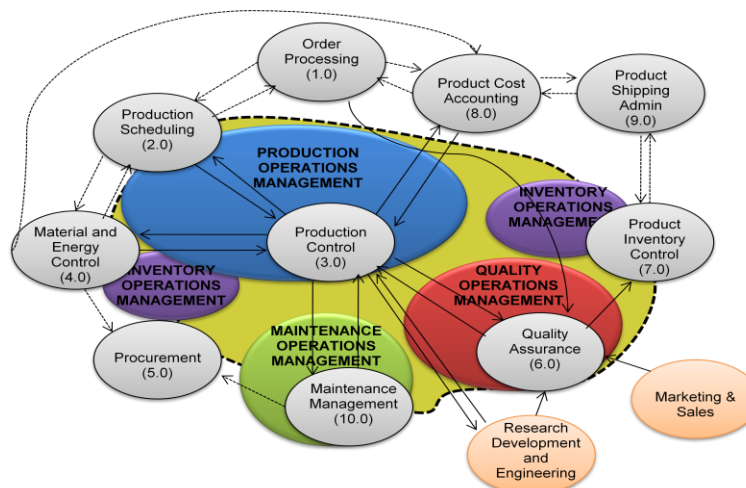


Figura 18. Modelo de Administración de Operaciones de Manufactura. Fuente [19].

2.1.2 Administración de operaciones de producción.

La administración de operaciones de producción se define como el conjunto de actividades que coordina, dirige, administra y hace seguimiento de las funciones involucradas en el uso de materias primas, energía, equipos y personal para obtener productos con los costos, cantidades, calidad y tiempo esperados [19].

Como se mencionó en la anterior sección, el estándar ISA 95, define un modelo de actividades para la administración de operaciones de manufactura, en el cual se representan las actividades de producción y se definen cuatro flujos de información

correspondientes al intercambio de información entre el nivel de negocio (ERP) y el nivel de manufactura (MES).

El modelo descrito en la Figura 19 proporciona una ayuda para identificar las actividades que pueden ser desempeñadas además de los roles asociados a dichas actividades, mas no insinúa una estructura organizacional.

No todas las solicitudes y respuestas de producción cruzan la frontera hacia los sistemas de negocio. Si bien las operaciones de producción pueden ser manejadas mediante programas de producción, puede haber solicitudes y respuestas de producción usadas internamente dentro de la administración de operaciones de manufactura para manejar situaciones específicas.

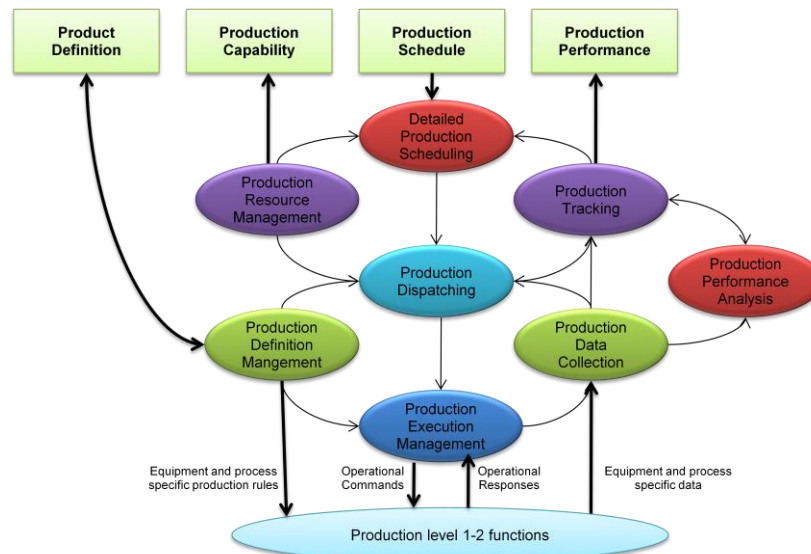


Figura 19. Modelo de Actividad de Administración de Operaciones de Producción. Fuente [19].

2.1.3 Implementación de Soluciones MES

La importancia que han tomado los sistemas MES en los últimos años se debe a la necesidad que tienen las industrias de gestionar la información de sus procesos productivos con el fin de volverse más competitivas en un mercado altamente variable. Esta necesidad les ha permitido entender que la consolidación de la información del piso de planta y el acceso a ella en tiempo real, son factores clave que permiten el aumento de la productividad, mediante la optimización de los procesos, que solo es exitosa si se conoce claramente lo que está sucediendo en los procesos de producción del sistema empresarial.

2.1.3.1 Características de una solución MES

El éxito de la implementación de un sistema MES está condicionado por el cumplimiento de una serie de características que le permitan brindar las funcionalidades necesarias para ser considerado como una verdadera plataforma de administración de datos de producción. A continuación se hace una descripción de dichas características:

- a. *Solución consecuente con las necesidades empresariales.* En la mayoría de proyectos de implementación de sistemas MES el fracaso no radica en la complejidad de los procesos sino en la carencia de estrategias adecuadas que permitan traducir las necesidades del sistema de manufactura en una solución tecnológica capaz de soportar dichas necesidades. La adopción del estándar ISA 95 como el estándar de los sistemas MES brinda las herramientas necesarias, definiendo ¿Qué? se debe hacer en este tipo de proyectos. ISA 95 le ha permitido a los implementadores apropiarse de una serie de conceptos y recomendaciones con el fin de poder determinar el estado actual, identificar necesidades y definir iniciativas que impacten positivamente las operaciones en todo el sistema empresarial.
- b. *Fácil integración con sistemas transaccionales.* Actualmente los sistemas MES deben su importancia gracias a la necesidad de integración de los sistemas de negocio (ERP, PLM, etc.) con el piso de planta, de ahí que una de las principales características de estas implementaciones deba ser su capacidad para integrarse fácilmente a estos, permitiendo que todo los niveles empresariales se sincronicen para trabajar como una sola unidad, de tal manera que el sistema pueda detectar cualquier evento, tomar las acciones correspondientes y permitir que los cambios se propaguen en todo el sistema.
- c. *Plataforma común de comunicación.* Hay que tener en cuenta que los beneficios de estos sistemas solo se evidencian en la medida que se alimenten de la información adecuada que les proporcione un estado real de los procesos de manufactura, por esta razón el sistema debe ser capaz de comunicarse con los diversos dispositivos que hacen parte del piso de planta, independiente del proveedor y el tipo de comunicación que estos soporten.
- d. *Adquisición de datos en tiempo real.* En una solución MES, se entiende tiempo real como la posibilidad de recoger toda la información disponible, siempre que sea posible a través de una captura automática de los datos provenientes de

los dispositivos de campo, con el fin de tomar las decisiones correctas que permitan mejorar y optimizar la gestión de la fábrica. Además de la determinación de una latencia que permita al usuario reaccionar de forma inmediata a posibles problemas.

2.1.4 Soluciones Tecnológicas MES

Existen múltiples soluciones MES desarrolladas por diferentes fabricantes, a continuación en la Tabla 1 se mencionan algunas de estas, haciendo una breve descripción de la plataforma FactoryTalk de Rockwell Software, la cual está dentro del alcance de este documento.

Tabla 1. Soluciones MES. Fuente Propia.

Solución	Tipo	Proveedor
FactoryTalk	Propietario	Rockwell Software
Proficy Plant Applications	Propietario	General Electric
Archestra	Propietario	Wonderware
PlantWeb	Propietario	Emerson Process
Simatic IT	Propietario	Siemens
XFP MES	Propietario	ELAN Software Systems
FlexNet Production	Propietario	APRISO
Solumina	Propietario	iBASEt
PerfectPart	Propietario	Esys
EZ-MES	Propietario	EasyWorks
Tuppas MES	Open Source	Tuppas
Factority	Open Source	-

2.1.4.1 Plataforma FactoryTalk

FactoryTalk de Rockwell Software es un conjunto de aplicaciones software, altamente escalables que proporcionan una arquitectura integrada permitiendo realizar el intercambio de información en tiempo real, entre el proceso productivo y demás niveles empresariales. La plataforma está dividida en 6 categorías o disciplinas de producción, las cuales agrupan una serie de aplicaciones interoperables, que resuelven las necesidades de información a través del sistema empresarial, como se muestra en la Figura 20. La especificación funcional de esta plataforma se encuentra contenido en el anexo B.



Figura 20. Arquitectura Integrada. Fuente [20].

2.2 SISTEMAS ERP (ENTERPRISE RESOURCE PLANNING)

Los sistemas ERP son un conjunto de aplicaciones software que automatizan e integran los procesos empresariales permitiendo balancear funciones operacionales dispersas, como lo son finanzas, manufactura y producción. De esta manera, el ERP es visto como un sistema para la planeación, control y operación total de una empresa. Su propósito fundamental es otorgar apoyo a los clientes del negocio, tiempos rápidos de respuesta a sus problemas, así como un eficiente manejo de información que permita la toma oportuna de decisiones y disminución de los costos totales de operación [21]. Estos sistemas se caracterizan por ser altamente integrales, modulares y adaptables agregando un conjunto de funcionalidades dentro de las que se pueden destacar:

- Optimización de los procesos empresariales.
- Acceso a información confiable, precisa y oportuna.
- La posibilidad de compartir información entre todos los componentes de la organización.
- Reducción de tiempos y costos de los procesos.

2.2.1 Características principales de un ERP

- a. *Integral:* Un ERP permite controlar los diferentes procesos de una empresa, entendiendo que todas las áreas funcionales de esta, se relacionan entre sí, es decir, que el resultado de un proceso es punto de inicio del siguiente. Por ejemplo, en una compañía, el que un cliente haga un pedido representa que se crea una orden de venta que desencadena el proceso de producción, de control de inventarios, de planificación, de distribución del producto, cobros, y por supuesto

sus respectivos movimientos contables. Si la empresa no usa un ERP, necesitará tener varios programas que controlen todos los procesos mencionados, con la desventaja que al no estar integrados, la información se duplica, crece el margen de contaminación en la información (sobre todo por errores de captura) y se crea un escenario favorable para malversaciones. Con un ERP, el operador simplemente captura el pedido y el sistema se encarga de todo lo demás, por lo que la información no se manipula y se encuentra protegida.

- b. Modular:* Los ERP fueron diseñados entendiendo que una empresa es un conjunto de departamentos, que se encuentran interrelacionados por la información que comparten y que se genera a partir de sus procesos. Una ventaja de los ERP, tanto económica como técnica es que la funcionalidad se encuentra dividida en módulos, los cuales pueden instalarse de acuerdo con los requerimientos del cliente. Ejemplo: ventas, materiales, finanzas, producción, recursos humanos, etc.
- c. Adaptable:* Los ERP fueron creados para adaptarse a la idiosincrasia de cada empresa. Esto se logra gracias a que son soluciones altamente configurables y parametrizables permitiendo adecuar los procesos de acuerdo con las salidas que se necesiten de cada uno. En la actualidad los ERP más avanzados suelen incorporar herramientas de programación de 4ª generación para el desarrollo rápido de nuevos procesos. La parametrización es el valor añadido fundamental con que debe contar cualquier ERP para adaptarlo a las necesidades concretas de cada empresa.

2.2.2 Implantación de sistemas ERP

El objetivo de la implantación de un sistema de gestión ERP (Enterprise Resource Planning) no debe ser sólo poner un software en funcionamiento, sino optimizar e integrar los procesos de negocios usando las tecnologías de la información. La implantación de estos sistemas debe estar necesariamente acompañada de una metodología, en la que se consideren los objetivos que se persiguen con la ejecución del proyecto y las condiciones o condicionantes de contexto que, en última instancia, son las que determinan los resultados de las decisiones que adopta la empresa durante el proceso. En consecuencia, la metodología de implementación debe ser definida de un modo muy específico, en relación con la organización para la que se diseña.

2.2.2.1 Metodologías de Implantación

Como se mencionó anteriormente la implantación de un ERP debe hacerse por medio de una metodología que permita establecer una solución exitosa. En la actualidad no existe una solución estandarizada que permita abordar de manera adecuada la implantación de dichos sistemas. Por su parte SAP AG (Systems Applications and Products) el proveedor de soluciones empresariales más grande del mundo desarrolló una metodología de implementación, denominada ASAP (Accelerated SAP), para la ejecución de proyectos de implementación de sus soluciones empresariales, cuyo objetivo es maximizar los tiempos, calidad y eficiencia de los procesos de implantación. Aunque ASAP fue desarrollada específicamente para las soluciones SAP, puede ser considerada como marco de referencia para la implantación de sistemas ERP de otros proveedores, esto es posible debido a que los objetivos de este tipo de proyectos son independientes del fabricante, quedando solamente consideraciones de tipo tecnológico.

La metodología ASAP consta de las siguientes fases de implementación [21]:

- *Preparación del Proyecto*: En esta fase se prepara un plan de trabajo de alto nivel asegurándose de que exista una visión común para alcanzar los objetivos del proyecto, se debe definir claramente el alcance del proyecto, y los factores críticos para alcanzar el éxito, además se deben estructurar los equipos de trabajo, roles y responsabilidades y visualizar los distintos entregables de las fases del proyecto.
- *Plano Empresarial (BluePrint)*: Entender los objetivos del negocio y documentar los procesos requeridos para soportar estas metas es la principal razón de ser de esta fase. La documentación y análisis de información se convierte en la parte más delicada del proyecto, ya que se debe documentar la estructura organizativa existente, las relaciones de poder y distribución de información en la empresa. Además se deberá determinar la situación actual de la empresa (As is), de tal forma que se tengan claramente las necesidades de la misma, ya que el diseño futuro del modelo de procesos, debe estar basado en la comprensión de la operativa actual. Esto lleva al siguiente aspecto que es importante en esta etapa, el determinar la situación futura (To be); con esto se comienza la elaboración de los modelos de negocio y técnicos y se hace a partir de los requerimientos identificados, sin tener en cuenta la posible cobertura de la solución SAP.

- *Realización:* Una vez que se dispone de la documentación del modelo de procesos generado como resultado de la fase anterior, el equipo de trabajo realiza las parametrizaciones del sistema SAP, desarrolla las interfaces y programas ABAP² en caso de que sea necesario. En esta fase del proyecto se realizan las pruebas del sistema tanto horizontales como verticales, que se definen como los casos de prueba de integración que determinan el entorno empresarial de destino y proporcionan una base de confianza acerca de la capacidad del sistema para gestionar la empresa.
- *Preparación Final:* En esta fase se realizan pruebas unitarias para cada uno de los procesos, esto permite obtener la aceptación del usuario o en su defecto la corrección de errores que se susciten. Las pruebas integrales son aquellas que se realizan para verificar la integración entre los módulos, estas pruebas son complejas de realizar ya que es necesario un alto grado de interacción, por último son necesarias las pruebas de stress (stress test), estas son cruciales y de vital importancia ya que indican si el desempeño del sistema está preparado para la operación en productivo.
- *Puesta en marcha y soporte:* Esta fase tiene dos objetivos inmediatos, que serán dar soporte a la operación, y la optimización del sistema que se traduce en la estabilización del mismo. Después de entrar en producción el sistema será revisado y ajustado para asegurar el soporte al ambiente de negocios, en donde pueden presentarse casos de ajustes a la configuración.

2.2.3 Soluciones ERP

Existen múltiples soluciones ERP desarrolladas por diferentes fabricantes, tanto propietarias como *open source*, a continuación en la Tabla 2 se mencionan algunas de estas, detallando solamente la plataforma SAP Business One de SAP AG, la cual está dentro del alcance de este documento.

Tabla 2. Soluciones ERP. Fuente Propia

Solución	Tipo	Proveedor
SAP Business One	Propietario	SAP AG
SA ECC	Propietario	SAP AG
JD Edwards	Propietario	Oracle

² ABAP (Advanced Business Application Programming) es un lenguaje de cuarta generación, propiedad de SAP, utilizado para programar algunos de sus productos.

PeopleSoft	Propietario	Oracle
Microsoft Dynamics	Propietario	Microsoft Corp.
Infor ERP	Propietario	Infor
ERP LX	Propietario	Infor
Aurora	Propietario	LeanSoft Solutions
Open ERP	Open Source	-
Open Bravo	Open Source	-
AbanQ	Open Source	-
GNU Enterprise	Open Source	-
Blue ERP	Open Source	-
Adempiere	Open Source	-
ERP5	Open Source	-

2.2.3.1 SAP Business One

SAP Business One es conocido como la versión de SAP R/3 para las Pymes. Inicialmente la única plataforma ERP de SAP fue la solución R/3, sin embargo con el fin de abarcar todo el mercado empresarial la empresa decidió lanzar soluciones sectoriales, dividiendo su solución R/3 en SAP ECC, para grandes empresas, y SAP Business One. SAP Business One es un sistema basado en la arquitectura cliente/servidor, multiplataforma en bases de datos soportando SQL Server, DB2 Express y Sybase. Fue desarrollado bajo el concepto de “fat client” es decir que todo el procesamiento y la lógica del negocio se lleva a cabo en el cliente, independiente del servidor central.

Con el fin de evitar confusión en la terminología utilizada en este documento, para diferenciar cada una de las soluciones SAP; en adelante cuando se haga referencia a SAP Business One, se utilizará el término SAP R/3. A continuación en la Figura 21 se muestra el esquema general de SAP R/3.



Figura 21. Esquema general de SAP R/3. Fuente [21].

3 PROCEDIMIENTO PARA LA INTEGRACIÓN DE FACTORYTALK Y SAP R/3 EN PROYECTOS DE INTEGRACIÓN EMPRESARIAL

En este capítulo se describe el procedimiento establecido que permitió desarrollar de manera adecuada una solución de integración utilizando las plataformas FactoryTalk y SAP R/3, basado en las recomendaciones de los estándares ISA 95 e ISA 88.

3.1 PANORAMA DE LOS PROCESOS DE INTEGRACIÓN EMPRESARIAL

El desarrollo de proyectos bajo el enfoque de integración empresarial implica una serie de conocimientos y estrategias que les permitan a los integradores tener una visión global de empresa, desde el punto de vista funcional y tecnológico. Las arquitecturas, estándares y tecnologías expuestos anteriormente en el capítulo 1, ofrecen claramente una serie de recomendaciones y marcos de referencia que permiten obtener modelos de integración, particulares al estado actual de los procesos y a las necesidades funcionales de la empresa. Sin embargo la utilización de estos modelos como herramienta para la optimización de los procesos empresariales solo es representativa en la medida que exista una plataforma tecnológica que los soporte; es así como muchos proyectos de integración fracasan, debido a que no existen procedimientos adecuados en donde se especifique cómo dinamizar los modelos obtenidos, mediante soluciones tecnológicas que permitan integrar la información a través de los diferentes niveles empresariales.

En la actualidad existen herramientas como FactoryTalk Batch [20], Proficy IBatch [22], InBatch [23], entre otras, que permiten en gran medida realizar un mapeo de los modelos propuestos en el estándar ISA 88.01 contribuyendo a la implementación de sistemas de ejecución batch. En lo que respecta a las actividades y flujos de información de nivel MES, así como las interfaces con el nivel ERP, descritos en el estándar ISA 95.03, no existen herramientas software que soporten claramente dichos aspectos, obligando a los integradores a realizar una evaluación de las características funcionales de diferentes herramientas, de acuerdo a las interfaces y flujos de información requeridos para la implementación. Sin embargo es destacable la contribución que han hecho diferentes organizaciones, como es el caso de *Stone Technologies* una de las empresas integradoras más importantes a nivel mundial, quien desarrolló la metodología IMAP (Integrated Manufacturing Application Process) basada en el estándar ISA 95.03, con el fin de establecer mejores prácticas en el ciclo de vida de los proyectos de implementación

de sistemas MES, por medio de una serie de lineamientos que permiten identificar las interfaces y flujos de información para cada una de las categorías del modelo de administración de operaciones de manufactura (producción, calidad, mantenimiento, inventario).

3.2 DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO

Dentro de la literatura encontrada no existe aún un procedimiento estándar que permita abordar proyectos de integración utilizando las plataformas FactoryTalk y SAP R/3 de acuerdo a estándares como ISA 88 e ISA 95, por lo tanto se estableció un procedimiento coherente con los requerimientos de este tipo de proyectos, en el que se especifica cómo integrar ambas plataformas, además de las consideraciones y fases que implican trabajar con cada una de ellas según los modelos ISA obtenidos. Este procedimiento puede ser visto como un conjunto de recomendaciones que facilitan a los integradores contextualizarse en el marco de un proyecto con las características anteriormente mencionadas, además de definir una secuencia lógica de actividades, las cuales han sido definidas tomando como referencia diferentes casos de éxito en proyectos de consultoría MES, así como algunas recomendaciones encontradas en publicaciones especializadas en esta área.

El procedimiento está compuesto por una serie de fases, las cuales fueron concebidas gracias a la información recopilada, relacionada con implementación de proyectos MES tales como:

- *Implementación MES – DPA, Especificación requerimientos de usuario* [24].
- *Implementación Plataforma MES, Team S.A* [24].
- *Migración FactoryTalk Suite CPR 9 Sistemas Supervisorio y Sistema Batch, Dow Barranquilla* [24].

Así como también algunas publicaciones, que abordan esta temática de manera detallada, dentro de las que se destacan:

- *The Road to integration. A guide to applying the ISA-95 standard in manufacturing* [25].
- *ISA-95 MES Questionnaire* [26].

Toda esta información permitió dimensionar la complejidad de este tipo de proyectos y la mejor manera de abordarlos. Brindando los conocimientos necesarios para determinar el

conjunto de actividades que deben ser tenidas en cuenta, para garantizar buenas prácticas, en el desarrollo de proyectos de integración empresarial. En este sentido se establecieron 6 fases que conforman el procedimiento desarrollado.

- Definición de alcances.
- Assessment de proceso y tecnología.
- Diseño del modelo de integración.
- Recomendaciones tecnológicas.
- Diseño funcional.
- Implementación.

A continuación en las siguientes secciones se detallan cada una estas fases, con sus respectivas actividades.

3.2.1 Definición de alcances

Esta fase constituye una de las más importantes en el momento de abordar un proyecto de integración debido a que en ella se debe especificar lo que se quiere alcanzar con el desarrollo del proyecto, por medio de la definición de objetivos que vayan de la mano con las estrategias empresariales. Los alcances deben definirse de manera clara al inicio del proyecto, ya que a partir de estos se deben encaminar diferentes actividades que permitan alcanzarlos y sobre todo para evitar desviación en los mismos. Para ello es recomendable definirlos en términos de entregables o resultados que se quieren alcanzar con la implementación del proyecto de integración.

3.2.2 Assessment de proceso y tecnología

El objetivo de esta fase es obtener información que permita conocer el proceso productivo y el estado actual del mismo de acuerdo a los sistemas implementados para su optimización, es decir un diagnóstico que permita identificar oportunidades de mejoramiento y optimización de los procesos de producción y gestión de información, desde medición de variables hasta la consolidación de las mismas en sistemas de información. A continuación se detallan cada una de las actividades que se consideran necesarias en esta fase del procedimiento.

- *Descripción del proceso productivo:* Se deben detallar las etapas de procesamiento a las que es sometida la materia prima, insumos adicionados, pruebas de calidad realizadas, equipos involucrados en el procesamiento y demás

consideraciones necesarias para el entendimiento del proceso. Se pueden utilizar diagramas P&ID, diagramas de flujo o de proceso que permitan al implementador consolidar de manera estándar la información obtenida.

- *Identificación de variables de producción:* Establecer si se está haciendo algún tipo de medición o registro de variables de producción como cantidades de materia prima procesada, cantidad de producto terminado, tiempos de procesamiento, etc. Detallar cómo se hace la medición, qué instrumentos se utilizan para hacerlo. Especificar cómo se hace el registro de dichas variables si a través de un sistema de captura de datos o en planillas de control diligenciadas por el operador del proceso. El diligenciamiento de esta información se puede realizar por medio del formato mostrado en la Tabla 3, de acuerdo al ejemplo a continuación:

Tabla 3. Recolección, variables de producción. Fuente Propia.

Variable	Tipo de Variable	Descripción	Unidad de Medida	Método de Medición	Señal del Instrumento de Medición	Método Actual Recolección de datos	Disponibilidad como tag sistema de control	Sistema de control en el cual está integrado
Flujo Aceite crudo	Entrada a Proceso	Flujo instantáneo de crudo entrando a la planta	kg/h	Medidor de Flujo Endress+Hauser Promass 80, con indicación en campo	4-20 ma	Planilla diligenciada por operario	SI	Refinación química

- *Identificación de variables críticas de proceso:* Establecer si se está haciendo algún tipo de medición o registro de variables críticas de proceso, como temperatura, presión, nivel, etc. Estas variables están relacionadas con condiciones del proceso sobre las cuales se realiza algún tipo de control. Detallar cómo se hace la medición, qué instrumentos se utilizan para hacerlo. Especificar cómo se hace el registro de dichas variables si a través de un sistema de captura de datos, o en planillas de control diligenciadas por el operador del proceso. El diligenciamiento de esta información se puede realizar por medio del formato mostrado en la Tabla 4, de acuerdo al ejemplo a continuación:

Tabla 4. Recolección, variables de proceso. Fuente Propia.

Variable	Descripción	Unidad de Medida	Estado Medición Variable	Existe Instrumento de Medición	Señal del Instrumento de Medición	Método Actual Recolección de datos	Disponibilidad como tag sistema de control	Sistema de control en el cual está integrado
Vacuometro	Presión de vacío en secadora	Bar	Transmisor de Presión, Endress+Hauser Cerabar	Si	4-20 ma	Planilla diligenciada por el operario de turno	SI	Refinación química

- *Identificación de variables de calidad:* Establecer si se está haciendo algún tipo de medición o registro de variables de calidad, es decir parámetros que determinan si el producto está en condiciones óptimas de procesamiento, como acidez, humedad, punto de fusión, porcentaje de sólidos, etc. Detallar si la medición se hace en proceso (en línea) o en laboratorio a través de muestras; qué instrumentos se utilizan para hacer la medición. Especificar cómo se hace el registro de dichas variables si a través de un sistema de captura de datos o en planillas de control diligenciadas por el operador del proceso. El diligenciamiento de esta información se puede realizar por medio del formato mostrado en la Tabla 5, de acuerdo al ejemplo a continuación:

Tabla 5. Recolección, variables de calidad. Fuente Propia.

Variable	Descripción	Unidad de Medida	Estado de medición de Variable	Existe instrumento de Medición	Señal del instrumento de medición	Método actual de recolección de datos	Disponibilidad como tag, sistema de control	Sistema de control en el cual está integrado
Fósforo del aceite neutro	Contenido de fósforo del aceite neutro	Ppm	Muestra tomada en campo y analizada en laboratorio	Equipo de Laboratorio	NA	Planilla diligenciada por el operario de turno	NA	NA

- *Identificación de variables de mantenimiento:* Establecer si se lleva registro de paros o fallas, o si se hace medición de variables de proceso que determinen si un equipo no está funcionando correctamente. Detallar si se tienen códigos de falla establecidos, cómo se realiza el registro si a través de un sistema de captura de datos o en planillas de control diligenciadas por el operador del proceso. El diligenciamiento de esta información se puede realizar por medio del formato mostrado en la Tabla 6, de acuerdo al ejemplo a continuación:

Tabla 6. Recolección, variables de mantenimiento. Fuente Propia.

Variable	Descripción	Unidad de Medida	Descripción de medición de Calidad	Existe instrumento de Medición	Señal del instrumento de medición	Método actual de recolección de datos	Disponibilidad como tag, sistema de control	Sistema de control en el cual está integrado
Alta presión en la bomba	Indica que el equipo puede estar en mal funcionamiento	Bar	Transmisor de Presión Endress+Hauser	Si	4-20 ma	Captura automática por mediante el sistema de control	SI	Factory

- *Identificación de variables de inventario:* En este caso se hace referencia al registro y medición de los consumos de materia prima e insumos utilizados ya sea por turno o ciclo de producción. Se debe especificar cómo se hace la medición de

estos consumos, si son calculados por el operario o existen instrumentos para hacerlo de forma automática. Identificar si la consolidación se hace a través de un sistema de captura de datos o en planillas de control diligenciadas por el operario del proceso. El diligenciamiento de esta información se puede realizar por medio del formato mostrado en la Tabla 7, de acuerdo al ejemplo a continuación:

Tabla 7. Recolección, variables de inventario. Fuente Propia.

Unidad de Almacenamiento	Variable	Descripción	Unidad de Medida	Estado medición variable	Señal del Instrumento de Medición	Método Actual Recolección de datos	Disponibilidad como tag sistema de control	Sistema de control al cual está integrado
1L	Cantidad	Cantidad de producto almacenado	Ton	Transmisor de presión diferencial Siemens 7MF4634-1FY22-2AB6 , con indicación en campo	4-20 ma	Planilla diligenciada por el operador	Si	Sistema Factory

- *Identificación de sistemas de control:* Detallar si existen sistemas de control con PLC, DCS, Stand Alone, identificar marca y referencia, módulos de I/O, lazo de control al cual está asociado, qué tipo de comunicación utiliza para capturar datos del proceso, qué opciones de comunicación tiene para comunicarse con otros sistemas de control o supervisión. El diligenciamiento de esta información se puede realizar por medio del formato mostrado en la Tabla 8, de acuerdo al ejemplo a continuación:

Tabla 8. Datos sistema de control. Fuente Propia

Referencia PLC	Marca	CPU	Comunicación	Cantidad	Modulo	Tipo	Cantidad
S7-300	Siemens	316-2DP	Profibus, Ethernet	1	IB4	Entradas Digitales	16 x 24V
					IB8	Entradas Digitales	16 x 24V
					IB12	Entradas Digitales	16 x 24V
					QB16	Salidas Digitales	16 x 24V
					QB20	Salidas Digitales	16 x 24V

- *Identificación de sistemas SCADA/HMI:* Detallar si existen sistemas SCADA o HMI implementados, identificar marca y referencia lazo de control al cual está asociado, qué opciones de comunicación tiene para comunicarse con el sistema de control o sistemas de información. El diligenciamiento de esta información se puede realizar por medio del formato mostrado en la Tabla 9, de acuerdo al ejemplo a continuación:

Tabla 9. Datos de sistema HMI. Fuente Propia

Proveedor	Marca	Comunicación con PLC	Estaciones
Siemens	WinCC	Ethernet	1

- *Otros*: Consideraciones adicionales definidas por el implementador.

3.2.3 Diseño del modelo de integración

Gracias a los lineamientos dados en la familia de estándares ISA 88 e ISA 95 el modelado del proceso productivo, así como las actividades y flujos de información de nivel MES e intercambio de información con el nivel ERP, puede hacerse de manera tal que los modelos reflejen la realidad del sistema empresarial y sirvan como referencia para traducir las necesidades de información en requerimientos funcionales, de los posibles sistemas que se deban implementar. El modelado se puede dividir en dos categorías, una correspondiente a ISA 88 y otra a ISA 95.

- *Modelos ISA 88*: Esta parte aplica solamente para procesos tipo batch, ya que este estándar fue diseñado especialmente para este tipo de procesos. Normalmente el modelado con ISA 88 se concentra en los modelos definidos en la parte 1, correspondientes al modelo de proceso, modelo físico y modelo de control procedimental. De forma general se puede decir que estos modelos permiten definir los equipos disponibles, los récipes y los pasos necesarios para la fabricación de un producto.
- *Modelos ISA 95*: El modelado con ISA 95 supone mucha más complejidad de acuerdo a los modelos de objetos que se vayan a modelar y las categorías de información a tener en cuenta, lo que implica un alto grado de detalle y por consecuencia un vasto conocimiento de los procesos involucrados en el modelado. En primera instancia se deben definir las categorías de información del modelo de administración de operaciones de manufactura de ISA 95.03, que serán tenidas en cuenta dentro del alcance del proyecto de integración (Producción, Calidad, Inventario, Mantenimiento); la definición de estas categorías permite dirigirse a ISA 95.01 e ISA 95.02, con el fin de establecer los modelos de objetos, con los atributos necesarios para la implementación; por ejemplo si se tiene la categoría de administración de operaciones de producción, los modelos de objetos que se deben tener en cuenta necesariamente, son los de programa de producción y desempeño de producción. El siguiente paso después de obtener los

modelos de objetos se concentra en el modelo de administración de operaciones correspondiente a la(s) categoría(s) seleccionada(s). Aquí se realiza lo que se conoce como la aplicación al caso de estudio de la categoría seleccionada, la cual consiste en primer lugar, en identificar las actividades e interfaces que serán tenidas en cuenta dentro de la implementación; posteriormente la aplicación de la categoría se basa en especificar las necesidades de información del sistema empresarial y traducirlas en requerimientos funcionales, independientemente si dentro de los sistemas existentes se realiza algún tipo de gestión de información. A continuación en la Tabla 10 se muestra como debería ser organizada la información después de aplicar al caso de estudio la categoría de información respectiva.

Tabla 10. Especificación de requerimientos. Fuente [26].

ID	Descripción de Requerimiento	Aclaración de Requerimiento
PDM	Administración de Definición de Producción (Production Definition Management)	-
PDM 1	Requerimiento general	-
PDM 1.1	Requerimiento específico	-

La primera columna de la Tabla 10, provee un identificador único para cada requerimiento y un acrónimo del área de actividad ISA 95 o interfaz a la cual el requerimiento está relacionado. En el ejemplo de la Tabla 10 el área de actividad es administración de definición de producción (Production Definition Management) por lo cual el acrónimo es PDM. La segunda columna del campo ID define el identificador del requerimiento, el cual permite desagregarlo mediante requerimientos específicos incluidos en él.

3.2.4 Recomendaciones tecnológicas

Lograr que en una plataforma tecnológica, se reflejen los requerimientos obtenidos en fases previas, no es nada fácil teniendo en cuenta, que el dimensionamiento o elección inapropiados de tecnologías puede terminar en altos costos para una organización. Implantar nuevas tecnologías implica necesariamente cambios sustanciales en la forma de hacer las cosas, por lo tanto las soluciones que se planteen deben cumplir en lo posible, con patrones de usabilidad que permitan a los usuarios del sistema adaptarse fácilmente a este.

Debido a que el alcance de este procedimiento contempla la utilización de plataformas software ya establecidas, en este caso FactoryTalk y SAP R/3, el proceso de evaluación de diferentes plataformas, de acuerdo a las necesidades de la organización no es tenido en cuenta. En este sentido el objetivo de esta fase, se concentra en determinar los componentes necesarios, de cada una de las plataformas de acuerdo al mapeo de los modelos y requerimientos funcionales, hacia componentes del sistema que sean fácilmente adaptables a la organización y que cumplan con la mayoría de requerimientos. A continuación, se detallan los pasos que se recomienda se deben seguir en esta fase del procedimiento:

- *Clasificar los componentes de la plataforma FactoryTalk:* Esta plataforma está constituida por una serie de herramientas software, cada una con diferentes funcionalidades, abarcando un amplio rango de posibles implementaciones. En este sentido es importante realizar una clasificación de dichas herramientas, dentro de cada una de las categorías seleccionadas, del modelo de administración de operaciones de manufactura del estándar ISA 95, con el fin de identificar cuáles son las herramientas, que se pueden utilizar en una posible implementación.
- *Definición de componentes del sistema de ejecución batch:* De acuerdo a los modelos obtenidos en la fase de diseño del modelo de integración, en donde se realiza el modelado del proceso de acuerdo al estándar ISA 88, teniendo en cuenta que el proceso sea de tipo batch, se deben definir las herramientas de la plataforma FactoryTalk en las cuales se puedan mapear dichos modelos. Para ello se debe buscar dentro de la información proporcionada por el fabricante, qué componentes soportan la ejecución de sistemas batch.
- *Mapeo de requerimientos en componentes software:* De acuerdo a los requerimientos funcionales obtenidos en la fase anterior, para las categorías de información seleccionadas, se deben identificar las herramientas software, que permitan traducir dichos requerimientos en componentes funcionales del sistema a implementar.
- *Componentes del sistema ERP:* Los sistemas ERP se caracterizan por ser modulares y altamente parametrizables, lo que permite una fácil configuración de los mismos. De igual manera SAP R/3 es un sistema diseñado para las pymes, lo cual lo convierte en un sistema poco complejo y con módulos básicos de configuración, sin embargo en un sistema ERP, es difícil hablar de implementaciones con un único modulo ya que las configuraciones que se realicen

afectarán a todo el sistema; por lo tanto lo que se debe hacer en primera instancia, es determinar cuáles de los requerimientos funcionales, definidos en la fase anterior, pueden ser tenidos en cuenta como parte de las funcionalidades del ERP, de tal manera que se vean reflejados en configuraciones de módulos específicos como por ejemplo, producción o inventario. Seguidamente se deben definir los datos maestros del sistema, lo cuales serán la principal fuente de información sobre el funcionamiento de la empresa.

- *Medio de integración:* Debido a que FactoryTalk y SAP R/3 son plataformas diferentes, cada una desarrollada por diferentes proveedores y diseñadas para trabajar en niveles empresariales disímiles, se debe utilizar un medio que permita integrar estas dos plataformas y hacer que trabajen conjuntamente; para lograrlo no existe aún una plataforma estándar de integración, lo que obliga a los desarrolladores a establecer soluciones de integración a la medida, ya sea a través de intercambio de archivos o bases de datos, como servidores de capa media. Además de escoger adecuadamente la tecnología de integración, se deben tener en cuenta consideraciones específicas, con respecto a la información que dichas plataformas van a intercambiar ya que cada una maneja estructuras de datos totalmente diferentes.

3.2.5 Diseño funcional

La implementación de una plataforma tecnológica, debe estar soportada bajo una arquitectura que permita el correcto funcionamiento de la misma. Para diseñarla adecuadamente, el factor más importante a tener en cuenta, son las recomendaciones del fabricante, en las que se pueden identificar todas las características del producto, tales como compatibilidades de sistemas operativos, requerimientos mínimos de software, soporte de arquitecturas cliente/servidor, etc. Cuando la implementación incluye hardware de control como PLC's o DCS, se debe identificar el tipo de comunicación que soportan (Ethernet, RS-232, DH-485) y la cantidad de módulos de entrada/salida que pueden conectarse al sistema. Todas estas son consideraciones que permiten al implementador, tener el criterio necesario para determinar los componentes adecuados, para soportar la solución planteada. A continuación se detallan algunos formatos, que permiten consolidar esta información de una manera más organizada.

- *Sistema de control:* Se deben especificar los controladores que harán parte de la solución. A continuación en la Tabla 11 se muestra un ejemplo.

Tabla 11. Datos de sistema de control. Fuente Propia.

Marca	Procesador	Capacidad de memoria	Comunicaciones embebidas	Opciones de comunicación
Siemens	S7-300	4MB	RS-232, RS-485	Ethernet, Profibus
Allen Bradley	L57	8MB	RS-232	Ethernet, DeviceNet, ControlNet, DH-485

- *Sistema HMI*: se debe especificar el sistema HMI que hará parte de la solución. A continuación en la Tabla 12 se muestra un ejemplo.

Tabla 12. Datos de sistema HMI. Fuente Propia.

Proveedor	Marca	Versión	Comunicación con PLC	Estaciones cliente
Rockwell Software	FactoryTalk View	5.10 CPR 9 SR2	Ethernet, RS-232	5

Adicionalmente, es importante tener en cuenta que la solución debe ser totalmente funcional, desde el punto de vista del usuario, de tal manera que las interfaces que sean necesarias desarrollar, sean lo suficientemente intuitivas para el fácil manejo de las aplicaciones, consolidar manuales de usuario en el caso que se requiera, generar perfiles y códigos de accesibilidad cuando sean aplicaciones jerarquizadas y/o distribuidas.

Por último, es recomendable realizar una descripción funcional de la arquitectura a nivel de aplicaciones en donde se especifique el funcionamiento lógico del sistema, apoyándose en herramientas como: diagramas de flujo, diagramas de casos de uso, o cualquier otro método que permita su consolidación, con el fin de que los usuarios finales comprendan y asimilen su rol dentro de los componentes funcionales de la solución implementada.

3.2.6 Implementación

Esta fase puede ser vista como la consolidación en una solución software, de los resultados obtenidos (modelos, requerimientos) en las fases anteriormente descritas. Esta fase se compone de una serie de actividades, las cuales permiten abordar la implementación de una manera adecuada.

- *Configuración de herramientas FactoryTalk*: Como resultado de la fase de recomendaciones tecnológicas se obtienen los componentes necesarios de esta plataforma para el desarrollo de la solución, es así como se debe tomar cada herramienta por separado y realizar las configuraciones y desarrollos

correspondientes y posteriormente comprobar su correcto funcionamiento, de tal forma, que cada una pueda ser vista como un componente que cumple una función específica dentro de la solución.

- *Configuración de SAP:* Las implementaciones en SAP tienen la particularidad de ser bastante complejas principalmente por dos razones: la primera, relacionada con el número de módulos que vayan a ser tenidos en cuenta para la implementación. La segunda, está relacionada con los datos maestros que deben ser ingresados al sistema, la importancia de estos radica, en que son el eje central del funcionamiento de SAP; contienen la información necesaria (cuentas, costos de productos, costos de materiales, usuarios, listas de materiales, etc.), transversal a todo el sistema y definida por los usuarios finales, que permite realizar implementaciones en cualquiera de sus módulos. Después de haber realizado las implementaciones respectivas en los diferentes módulos, se continúa con la simulación, en donde manualmente se ingresan datos al sistema, de tal forma que se pueda comprobar el correcto funcionamiento de la implementación.
- *Integración de la solución:* Con la implementación en FactoryTalk y SAP funcionando cada una de manera independiente, se procede con la integración de estas dos plataformas, a través del medio de integración, seleccionado en fases previas del procedimiento. En este sentido, se debe comprobar que la integración funcione, de tal forma, que el intercambio de información entre ambas plataformas sea de manera bidireccional, para validarlo, dependerá de los módulos SAP y el tipo de solución implementada en la plataforma FactoryTalk. Por ejemplo en el caso de integrar datos específicos de producción, se podría realizar la generación de una orden de producción desde SAP y que automáticamente la solución en FactoryTalk la detecte, la ejecute y genere los respectivos reportes tanto para SAP como localmente.
- *Puesta en Marcha:* Después de haber realizado las simulaciones comprobando la funcionalidad del sistema solo a nivel de software, el paso a seguir es conectarlo con el sistema de control, es decir al proceso productivo. Seguidamente se procede a comprobar que haya conexión entre servidores, clientes, PLC's, HMI's, sensores, actuadores y demás dispositivos que hagan parte del sistema. Posteriormente se deben realizar pruebas en vacío en caso que sea posible, es decir que no haya ningún tipo de material a ser procesado, esto con el fin de no causar pérdidas de material o posibles accidentes. Por último, se realiza el

arranque del sistema con el proceso productivo en funcionamiento, de tal forma que toda la solución se sincronice con la lógica del proceso.

A continuación en la Figura 22, se muestra el esquema lógico del procedimiento desarrollado, en donde se describen las diferentes fases con las actividades principales que se realizan en cada una de ellas:

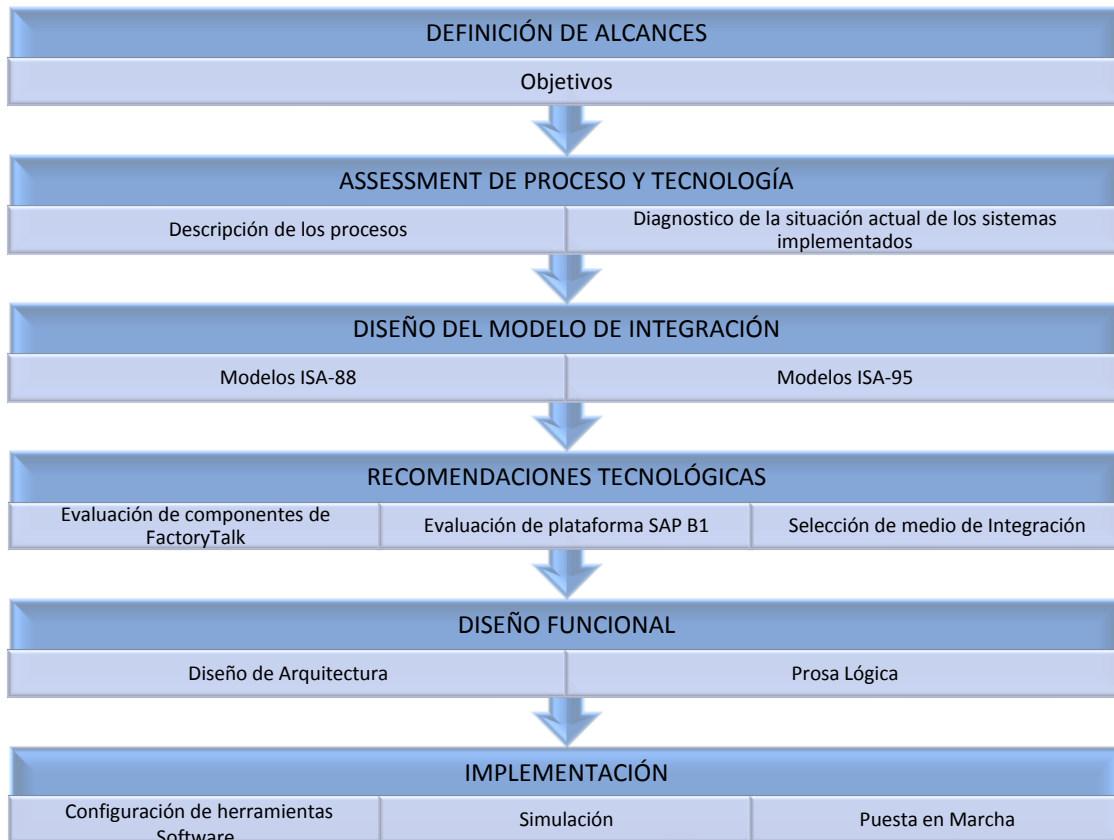


Figura 22. Procedimiento para la integración de FactoryTalk y SAP R/3. Fuente Propia.

4 INTEGRACIÓN DE LAS PLATAFORMAS FACTORYTALK Y SAP R/3

En este capítulo se describen de forma detallada, la secuencia de actividades llevadas a cabo en la implementación y puesta en marcha de una solución de integración para la planta de sistemas a eventos discretos, del laboratorio de control de procesos, del programa de Ingeniería en Automática Industrial, validando el procedimiento descrito en el capítulo 3 (*Procedimiento para la integración de FactoryTalk y SAP R/3 en proyectos de integración empresarial*) de este documento.

4.1 DEFINICIÓN DE ALCANCES

De acuerdo al objetivo del presente proyecto el cual especifica:

- Desarrollar un proyecto de integración empresarial aplicando la categoría administración de operaciones de producción del estándar ISA 95, haciendo uso de las plataformas FactoryTalk y SAP R/3, que permita una integración vertical desde el piso de planta hasta el sistema de negocio, para un caso de estudio en el laboratorio de control de procesos del PIAI.

Se establecen los lineamientos necesarios para delimitar el campo de acción del proyecto por medio de la definición de los siguientes entregables:

- Integración de las plataformas FactoryTalk y SAP R/3 para la categoría administración de operaciones de producción del estándar ISA 95.
- Implementación y puesta en marcha de una plataforma de gestión de información de proceso que permita la creación y ejecución de órdenes de producción, así como la consolidación de información que permita realizar análisis de desempeño de producción por medio de la generación de reportes.
- Implementación de un sistema de ejecución batch, de acuerdo al estándar ISA 88, el cual será el componente principal de toda la plataforma, siendo éste la principal fuente de información para los demás componentes de la solución.
- Generación de una guía de prácticas que permita a los estudiantes del programa de Ingeniería en Automática Industrial interactuar con la solución implementada.

4.2 ASSESSMENT DE PROCESO Y TECNOLOGÍA

4.2.1 Descripción de la empresa caso de estudio

Para el desarrollo del proyecto se hizo necesaria la generación de información relacionada con una fábrica modelo, de tal forma que se pudiera tener un acercamiento al funcionamiento real de una empresa, teniendo en cuenta los procesos de negocio asociados a ésta.

En este sentido a continuación se detalla la información relacionada con la fábrica modelo que se generó.

- **Nombre de la empresa:** Procesos S.A
- **Misión:** Procesos S.A es una empresa dedicada al diseño y simulación de procesos productivos, por medio de plantas piloto equipadas con tecnologías de última generación que permiten brindar a los estudiantes y docentes una visión amplia sobre el modelamiento de procesos de negocio y la integración de plataformas tecnológicas.
- **Visión:** Ser en el 2015 un medio de intercambio tecnológico con entidades educativas y de investigación, destacándose por su dedicación a la formación y capacitación de profesionales altamente competitivos en el manejo de tecnologías asociadas a la automatización de procesos.

4.2.1.1 Proceso administrativo en la empresa modelo Procesos S.A

El proceso administrativo relacionado con la fábrica modelo está diseñado de acuerdo al servicio que se prestará en ella, el cual se detalla a continuación:

Asesorías Académicas:

- Asesoría académica por medio de una guía de prácticas relacionada con el funcionamiento y configuración de la plataforma que soporta los procesos de gestión y producción de la fábrica modelo.

4.2.1.2 Definición de procesos cadena de abastecimiento de la fábrica modelo

La empresa Procesos S.A es una representación a escala del comportamiento de una empresa con un sistema integrado MES-ERP, cada uno de estos sistemas maneja flujos

de información diferentes y en este sentido la toma de decisiones se realiza en diferentes aspectos.

El funcionamiento global del sistema depende de la interacción de estos sistemas (MES, ERP), sin embargo para que la fábrica funcione es necesario tener en cuenta otros procesos que constituyen la cadena de abastecimiento del producto, estos procesos pueden administrarse por medio de sistemas de información como SAP. A continuación se definen los procesos de la cadena de abastecimiento de la fábrica modelo, identificando las actividades que intervienen durante los mismos.

Para el diseño de estos procesos se tuvo en cuenta la metodología SCOR (Supply-Chain Operations Reference) del Supply Chain Council [27], que propone una estructura de macro-procesos, procesos y actividades; dependiendo de la política de producción que se tenga, es decir, si se produce contra stock o bajo pedido.

La Figura 23 representa los macroprocesos definidos para la cadena de abastecimiento de la fábrica modelo así como la secuencia de los mismos. Cada macro proceso está compuesto por procesos que a su vez están conformados por actividades; la última actividad de cada proceso se debe empalmar con la primera del siguiente proceso dentro de cada uno de los macroprocesos. Para el caso de la implementación del proyecto solo serán descritos los macroprocesos de planeación y producción.

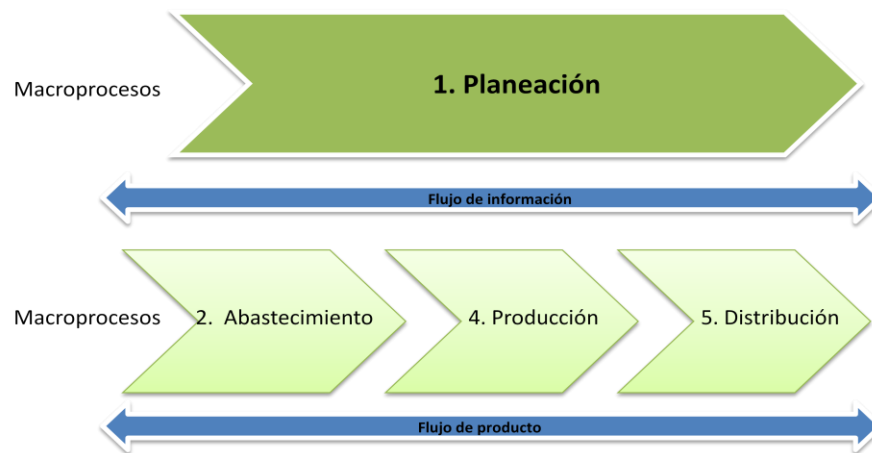


Figura 23. Diagrama macroprocesos de la cadena de abastecimiento. Fuente [27].

4.2.1.2.1 Macroprocesos de Planeación

En la Figura 24 se describe los flujos de información durante todo el proceso de planeación en cada uno de los tres eslabones de la cadena de abastecimiento. Esta información está relacionada a las actividades que se realizan dentro de la planeación de los procesos de la empresa relacionados con:

- El abastecimiento de insumos y materias primas.
- La producción de bienes y/o servicios generados por la empresa.
- La distribución de productos y/o servicios producidos por la empresa.

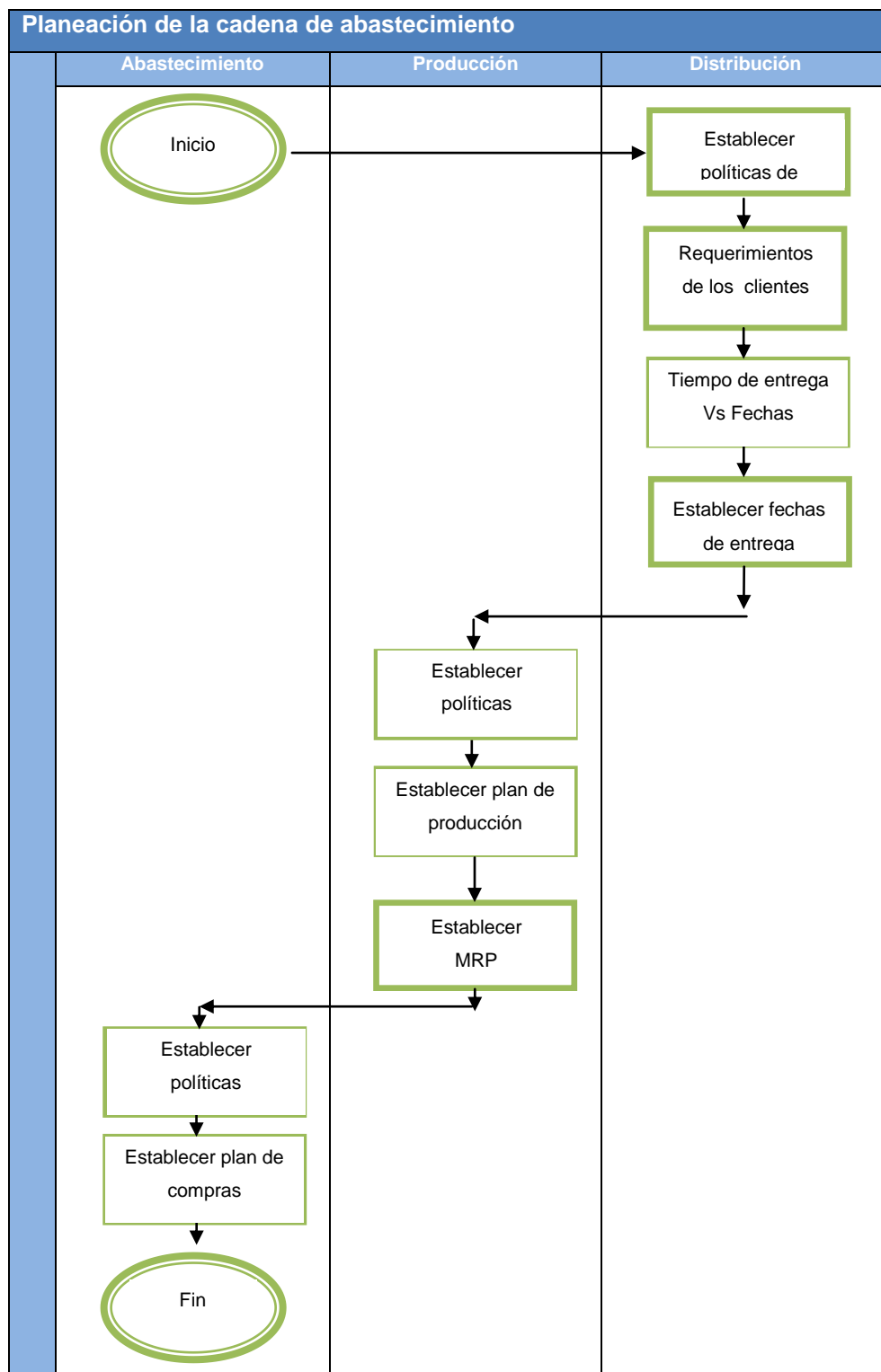


Figura 24. Diagrama de flujo proceso de planeación. Fuente Propia.

4.2.1.3 Proceso productivo

La fabrica modelo Procesos S.A cuenta con una planta en donde se lleva a cabo el proceso de producción de bebidas carbonatadas. La Figura 25, corresponde a una ilustración de la planta de producción denominada planta de sistemas a eventos discretos utilizada como caso de estudio. Esta planta consta de cinco tanques, equipados cada uno con sus respectivos sensores y actuadores, en los cuales se desarrollan cada una de las etapas que intervienen en el proceso de producción de bebidas carbonatadas.

La secuencia de procesos que se describe a continuación para la producción de bebidas carbonatadas no existía, lo que obligó a realizar un diseño del proceso de acuerdo a la disposición física de equipos de la planta, de tal manera que se pudiera obtener una secuencia ordenada que coincidiera con el proceso que se desea simular. A continuación se detallan cada uno de los pasos de producción:

4.2.1.3.1 Sedimentación y floculación

Este es el inicio del proceso de producción de bebidas carbonatadas y consiste en realizar un tratamiento previo al agua a utilizar; el objetivo principal de esta etapa es retirar los sólidos suspendidos en el agua con la ayuda del alumbre y el oxido de calcio, de tal manera que se obtenga agua tratada, con un porcentaje de sólidos en suspensión contenidos en el agua máximo del 0.001% esta etapa es llevada a cabo en el tanque TK5.

4.2.1.3.2 Preparación de concentrado

La preparación del concentrado se lleva a cabo en el tanque TK4, y es el proceso mediante el cual se mezclan las principales materias primas como lo son el saborizante y el ácido cítrico, con el fin de obtener un concentrado con una acidez aproximada de 4.5 pH y sólidos en suspensión entre 0.001 y 0.015%.

4.2.1.3.3 Preparación de jarabe simple

Para la preparación del jarabe simple primero, se hace un premezclado del agua tratada con el concentrado y luego se adicionan los edulcorantes. En el caso de la gaseosa tradicional se adiciona azúcar y en el caso de la gaseosa light se adicionan edulcorantes bajos en calorías. Esta etapa es realizada en el tanque TK3.

A continuación en la Figura 23, se muestra el diagrama P&ID de la planta caso de estudio. Se aclara que los tanques de almacenamiento TK6, TK7, TK8 y TK9 no existen físicamente dentro del proceso al igual que las bombas PP2, PP3 y PP4, estos solo fueron tenidos en cuenta con el fin de agregarle complejidad al proceso que se ejecuta actualmente en la planta de sistemas a eventos discretos. En este sentido los tanques mencionados hacen referencia a un único tanque, el cual es el TK1 que es utilizado para almacenamiento y preparación de la bebida; de igual manera las bombas mencionadas están asociadas a la bomba PP1 la cual es la única bomba que existe actualmente en el proceso.

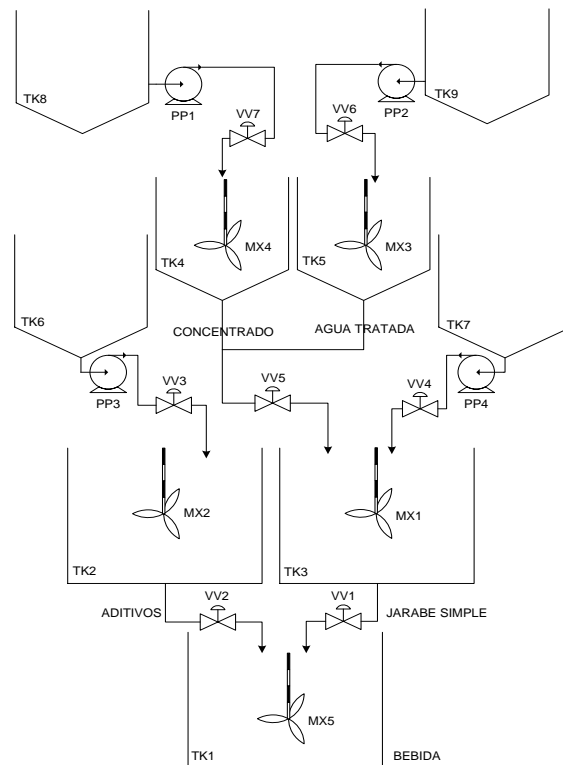


Figura 25. Diagrama planta caso de estudio. Fuente Propia.

4.2.1.3.4 Preparación de aditivos

En esta etapa se preparan los aditivos como el colorante y conservante en el tanque TK2.

4.2.1.3.5 Preparación de bebida

En esta etapa, realizada en el tanque TK1, se mezclan los aditivos que se prepararon en la etapa anterior con el jarabe simple, con el objetivo de obtener el jarabe terminado, luego se adiciona gas carbónico para obtener la bebida final.

4.2.2 Descripción del estado actual del proceso

4.2.2.1 Registro de Variables

Actualmente en el proceso caso de estudio, no se lleva a cabo registro y/o consolidación de ningún tipo de variables que permitan generar reportes de proceso, producción o perfiles históricos para análisis del comportamiento de las mismas. Esto se debe a que la planta no cuenta con instrumentación que permita hacer mediciones de este tipo.

4.2.2.2 Sistemas de control y supervisión

Actualmente el funcionamiento de la planta es controlado por medio de un PLC Micrologix 1500 Allen Bradley y supervisado desde una estación HMI con RsView 32 de Rockwell Software. A continuación se realiza una descripción del hardware y software que hacen parte del sistema de control y supervisión de la planta:

- *Sistema de control*

A continuación en la Tabla 13 se detalla el sistema de control de la planta SED.

Tabla 13. Sistema de control planta SED. Fuente Propia.

Referencia PLC	Marca	CPU	Comunicación	Cantidad
Micrologix 1500	Allen Bradley		RS-232, DH-485	1

- *Sistema de supervisión*

A continuación en la Tabla 14 se detalla el sistema HMI de la planta SED.

Tabla 14. Sistema HMI planta SED. Fuente Propia.

Proveedor	Marca	Comunicación con PLC	Estaciones
Rockwell Software	RsView 32	RS-232	1

4.3 DISEÑO DEL MODELO DE INTEGRACIÓN

4.3.1 Modelos ISA 88

Debido a que el proceso caso de estudio es un proceso tipo batch, el modelamiento de este se realizó de acuerdo a las recomendaciones descritas en la parte 1 del estándar ISA 88. A continuación se detallan los modelos obtenidos:

4.3.1.1 Modelo de proceso

En la Tabla 15 se detalla el modelo de proceso, obtenido para la producción de bebidas carbonatadas en la planta caso de estudio.

Tabla 15. Modelo de proceso planta SED. Fuente Propia.

Etapa	Operación	Actividad
Sedimentación y floculación	Carga de TK5	Adición de agua a TK5
	Adición de floculante	Adición de oxido de calcio Adición Alumbre
	Homogenización	Mezclado
Preparación del concentrado	Carga de TK4	Adición de agua a TK4
	Adición de Saborizante	Adición de Saborizante
	Adición de acidulante	Adición de acidulante
	Homogenización	Mezclado
Preparación del Jarabe simple	Adición de endulzante	Adición de edulcorante
	Carga de TK3	Adición de agua tratada a TK3 Adición concentrado
	Homogenización	Mezclado
Preparación de aditivos	Carga de TK2	Adición de agua a TK2
	Adición de conservante hidrosoluble	Adición de ácido sórbico
	Adición de Colorante	Adición de colorante
	Homogenización	Mezclado
Preparación de la bebida	Carga de TK1	Adición de Jarabe simple a TK1 Adición de aditivos a TK1
	Adición de Dióxido de carbono	Adición de CO2
	Homogenización	Mezclado

4.3.1.2 Modelo Físico

Para el caso de estudio se identificaron cinco unidades, que corresponden a una colección de módulos equipo y/o módulos de control asociados, descritos a continuación en la Tabla 16:

Tabla 16. Modelo físico planta SED. Fuente Propia.

Unidad	Módulo de equipo	Módulo de control
UNID_SEFL	De Carga TK5	Bomba PP2
		Válvula de Control VV6
		Sensor Alto Nivel TK5-LS1

		Sensor Bajo Nivel TK5-LS2
	De Homogenización TK5	Mezclador MX3
UNID_PRCONC	De Carga TK4	Bomba PP1
		Válvula de Control VV7
		Sensor Alto Nivel TK4-LS1
		Sensor Bajo Nivel TK4-LS2
	De Homogenización TK4	Mezclador MX4
UNID_PRJAR	De Carga TK3	Bomba PP4
		Válvula de Control VV4
		Válvula de Control VV5
		Sensor Alto Nivel TK5-LS1
		Sensor Bajo Nivel TK5-LS2
		Sensor Alto Nivel TK4-LS1
		Sensor Bajo Nivel TK4-LS2
		Sensor Alto Nivel TK3-LS1
		Sensor Bajo Nivel TK3-LS2
		De Homogenización TK3
	UNID_PRAD	De Carga TK2
Válvula de Control VV3		
Sensor Alto Nivel TK2-LS1		
Sensor Bajo Nivel TK2-LS2		
De Homogenización TK2		Mezclador MX2
UNID_PRBE	De Carga TK1	Válvula de Control VV2
		Válvula de Control VV1
	De Homogenización TK1	Mezclador MX5

4.3.1.3 Modelo de control procedimental

Para cada una de las unidades descritas en el modelo físico se asocia un procedimiento de unidad, el cual dirige acciones orientadas a los equipos, que en una secuencia ordenada llevan a cabo tareas orientadas a proceso. En la Tabla 17 se muestra el modelo procedimental obtenido.

Tabla 17. Modelo de procedimientos planta SED. Fuente Propia.

Procedimiento de unidad	Operación de procedimiento	Fase de procedimiento
PU_SEFL	Cargar TK5	Añadir agua a TK5
	Adicionar floculante	Adicionar Floculante
	Homogenizar	Mezclar
PU_PRCONC	Cargar TK4	Añadir agua a TK4
	Adicionar PreConcentrado	Agregar preconcentrado
	Homogenizar	Mezclar
PU_PRJAR	Adicionar endulzante	Agregar Azucar
	Cargar TK3	Añadir agua tratada a TK3
		Añadir concentrado
Homogenizar	Mezclar	
PU_PRAD	Cargar TK2	Añadir agua a TK2
	Adicionar Preaditivos	Añadir Preaditivos
	Homogenizar	Mezclar
PU_PRBE	Cargar TK1	Añadir Jarabe simple a TK1
		Añadir aditivos a TK1
	Adicionar Dióxido de carbono	Añadir CO2
	Homogenización	Mezclar

4.3.1.4 Modelo de récipes

A continuación en la Tabla 18 se especifica el modelo de récipes obtenido.

Tabla 18. Récipe para planta SED. Fuente Propia.

Encabezado		
ID	GMT	
Nombre del Producto	Gaseosa Manzana tradicional	
Características	Bebida Carbonatada con sabor a manzana tradicional	
Autor	HERRERA, Jhon Geiber, CALVO, Jhon Jairo.	
FÓRMULA (Para un batch de 30 Kg)		
Entradas		
Material	Cantidad	Unidad
Floculante	2	Kg
Agua	15	Kg
Concentrado	2	Kg
Aditivos	2	Kg
Azúcar	2	Kg
Dióxido de Carbono	2	Kg
Salidas		
Material	Cantidad	Unidad
Gaseosa Manzana Tradicional	30	Kg

4.3.2 Modelos ISA 95

Para el modelado del proceso caso de estudio, el primer paso fue definir las categorías de información, las interfaces y actividades que estén dentro de los alcances, que permitan cumplir con los entregables definidos previamente. En este sentido a continuación se detalla el alcance del modelado con ISA 95.

4.3.2.1 Categorías de información

De acuerdo al objetivo general definido para el proyecto, solo se tendrá en cuenta la categoría *Administración de Operaciones de Producción*, ver Figura 19, página 47. Esta categoría consta de 8 actividades y cuatro interfaces de información. A continuación se listan las actividades e interfaces que no serán tenidas en cuenta para el caso de estudio:

- Production Resource Management
- Detailed Production Scheduling
- Product Definition Interface
- Production Capability

Las anteriores actividades e interfaces no serán tenidas en cuenta debido a que están asociadas a funcionalidades que no están soportadas en las plataformas software que hacen parte del alcance del presente proyecto.

4.3.2.2 Actividades e Interfaces

A continuación se listan las actividades e interfaces que serán tenidas en cuenta para la implementación del proyecto, las cuales están asociadas a funcionalidades específicas de las plataformas FactoryTalk y SAP R/3:

- Production Definition Management
- Production Dispatching
- Production Execution Management
- Production Data Collection
- Production Performance Analysis
- Production Tracking
- Production Schedule Interface
- Production Performance Interface

4.3.2.3 Definición de requerimientos

Después de definir la categoría de información con sus respectivas interfaces y actividades, se continúa con la aplicación del modelo de administración de operaciones de producción al caso de estudio. La aplicación de este modelo se realizó mediante la especificación de requerimientos de usuario, los cuales están agrupados en las Tablas que se muestran a continuación. El detalle de cada uno de estos requerimientos está especificado en el anexo D.

4.3.2.3.1 Administración de definición de producción (Production Definition Management)

A continuación en la Tabla 19 se especifican los requerimientos de usuario para la administración de definición de producción (*Production Definition Management PDM*).

Tabla 19. Requerimientos de usuario para PDM. Fuente Propia.

ID	Descripción de Requerimiento	Aclaración de requerimiento
PDM	Administración de Definición de Producción (Production Definition Management)	
PDM	1 Administración de sistema de ejecución batch	El sistema debe proveer la capacidad de administrar el sistema batch, según lo que este implique, por medio de una

			interfaz que permita al usuario realizar las siguientes actividades: Crear, editar y eliminar recetas.
PDM	2	Definición de recetas	El sistema debe proveer la capacidad de definir la receta para cada producto que se fabrique dentro de la célula de proceso de bebidas carbonatadas. Dicha definición debe basarse en los parámetros necesarios para identificar una receta.
PDM	3	Definición de materiales	El sistema debe proveer la capacidad de manejo y definición de materiales, de tal manera que el usuario pueda realizar las siguientes acciones: Agregar y editar materiales y unidades de almacenamiento.

4.3.2.3.2 Despacho de producción (Production Dispatching)

A continuación en la Tabla 20 se especifican los requerimientos de usuario para la actividad de despacho de producción (*Production Dispatching PD*).

Tabla 20. Requerimientos de usuario para PD. Fuente Propia.

ID		Descripción de Requerimiento	Aclaración de Requerimiento
PD		Despacho de Producción (Production Dispatching)	
PD	1	Despacho de órdenes de producción	El sistema debe tener la capacidad de realizar el despacho de las órdenes de producción, generadas desde el sistema de negocio, hacia el sistema de ejecución batch para la célula de proceso de bebidas carbonatadas.
PD	2	Asignación de órdenes de trabajo	El sistema debe tener la capacidad de desagregar las órdenes producción en órdenes de trabajo (batch a ejecutar), haciendo la asignación de parámetros y recursos según sea el tamaño del batch.

4.3.2.3.3 Administración de ejecución de producción (Production Execution Management)

A continuación en la Tabla 21 se especifican los requerimientos de usuario para la actividad de administración de ejecución de producción (*Production Execution Management PEM*).

Tabla 21. Requerimientos de usuario para PEM. Fuente Propia.

ID		Descripción de Requerimiento	Aclaración de Requerimiento
PEM		Administración de ejecución de producción (Production Execution Management)	
PEM	1	Ejecución de batch	El sistema debe proveer la capacidad de comandar la ejecución de batch, por medio de una interfaz de control desde la cual se pueda hacer verificación y tomar acciones con respecto a eventos que se puedan presentar durante la ejecución
PEM	2	Administrar creación de	El sistema debe tener la capacidad de permitir al usuario

	batch	crear batch adicionales a la orden de trabajo, de tal manera que le permita definir los siguientes parámetros: Tamaño, cantidades de material y parámetro de unidad.
--	--------------	--

4.3.2.3.4 Recolección de datos de producción (Production Data Collection)

A continuación en la Tabla 22 se especifican los requerimientos de usuario para la actividad de recolección de datos de producción (*Production Data Collection PDC*).

Tabla 22. Requerimientos de usuario para PDC. Fuente Propia.

ID		Descripción de Requerimiento	Aclaración de Requerimiento
PDC		Recolección de datos de producción (Production Data Collection)	
PDC	1	Registro y análisis de históricos	El sistema debe proveer la capacidad de registro y análisis de históricos asociados a variables críticas en el proceso de producción de gaseosa adelantado en la célula de proceso de bebidas carbonatadas.
PDC	2	Registro de proceso	El sistema debe proveer la capacidad de registrar datos asociados a cada proceso adelantado en la célula de proceso de bebidas carbonatadas. A partir del enlace de este registro con los registros de las variables de proceso, se generan los perfiles históricos en el Reporte de Procesos.
PDC	3	Registro de producto procesado	El sistema debe proveer la capacidad de registro de datos asociados a operaciones de descargue de producto procesado en bebidas carbonatadas, el registro se adelantará por cada operación de descargue e incluirá los siguientes datos: Fecha, turno, hora inicio, hora fin, código del producto, cantidad de producto, tanque de destino.
PDC	4	Consolidación cantidad producto terminado o producto en proceso producido	El sistema proveerá la capacidad de registro y consolidación de cantidades de producto o producto en proceso (WIP) producido durante la ejecución de cada uno de los lotes de producción. Para cada lote de producción se registrará: Fecha, ID del batch y total producido.
PDC	5	Consolidación de consumo de materiales	El sistema proveerá la capacidad de registro y consolidación de consumos de los diferentes materias primas o productos en procesos (WIP) que han sido utilizados durante el turno. Para cada material se registrará los siguientes datos: Fecha, ID del batch, ID del material y Cantidad.
PDC	6	Registro ejecución Batch en célula de proceso	El sistema deberá proveer la capacidad de registro y consolidación de datos de ejecución de procedimientos batch en la celda de proceso, para garantizar la disponibilidad y estructura de datos necesaria en la generación de reportes journal de Procedimientos. Las capacidades de consolidación deberán enlazar y resumir los datos de ejecución de los procedimientos de unidad.
PDC	7	Registro ejecución Batch unidades de producción	El sistema deberá proveer la capacidad de registro y consolidación de datos de ejecución de procedimientos de unidad, para garantizar la disponibilidad y estructura de datos necesaria en la generación de reportes journal de procedimientos (celda de proceso) y de procedimientos de unidad. Las capacidades de consolidación deberán enlazar y resumir de los datos de ejecución de operaciones.
PDC	8	Registro ejecución operaciones en unidades de	El sistema deberá proveer la capacidad de registro y consolidación de ejecución de las operaciones que hacen parte de los procedimientos de unidad, para garantizar la

		producción	disponibilidad y estructura de datos necesaria en la generación de reportes journal de procedimientos de unidad
PDC	9	Reporte de entradas y salidas de materiales	El sistema debe proveer la capacidad de análisis y reporte por turno de las operaciones de cargue (entrada a planta) y descargue de bebida (salida de planta) en la célula de proceso, el reporte debe permitir el detalle de cada una de las operaciones, los tanques de donde toma el material a cargar y los tanques donde descarga el material, así como la cantidad totalizada de material cargado y descargado por cada batch ejecutado, La estructura del reporte se detalla a continuación:
PDC	9.1	Encabezado	Debe contener la fecha, el ID_Batch y los totales de cargue y descargue de producto.
PDC	9.2	Detalle operaciones de cargue	Se detalla para cada una de las operaciones de cargue los datos asociados, el detalle se adelanta para las operaciones realizadas en el batch especificado en el encabezado.
PDC	9.3	Detalle operaciones de descargue	Se detalla para cada una de las operaciones de descargue los datos asociados, el detalle se adelanta para las operaciones realizadas en el batch especificado en el encabezado.
PDC	9.4	Detalle Perfil Histórico de variables de proceso	El detalle incluirá un objeto de reporte que presente los perfiles históricos de cada una de las variables de proceso asociadas al proceso de cristalización ejecutado en este centro de trabajo, para el día, el turno y el proceso especificado en los filtros del encabezado y de acuerdo a la periodicidad con la que fueron registrados los datos.
PDC	10	Reporte de Producción	El sistema proveerá la capacidad de consolidación y reporte de los resultados de las operaciones de producción adelantadas en la célula de proceso. El reporte proveerá la capacidad de consolidación por batch de las cantidades totales de producto elaborado, detalle de subproductos generados, detalle de consumibles utilizados (químicos, insumos, etc.)
PDC	10.1	Encabezado	Debe contener la fecha, el ID_Batch y el total producido
PDC	10.2	Detalle de consumo de materiales	Se detalla los consumos de los diferentes materias primas y productos en procesos (WIP) que han sido utilizados durante la ejecución del batch. Para cada material se especificará los siguientes datos: ID del material y cantidad.

4.3.2.3.5 Análisis de desempeño de la producción (Production Analysis)

A continuación en la Tabla 23 se especifican los requerimientos de usuario para la actividad de análisis de desempeño de la producción (*Production Analysis PPA*).

Tabla 23. Requerimientos de usuario para PPA. Fuente Propia.

ID		Descripción de Requerimiento	Aclaración de Requerimiento
PPA		Análisis de desempeño de la producción (Production Performance Analysis)	
PPA	1	Reporte Journal Procedimientos ejecutados en la célula de proceso de bebidas carbonatadas	El sistema debe proveer la capacidad de análisis de los batch procesados en la celda de proceso de producción de gaseosa la cual está constituida por 5 unidades de procesamiento (Sedimentación y floculación, Preparación de concentrado, Preparación de Jarabe simple, Preparación de aditivos, Preparación de la bebida). La capacidad de análisis hace referencia a un reporte que permitirá seleccionar y filtrar por fecha, los diferentes batch que se han ejecutado en la fecha especificada. Para cada batch seleccionado se desplegará el journal del

			proceso de producción (procedimiento) el cual estará conformado por el detalle de la ejecución del procedimiento de preparación de gaseosa. Para ello el reporte contará con un objeto de filtrado y cuerpo del reporte donde se desplegará el journal del batch ID seleccionado.
PPA	1.1	Objeto de Filtrado (selección BatchID)	Capacidades de filtrado del reporte. El objeto permitirá seleccionar el batch ID para el cual se desplegará en el cuerpo del reporte la información de ejecución del procedimiento (journal).
PPA	1.2	Journal ejecución Procedimiento de preparación de gaseosa (Cuerpo del Reporte)	El reporte resumirá los resultados del procedimiento y el detalle de la ejecución del procedimiento los procedimientos de unidad.
PPA	1.2.1	Encabezado	Resume el resultado de ejecución del procedimiento
PPA	1.2.2	Journal Procedimiento de unidad sedimentación y floculación	El journal detalla la unidad de sedimentación y floculación utilizada y los atributos de ejecución (parámetros e información de reporte).
PPA	1.2.2.1	Encabezado	Resume el resultado de la ejecución del proceso
PPA	1.2.2.2	Detalle cargue de materiales	Se detallan los atributos de ejecución de la operación (parámetros e información de reporte)
PPA	1.2.2.3	Detalle perfil histórico de variables de proceso durante el Batch	El detalle incluirá un objeto de reporte que presente los perfiles históricos de cada una las variables Históricas asociadas al proceso durante la ejecución del mismo.
PPA	1.2.3	Journal Procedimiento de unidad preparación de concentrado	El journal detalla la unidad de preparación de concentrado utilizada y los atributos de ejecución (parámetros e información de reporte).
PPA	1.2.3.1	Encabezado	Resume el resultado de la ejecución del proceso
PPA	1.2.3.2	Detalle cargue de materiales	Se detallan los atributos de ejecución de la operación (parámetros e información de reporte)
PPA	1.2.3.3	Detalle perfil histórico de variables de proceso durante el Batch	El detalle incluirá un objeto de reporte que presente los perfiles históricos de cada una las variables Históricas asociadas al proceso durante la ejecución del mismo.
PPA	1.2.4	Journal Procedimiento de unidad preparación de aditivos	El journal detalla la unidad de preparación de aditivos utilizada y los atributos de ejecución (parámetros e información de reporte).
PPA	1.2.4.1	Encabezado	Resume el resultado de la ejecución del proceso
PPA	1.2.4.2	Detalle cargue de materiales	Se detallan los atributos de ejecución de la operación (parámetros e información de reporte)
PPA	1.2.4.3	Detalle perfil histórico de variables de proceso durante el Batch	El detalle incluirá un objeto de reporte que presente los perfiles históricos de cada una las variables Históricas asociadas al proceso durante la ejecución del mismo.
PPA	1.2.5	Journal Procedimiento de unidad preparación de jarabe simple	El journal detalla la unidad de preparación de jarabe simple utilizada y los atributos de ejecución (parámetros e información de reporte).
PPA	1.2.5.1	Encabezado	Resume el resultado de la ejecución del proceso
PPA	1.2.5.2	Detalle cargue de materiales	Se detallan los atributos de ejecución de la operación (parámetros e información de reporte)
PPA	1.2.5.3	Detalle perfil histórico de variables de proceso durante el Batch	El detalle incluirá un objeto de reporte que presente los perfiles históricos de cada una las variables Históricas asociadas al proceso durante la ejecución del mismo.
PPA	1.2.6	Journal Procedimiento de unidad preparación de bebida	El journal detalla la unidad de preparación de bebida utilizada y los atributos de ejecución (parámetros e información de reporte).
PPA	1.2.6.1	Encabezado	Resume el resultado de la ejecución del proceso
PPA	1.2.6.2	Detalle cargue de materiales	Se detallan los atributos de ejecución de la operación (parámetros e información de reporte)

4.3.2.3.6 Seguimiento de producción (Production Tracking)

A continuación en la Tabla 24 se especifican los requerimientos de usuario para la actividad de seguimiento de producción (*Production Tracking PT*).

Tabla 24. Requerimientos de usuario para PT. Fuente Propia.

ID		Descripción de Requerimiento	Aclaración de Requerimiento
PT		Seguimiento de producción (Production Tracking)	
PT	1	Seguimiento de materia prima en unidades de almacenamiento	El sistema debe tener la capacidad de hacer seguimiento a las cantidades de material almacenado teniendo en cuenta los siguientes atributos: ID unidad, ID lote, ID material, Cantidad almacenada.
PT	2	Seguimiento a materiales almacenados en unidades de almacenamiento con múltiples capas (lotes) de material	Considerando que en las unidades de almacenamiento se puede tener más de un lote de un determinado material en un tiempo específico, se requiere que el sistema cuente con la posibilidad de determinar los identificadores de lotes para materia prima almacenada (se generan capas de producto) y para lotes con mezclas de materiales.
PT	3	Seguimiento de batch	El sistema debe proveer la capacidad de hacer seguimiento a todos los batch ejecutados en la célula de proceso a través de una interfaz que permita la visualización de estos.
PT	4	Seguimiento de consumos de material	El sistema debe proveer la capacidad de hacer seguimiento a las cantidades de material consumidas por cada batch ejecutado.
PT	5	Seguimiento a eventos de ejecución	El sistema debe proveer la capacidad de hacer seguimiento a los eventos que puedan ocurrir durante la ejecución de un batch. Estos eventos pueden estar relacionados con estados de fase, o alarmas de variables de proceso asociadas a cada una de las unidades.

4.3.2.3.7 Interfaz programa de producción (Production Schedule Interface)

A continuación en la Tabla 25 se especifican los requerimientos de usuario para la interfaz programa de producción (*Production Schedule Interface PSI*).

Tabla 25. Requerimientos de usuario para PSI. Fuente Propia.

ID		Descripción de Requerimiento	Aclaración de Requerimiento
PSI		Interfaz programa de producción (Production Schedule Interface)	
PSI	1	Integración de órdenes de producción	El sistema debe proveer la capacidad de integrar las órdenes de producción liberadas desde SAP. De tal manera que la información relacionada esté disponible para todos los componentes del sistema de ejecución batch.
PSI	2	Despliegue de órdenes de trabajo	La integración de las órdenes de producción desde SAP debe permitir al sistema de ejecución batch, desplegarlas en órdenes de trabajo en la interfaz de ejecución.

4.3.2.3.8 Interfaz desempeño de producción (Production Performance Interface)

A continuación en la Tabla 26 se especifican los requerimientos de usuario para la interfaz desempeño de producción (*Production Performance Interface PPI*).

Tabla 26. Requerimientos de usuario para PPI. Fuente Propia.

ID		Descripción de Requerimiento	Aclaración de Requerimiento
PPI		Interfaz desempeño de producción (Production Performance Interface)	
PPI	1	Reporte de ejecución	El sistema debe proveer la capacidad de enviar información hacia SAP, relacionada con el resultados de la ejecución de las órdenes de producción
PPI	2	Relación órdenes de trabajo vs órdenes de producción	El sistema debe proveer la capacidad de agrupar las órdenes de trabajo ejecutadas en el sistema batch asociadas a una orden de producción específica, de tal manera que SAP reciba el consolidado de la ejecución de la orden de producción, de acuerdo a los resultados de ejecución de las órdenes de trabajo.

4.4 RECOMENDACIONES TECNOLÓGICAS

A continuación en la Figura 26 se muestra una posible clasificación de las herramientas que componen la plataforma FactoryTalk, agrupadas dentro de las categorías de información del modelo de administración de operaciones de manufactura, del estándar ISA 95. Esta clasificación permite obtener una visión de las diferentes herramientas a utilizar en una implementación, de acuerdo a la categoría de información seleccionada.

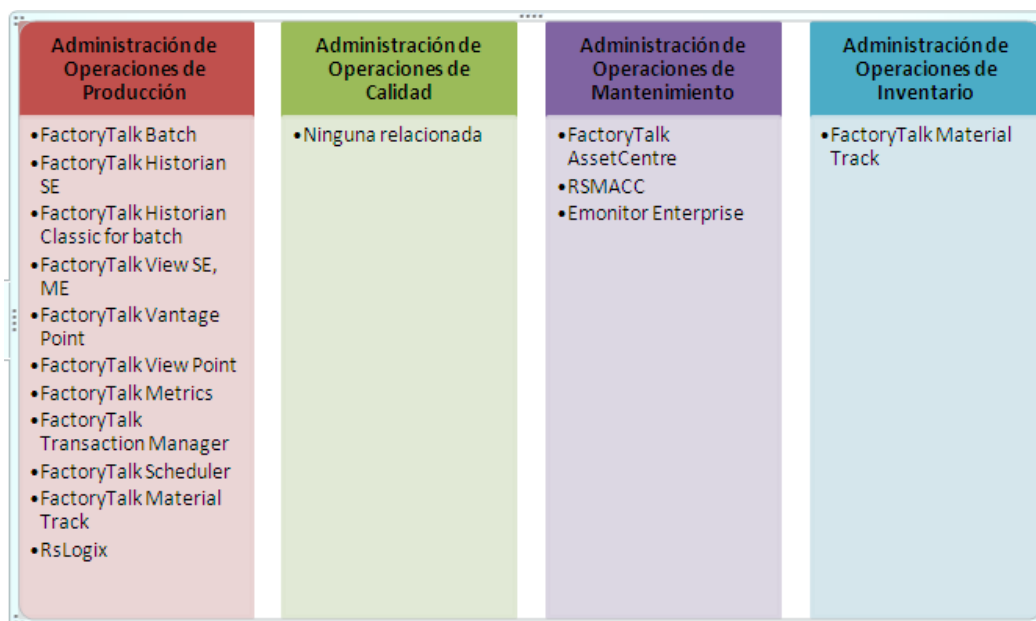


Figura 26. Clasificación de herramientas FactoryTalk. Fuente Propia.

4.4.1 Componentes sistema de ejecución batch

Dentro de los componentes de administración de producción de la plataforma FactoryTalk está la suite FactoryTalk Batch, la cual se compone de una serie de herramientas que permiten configurar el modelo de equipos y de control procedimental definidos en el estándar ISA 88, brindando funcionalidades para ejecución de batch e integración de acciones de control e información de producción con los demás componentes de la plataforma. Adicionalmente por medio de la funcionalidad PhaseManager la cual permite comunicar el FactoryTalk Batch con el software de programación de PLC's, RsLogix 5000, se puede realizar la ejecución automática de las fases definidas en el FactoryTalk Batch, mediante el mapeo de estas en el RsLogix, con el fin de que el sistema de control ejecute acciones de acuerdo al procedimiento definido para un récipe específico.

En la Figura 27 se describe la interacción de los principales componentes de la suite FactoryTalk Batch. En donde el Equipment Editor es la herramienta que permite el mapeo del modelo físico; el Récipe Editor, el modelo de procedimientos y la receta; el Batch View permite la visualización y control de la ejecución; el RsLogix 5000, permite la ejecución de fases automáticas enviando acciones de control por medio del RsLinX Classic.

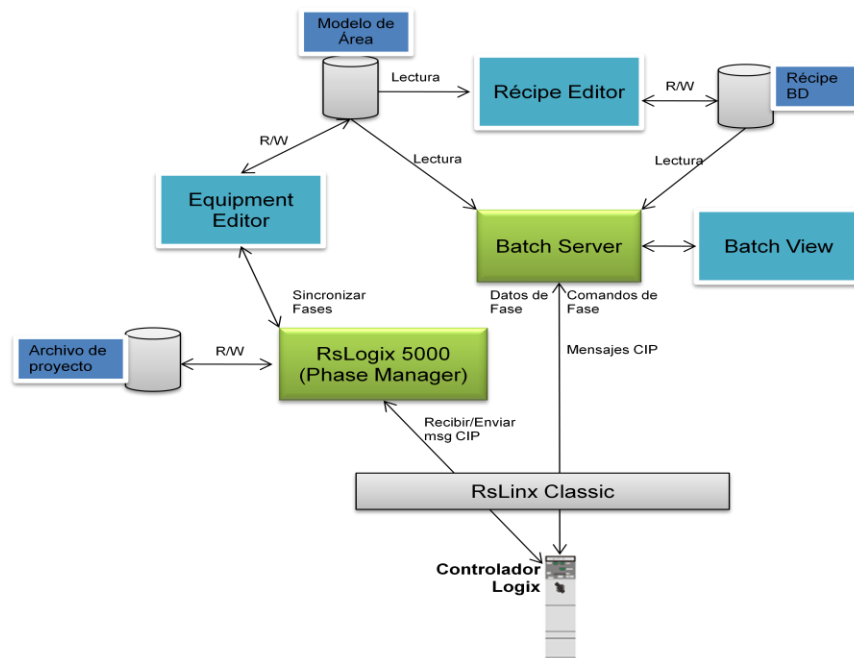


Figura 27. Esquema de funcionamiento FactoryTalk Batch. Fuente Propia.

4.4.2 Mapeo de Requerimientos

Los requerimientos obtenidos anteriormente en la sección 4.3.2.3, página 79, para cada una de las actividades e interfaces de la categoría administración de operaciones de producción aplicada al caso de estudio, permiten dimensionar la complejidad de la solución de nivel MES, utilizando diferentes componentes software de la plataforma FactoryTalk, que trabajen de manera integrada para cumplir con dichos requerimientos. En la Tabla 27 se listan los principales requerimientos obtenidos para cada una de las actividades e interfaces, seleccionadas para la implementación en el caso de estudio versus los componentes software de la plataforma FactoryTalk además del componente software que se desarrollará para realizar la integración entre FactoryTalk y SAP. El mapeo de estos requerimientos no se ha hecho de manera arbitraria, por el contrario ha sido necesario, profundizar en cada una de las herramientas, por medio de manuales de usuario y el manejo de cada una de ellas, con el fin de poder tener los argumentos necesarios para determinar cuáles son necesarias para implementar la solución de acuerdo a los requerimientos obtenidos. Los componentes FactoryTalk Vantage Point y View Point no están incluidos debido a que no están dentro del paquete Rockwell Automation Educational Support Program con que actualmente cuenta el programa de Ingeniería en Automática Industrial de la Universidad del Cauca.

Tabla 27. Requerimientos de usuario Vs Componentes software. Fuente Propia.

Componentes Requerimientos	Batch	Historian SE	Historian for Batch	View	Metrics	Transaction Manager	Scheduler	Material Track	RsLogix	Integración FT-SAP
Administración de sistema de ejecución batch	X									
Definición de recetas	X									
Definición de materiales								X		
Despacho de órdenes de producción	X									
Asignación de órdenes de trabajo	X									
Ejecución de batch	X								X	
Administrar creación de batch	X									
Registro y análisis de históricos	X	X	X	X		X				
Registro de proceso		X	X							
Registro de producto procesado	X		X							
Consolidación cantidad producto terminado o	X		X							

producto en proceso producido										
Consolidación de consumo de materiales	X									
Registro ejecución Batch en célula de proceso	X		X							
Registro ejecución operaciones en unidades de producción	X		X							
Reporte de entradas y salidas de materiales	X		X							
Detalle operaciones de cargue	X									
Detalle operaciones de descargue	X									
Detalle Perfil Histórico de variables de proceso		X	X							
Reporte de Producción	X		X							
Reporte Journal Procedimientos ejecutados	X		X							
Seguimiento de materia prima en unidades de almacenamiento								X		
Seguimiento a materiales almacenados en unidades de almacenamiento con múltiples capas (lotes) de material								X		
Seguimiento de batch	X			X						
Seguimiento a duración de batch	X									
Seguimiento a eventos de ejecución	X									
Integración de órdenes de producción										X
Despliegue de órdenes de trabajo	X			X						
Reporte de ejecución	X									
Relación órdenes de trabajo Vs órdenes de producción										X

Consideraciones: En el desarrollo de la solución no se tendrán en cuenta los requerimientos relacionados con registro o reporte histórico de variables de proceso, debido a que la planta caso de estudio no cuenta con la instrumentación necesaria para realizar mediciones de este tipo. En este sentido los componentes Historian SE y Transaction Manager no serán utilizados en la implementación.

Por otro lado, es importante aclarar que en el mapeo de los requerimientos se hace referencia a los componentes software de forma general, sin detallar cada una de las herramientas que los conforman.

A continuación en la Figura 28, se hace un traslape de los componentes software con respecto a cada una de las actividades e interfaces del modelo de administración de operaciones de producción seleccionadas.

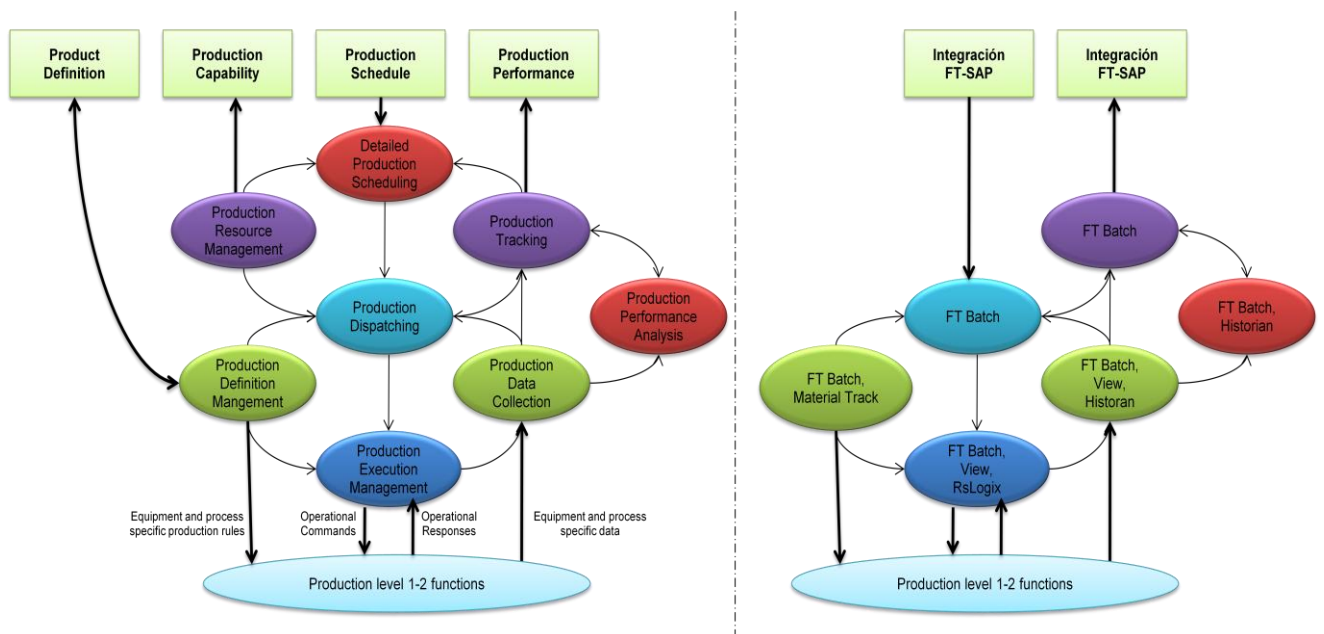


Figura 28. Traslape de componentes software en el modelo de administración de operaciones de producción. Fuente Propia.

4.4.3 Componentes del sistema ERP

Como se ha mencionado anteriormente el sistema ERP que se utilizará para el caso de estudio es SAP R/3, este sistema al igual que los demás ERP, se compone de una serie de módulos cada uno desempeñando una función específica dentro del sistema.

Debido a que para el caso de estudio solo se tendrá en cuenta la categoría de administración de operaciones de producción del estándar ISA 95, para el desarrollo de la solución en SAP solo se trabajará con el módulo de producción desde el cual se pueden generar las listas de materiales y órdenes de producción, y el componente XL Reporter, que permite generar reportes para visualización de datos del sistema.

4.4.4 Medio de Integración

Debido a que no existe una plataforma estándar para integrar FactoryTalk y SAP R/3 se debe definir un medio de integración que permita el intercambio de información entre estas dos plataformas. Para lograrlo existen diferentes métodos, de los cuales a

continuación se detallan los más relevantes, definiendo sus ventajas y desventajas con el fin de determinar, cual es el más adecuado para utilizarlo en el caso de estudio.

4.4.4.1 Intercambio de archivos en XML

La tecnología XML ofrece un mecanismo mediante el cual se puede realizar la integración de diferentes sistemas, esto gracias a las herramientas de desarrollo que lo soportan, las cuales ofrecen al usuario un lenguaje común basado en etiquetas. Un archivo XML es visto como un conjunto de etiquetas, las cuales deben contener la información que se desea intercambiar; estos archivos pueden ser generados de manera automática en algunas plataformas software o programados manualmente por el usuario, lo cual varía de acuerdo a la complejidad de la información que se desee gestionar o intercambiar.

Ventajas

- No requiere software propietario para ser interpretado.
- Permite comunicar múltiples plataformas incompatibles entre sí.
- Es extensible, después de diseñado y puesto en producción, es posible extender XML con la adición de nuevas etiquetas.
- Es independiente del lenguaje de programación.

Desventajas

- Exige una plataforma de procesamiento de datos.
- En soluciones *Custom* el intercambio de archivos solo es eficiente, si todas las aplicaciones corren en un mismo equipo.
- XML no resulta aconsejable como sustituto de HTML ni de bases de datos.
- No proporciona las condiciones adecuadas en aplicaciones en donde la velocidad de recuperación de datos y la seguridad resultan cruciales.
- Solo permite el intercambio de pequeñas cantidades de información, sino se tiene una plataforma de procesamiento.

4.4.4.2 Bases de datos

Una base de datos es una colección de información organizada de forma que un sistema gestor/administrador pueda seleccionar rápidamente los fragmentos de datos que necesite. Una base de datos es un sistema de archivos electrónico. Las bases de datos

tradicionales se organizan por campos, registros y archivos. Un campo es una pieza única de información; un registro es un sistema completo de campos; y un archivo es una colección de registros.

Ventajas

- Control sobre la redundancia de datos.
- Consistencia de datos, eliminando o controlando las redundancias de datos se reduce en gran medida el riesgo de que haya inconsistencias.
- Mejora en la integridad de datos, la integridad de la base de datos se refiere a la validez y la consistencia de los datos almacenados.
- Independencia del hardware.
- Altas velocidades de respuesta y procesamiento.

Desventajas

- Complejidad, los sistemas de gestión de bases de datos son conjuntos de programas muy complejos con una gran funcionalidad. Es preciso comprender muy bien esta funcionalidad para poder sacar un buen partido de ellos; por lo cual se necesita personal especializado.
- Vulnerable a los fallos, el hecho de que todo esté centralizado, hace que el sistema sea más vulnerable ante los fallos que puedan producirse.
- Tamaño, a medida que el sistema almacena información, se incrementa el tamaño de la base de datos, lo cual implica mayor espacio en disco y capacidad de memoria para poder trabajar de forma eficiente.

De acuerdo a las descripciones anteriormente mencionadas con respecto a XML y a las bases de datos, el medio de integración escogido, es una base de datos que sirva como servidor de capa media para el intercambio de información. Esto debido a que tanto SAP R/3 como FactoryTalk utilizan el mismo sistema gestor de base de datos, SQL Server 2005, para el almacenamiento de su información, lo cual facilita realizar el intercambio de información a través de este sistema. Permitiendo hacer un aprovechamiento de la tecnología existente para estas dos plataformas, y por ende descartando a XML básicamente por la complejidad de estas dos plataformas, las cuales almacenan gran cantidad de información, además que no se cuenta con una plataforma de procesamiento que permita interpretar la información intercambiada en formato XML.

4.5 DISEÑO FUNCIONAL

En fases anteriores se obtuvieron los diferentes componentes software, necesarios para el desarrollo de la solución de integración. En este sentido el siguiente paso consiste en el diseño de la arquitectura, que permita el adecuado funcionamiento de dichos componentes, que hacen parte de toda la solución. Esta arquitectura incluye las recomendaciones de tipo hardware para servidores, clientes y sistemas de control; la estructura de red para las comunicaciones, además de los requerimientos software (sistema operativo) para los computadores que hagan parte del sistema.

4.5.1 Sistema de control y supervisión

Para el desarrollo del proyecto se hizo un rediseño del sistema de control y supervisión, que actualmente se encuentra en la planta de eventos discretos, tal como se especificó en el assessment de proceso y tecnología. Este rediseño involucra nuevos componentes con el fin de poder soportar principalmente la ejecución de fases automatizadas, mapeadas desde el FactoryTalk Batch. En este sentido el sistema estará compuesto de los siguientes componentes:

- *Sistema de control*

A continuación en la Tabla 28 se detalla el sistema de control de la planta SED.

Tabla 28. Sistema de control planta SED. Fuente Propia.

Marca	Procesador	Capacidad de memoria	Comunicaciones Embebidas	Opciones de comunicación
Allen Bradley	ControlLogix	1Mb	RS-232	Ethernet, DeviceNet, DH-485
Allen Bradley	Micrologix 1500	4K	RS-232, DH-485	Ethernet

- *Sistema HMI*

A continuación en la Tabla 29 se detalla el sistema HMI de la planta SED.

Tabla 29. Sistema HMI planta SED. Fuente Propia.

Proveedor	Marca	Versión	Comunicación con PLC	Estaciones cliente
Rockwell Software	FactoryTalk View SE	5.00 CPR 9	Ethernet	1

Este sistema de control estará comandado por el PLC ControlLogix, en el cual se ejecutarán las fases del procedimiento programado en el FactoryTalk Batch, este a su vez recibirá a través de mensajes por Ethernet, los estados de sensores y actuadores leídos desde el PLC Micrologix el cual está conectado directamente a la planta SED; de igual manera el Micrologix recibirá órdenes desde el ControlLogix, a través de mensajes por Ethernet, relacionadas con acciones de control sobre los actuadores. La mensajería por medio de la red Ethernet se da gracias a que ambos controladores cuentan con módulos de comunicación que soportan este protocolo. El esquema general del sistema se muestra en la Figura 29.

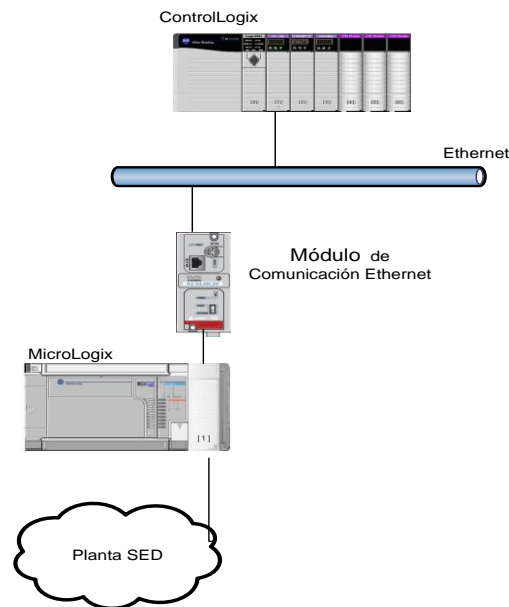


Figura 29. Arquitectura del sistema de control. Fuente Propia.

4.5.2 Arquitectura sistema MES y ERP

Las recomendaciones de equipos para la solución MES y ERP, se hizo teniendo en cuenta la disponibilidad de equipos que pudieran configurarse como servidores y clientes de acuerdo a las recomendaciones dadas por el fabricante. El detalle de las características técnicas de cada uno de los servidores y estaciones cliente está consolidado en el Anexo B.

En la Figura 30 se detalla la arquitectura de red propuesta para los 3 servidores y la estación cliente, definidos para el sistema. Se aclara que el servidor HMI se incluye dentro de la solución MES debido a que este no solo administrará la aplicación de supervisión de

proceso, sino que además tendrá características adicionales relacionadas con la gestión y visualización de batch.

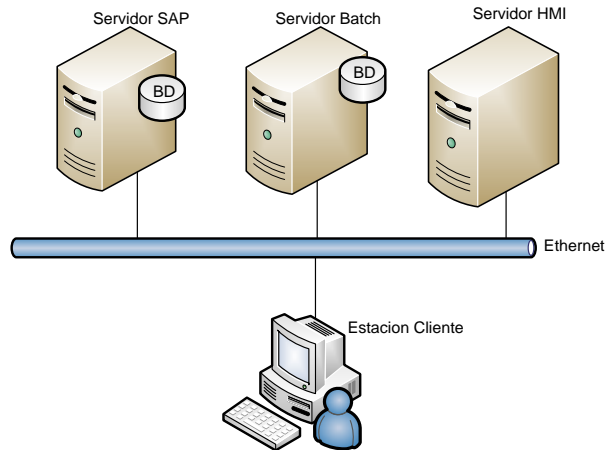


Figura 30. Arquitectura sistemas MES y ERP. Fuente Propia.

4.5.2.1 Arquitectura del sistema

A continuación, en la Figura 31 se muestra el esquema completo de la solución planteada. Esta solución está basada en una arquitectura distribuida la cual se puede dividir en tres niveles funcionales, nivel de gestión de información, nivel de monitoreo y visualización y nivel de control, a continuación se listan los componentes que conforman cada uno de estos niveles.

- *Nivel de gestión de información:* Conformado por 3 servidores de datos, dos de estos asociados a herramientas de la plataforma FactoryTalk y otro dedicado para el sistema SAP el cual demanda gran cantidad de procesamiento de información.
- *Nivel de monitoreo y visualización:* Conformado por una estación cliente desde la cual se tiene acceso a toda la información generada por el sistema en el momento de la ejecución de la producción.
- *Nivel de control:* Esta relacionado a los equipos que están dedicados al control del proceso productivo, en este caso se cuenta con dos PLC's los cuales permiten la ejecución de la lógica relacionada al sistema de ejecución batch para el control y monitoreo de los dispositivos conectados al proceso productivo.

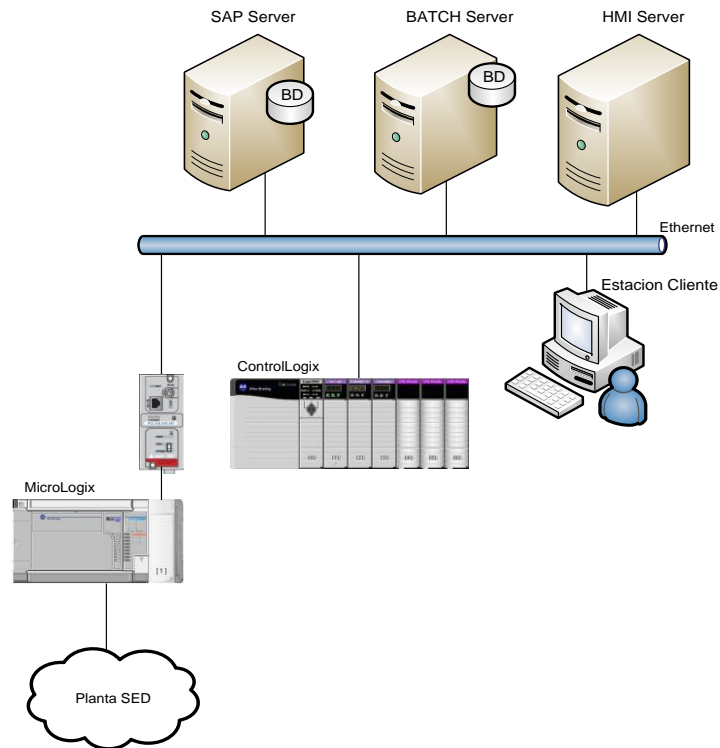


Figura 31. Arquitectura completa del sistema. Fuente Propia.

4.5.2.2 Lógica funcional del sistema

La solución planteada tendrá una lógica de funcionamiento, la cual se describe de manera general en la Figura 32, en donde se muestra la secuencia lógica del sistema así como algunos de los componentes software que ejecutan cada uno de los procesos.

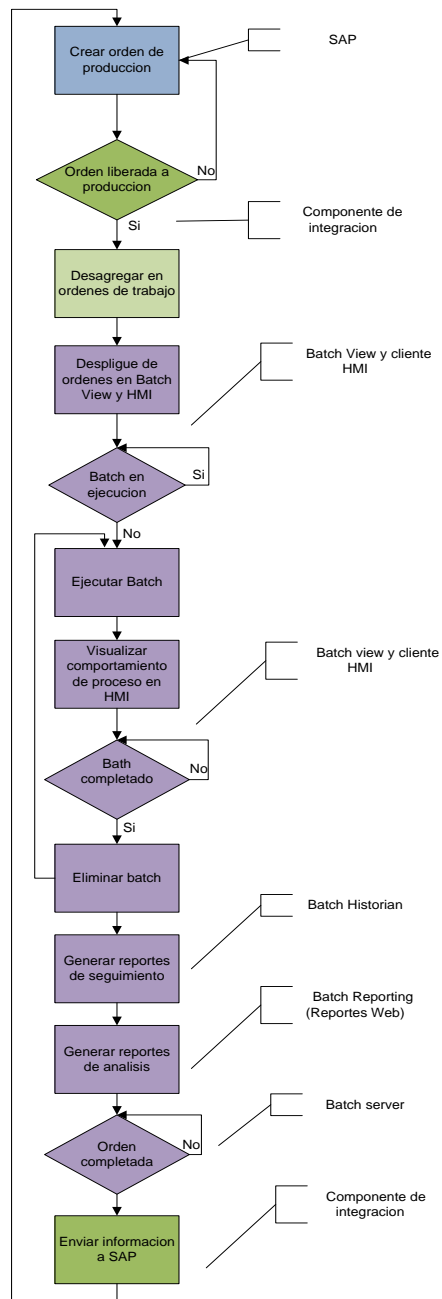


Figura 32. Esquema de funcionamiento del sistema. Fuente Propia.

4.6 IMPLEMENTACIÓN

En esta sección se muestran los resultados obtenidos con la solución software planteada; el detalle de las configuraciones realizadas en cada una de las herramientas, que fueron utilizadas en el desarrollo, se especifica en el anexo D.

4.6.1 Cambios en el paradigma de programación de PLC's

Gracias al *Phase Manager*, mostrado en la Figura 33, la forma de programación de PLC, cambia radicalmente tanto en estructura como en la lógica de programación. Esto se debe básicamente a que gracias al FactoryTalk Batch, se logra separar la lógica del proceso (procedimientos) de la lógica de control (acciones de control). De esta manera la lógica en el controlador, se programa de acuerdo a las acciones de control que se deban realizar durante la ejecución de cada una de las fases. Así como los diferentes estados por los cuales la fase puede pasar.

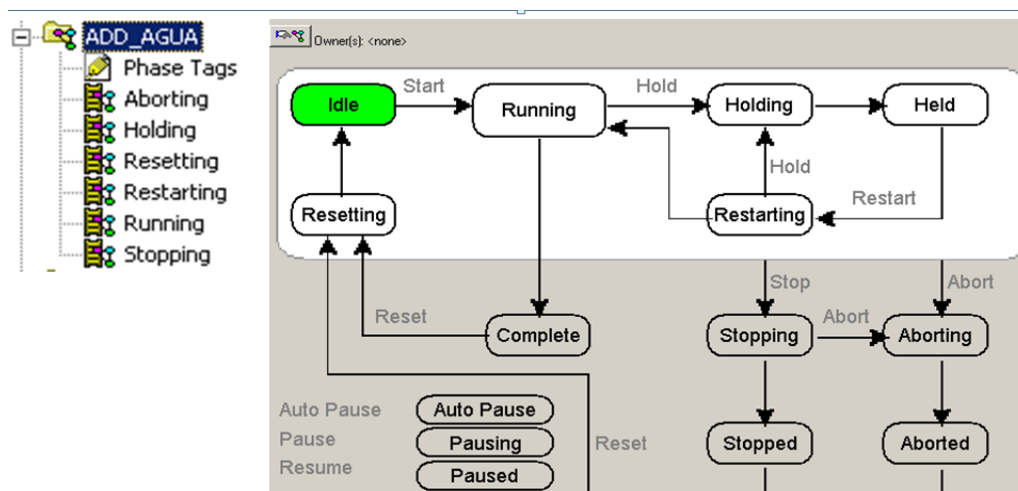


Figura 33. Programación con Phase Manager. Fuente Propia.

4.6.2 Ejecución de procedimientos

Mediante el Batch View, se tendrá visualización de la ejecución de los procedimientos programados (ver Figura 34), el cual permitirá tener control total sobre cada una de las fases que se estén ejecutando, así como la posibilidad de visualizar las diferentes variables (Parámetros/Reportes) asociadas a cada fase de equipo.

Step

- BATCH_0012_02
 - SEFL_OP:1
 - ADD_MATERIALES:1
 - ADD_MATERIALES:2
 - ADD_MATERIALES:3
 - MEZCLAR:1
 - PRCONC_OP:1
 - ADD_MATERIALES:1
 - ADD_MATERIALES:2
 - ADD_MATERIALES:3
 - MEZCLAR:1
 - PRJARARBE_UP:1
 - PRJARARBE_UP:1
 - ADD_AGUAPURIFICADA_CLS:1
 - ADD_CONCENTRADO_CLS:1
 - ADD_MATERIALES:1
 - MEZCLAR:1
 - PRAD_OP:1
 - PRAD_OP:1
 - ADD_MATERIALES:1
 - ADD_MATERIALES:2
 - ADD_MATERIALES:3
 - MEZCLAR:1
 - PRBE_UP:1
 - PRBE_UP:1
 - ADD_JARABE_CLS:1
 - ADD_ADITIVOS_CLS:1
 - ADD_MATERIALES:1
 - MEZCLAR:1

Procedure: MANZANA RUNNING O_AUTO

T1 - TRUE

SEFL_UP:1
SEFL_UNIT

T2 - SEFL_UP:1.STATE = COMPLETE

PRCONC_UP:1
ONCENTRADO_U

T3 - PRCONC_UP:1.STATE = COMPLETE

PRJARARBE_UP:1
PRJARARBE_UNIT
RUNNING_AUTO

T4 - PRJARARBE_UP:1.STATE = COMPLETE

PRAD_UP:1
R_ADITIVOS_UN

T5 - PRAD_UP:1.STATE = COMPLETE

PRBE_UP:1
PRBEBIDA_UNIT

T6 - PRBE_UP:1.STATE = COMPLETE

Recipe Information | Prompts | Parameters | Reports | Arbitration

Select Parameter to Change Value:

	Name	Min	Value	Max	En	Ent
1	AC_AMT	0.5	0.8	1		KG
2	AGTK2_AMT	1	1.2	1.5		KG
3	AG_AMT	1	1.2	1.5		KG
4	AL_AMT	0.5	0.8	1		KG
5	AS_AMT	0.5	0.8	1		KG
6	CD2_AMT	0.5	0.8	1		KG
7	CD3_AMT	0.5	0.8	1		KG
8	CD4_AMT	0.5	0.8	1		KG

Figura 34. Pantalla de ejecución batch. Fuente Propia.

4.6.3 Reportes de Materiales

El sistema tiene la capacidad de generar reportes relacionados a los materiales especificados en el FactoryTalk Batch Material Editor, los cuales son utilizados para la definición de parámetros en la ejecución de un batch. A continuación en la Figura 35 se muestra el reporte de materiales.

Materials Report

Material Name: ACIDO CITRICO
 Class: acidulantes
 Type: Raw
 Eng. Units: KG
 Controller ID: 3
 Description:
 Default Lot State: Ready To
 Last Modified: 11/29/2010 11:10:40
 Last Edited By: Administrator
 Inventory Key: AC

Material Name: ACIDO SORBICO
 Class: aditivos
 Type: Raw
 Eng. Units: KG
 Controller ID: 4
 Description:
 Default Lot State: Ready To
 Last Modified: 11/29/2010 11:11:09
 Last Edited By: Administrator
 Inventory Key: AS

Figura 35. Reporte de materiales. Fuente Propia.

4.6.4 Visualización de proceso

En la Figura 36 se muestra la interfaz HMI, para visualización del proceso caso de estudio, la cual contendrá una pantalla principal para visualización de las unidades de proceso así como una barra de navegación, para explorar el detalle de cada una de las unidades, alarmas del sistema y visualización batch.

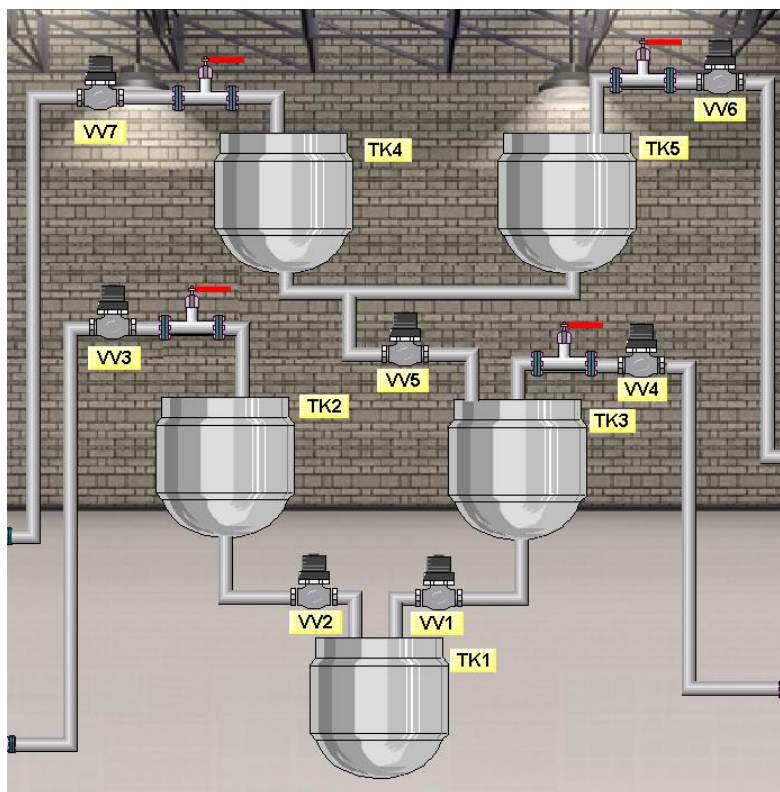
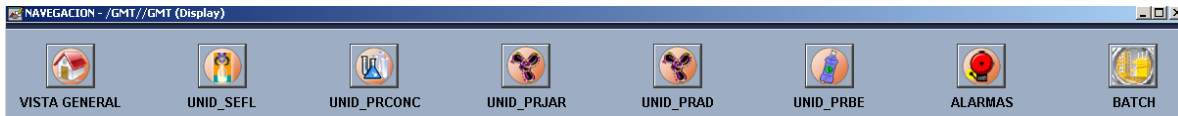


Figura 36. Visualización de proceso. Fuente Propia.

4.6.5 Reportes de ejecución batch

El sistema tiene la capacidad de generar nueve tipos de reportes web, como los mostrados en la Figura 37, por medio de una herramienta basada en SQL Server Reporting Services, la cual permite generar diferentes tipos de reportes, mediante filtros de consulta, que capturan información de la base de datos del sistema Batch.

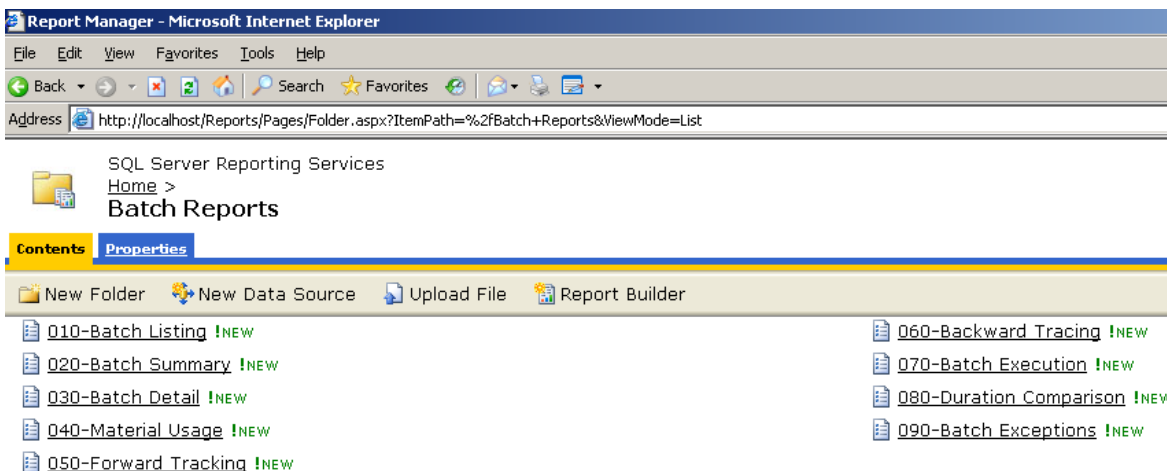


Figura 37. Interfaz para generación de reportes. Fuente Propia.

4.6.5.1 Detalle de ejecución batch

Uno de los reportes que se pueden generar por medio de la interfaz web, es el gráfico de resumen de ejecución de un batch específico, en donde el usuario podrá visualizar información relacionada a duración, cantidades de material programadas y consumidas, etc. A continuación en la Figura 38 se muestra el reporte de detalle de ejecución batch generado por el sistema.

020-Batch Summary						
Batch ID:	BATCH_0812_01					
Unique ID:	26					
Recipe Name:	MANZANA					
Area Name:	AREA1					
Process Cell:	BC					
Product Code:	GMT					
Product Description:	UNDEFINED					
Completion State:	COMPLETE					
Start Time:	12/8/2010 4:06:50 PM	End Time:	12/8/2010 4:07:45 PM	Duration:	00:00:55	
Batch Data						
Unit Name	Unit Procedure	Operation	Phase	Start Time	End Time	Duration
SEFL_UNIT	SEFL_UP:1			12/8/2010 4:06:51 PM	12/8/2010 4:07:01 PM	00:00:10
PRCONCENTRADO_UNIT	PRCONC_UP:1			12/8/2010 4:07:02 PM	12/8/2010 4:07:12 PM	00:00:10
PRJARABE_UNIT	PRJARABE_UP:1			12/8/2010 4:07:13 PM	12/8/2010 4:07:22 PM	00:00:09
PR_ADITIVOS_UNIT	PRAD_UP:1			12/8/2010 4:07:23 PM	12/8/2010 4:07:34 PM	00:00:11
PRBEBIDA_UNIT	PRBE_UP:1			12/8/2010 4:07:35 PM	12/8/2010 4:07:45 PM	00:00:10
Setpoint vs Actual Summary						
Recipe	Label	Setpoint	Target	Actual	Deviation	
26:MANZANA:PRAD_UP:1:PRAD_OP:1:VADD_MATERIALES:1-1	AGUA	1.500		1.500	0.000	
26:MANZANA:PRAD_UP:1:PRAD_OP:1:VADD_MATERIALES:2-1	ACIDO_SORBICO	1.000		1.000	0.000	
26:MANZANA:PRAD_UP:1:PRAD_OP:1:VADD_MATERIALES:3-1	COLOR	1.000		1.000	0.000	
26:MANZANA:PRBE_UP:1:PRBE_OP:1:VADD_MATERIALES:1-1	DIOXIDO_CARBONO	1.000		1.000	0.000	
26:MANZANA:PRCONC_UP:1:PRCONC_OP:1:VADD_MATERIALES:1-1	AGUA	1.500		1.500	0.000	

Figura 38. Reporte resumen de batch. Fuente Propia.

4.6.5.2 Comparación de tiempos de ejecución

Como se muestra en la Figura 39, el sistema tendrá la capacidad de generar reportes para hacer seguimiento a la duración de los batch ejecutados en un intervalo de tiempo específico, que es determinado por el usuario. De esta manera se obtendrá un gráfico de barras, en donde cada barra representa un batch.

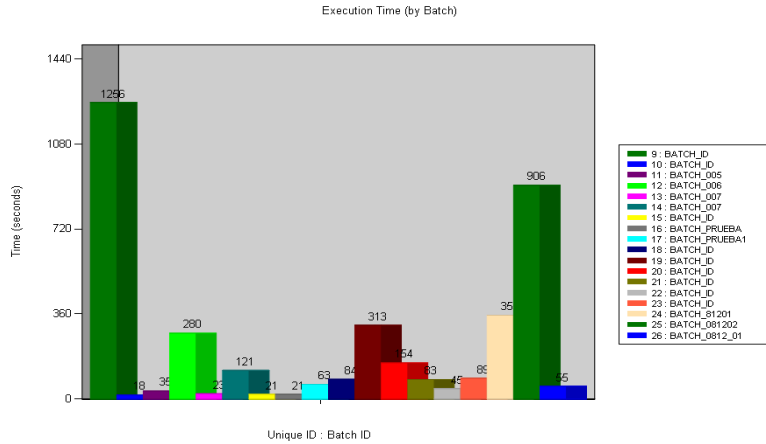


Figura 39. Reporte de comparación de tiempos de ejecución. Fuente Propia.

4.6.5.3 Reporte de eventos

Se podrá hacer seguimiento a los eventos ocurridos durante la ejecución de un batch, relacionados a cambios anormales en tiempo de ejecución. A continuación en la Figura 40 se muestra el reporte de eventos generado por el sistema.

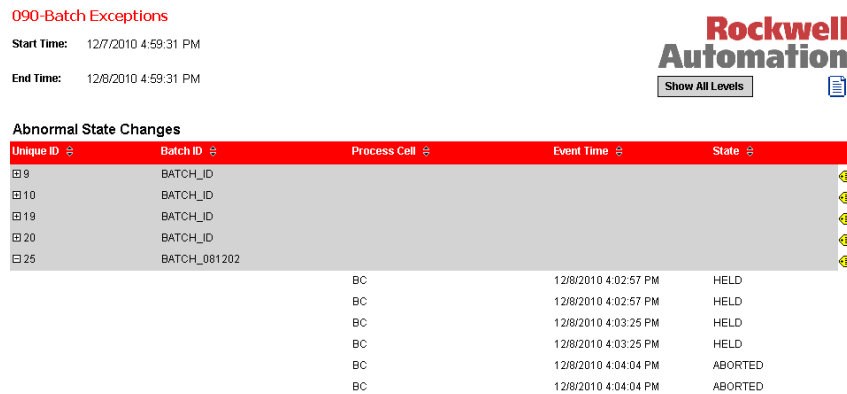


Figura 40. Reporte de eventos de ejecución. Fuente Propia.

4.6.6 Generación de lista de materiales

Desde SAP, se generan los datos maestros asociados a los productos fabricados en la célula de proceso preparación de bebidas carbonatadas, permitiendo crear la lista de materiales necesarios para producir un producto específico. A continuación en la Figura 41 se muestra la lista de materiales en SAP.

#	ID Material	Descripción del Mat...	Cantidad	Unidad ...	Almacén	Método emis...	Lista ...
1	AD	Aditivos	2		SED	Manual	Lista c
2	AG	Agua	15	Lt	SED	Manual	Lista c
3	Concentrado	Concentrado	2		SED	Manual	Lista c
4	CO2	Dioxido de Carbono	2		SED	Manual	Lista c
5							Lista c

Figura 41. Lista de materiales en SAP. Fuente Propia.

4.6.7 Reporte de órdenes de producción

Desde el sistema SAP se podrán generar reportes para hacer seguimiento al estado de las órdenes de producción liberadas para ejecución, como se muestra en la Figura 42.

XL Reporter

Archivo Editar Vista Datos Herramientas Ayuda

Re

Finanzas | Definición del presupuesto | Oportunidades de Ventas | Ventas - Clientes | Compras - Proveedores | Socios de Negocios | Gestión de bancos | Inventario | Producción | MRP | Servicio | Recursos Humanos

Almacenes | Comentarios | Número de elementos subordinados | LIM inventario en la orden de fabricación

Artículos | Código de cuenta WIP | Número de línea | Unidad de medida de inventario

Códigos de moneda | Entrada original del pedido de fabricación | Número de operación | Cantidad

Gestión | Fecha de cierre | Número de origen de pedido de fabricación | Cantidad base

Listas de precios | Fecha de contabilización | Número interno | Cantidad completada

Localidad | Fecha de creación | Orden de edición de fabricación | Cantidad utilizada

Selecciones

Para añadir un filtro al report, arrastre dimensión o dimensión ligera a este área

Vista reports

Para agrupar por dimensión o dimensión ligera, arrastre cabecera columna artículo a este área

Artículos	Fecha de creación	Fecha de liberación	Fecha de vencimiento	Status de pedido de fabricación	Total completado
A00001	8/8/2010	8/8/2010	8/8/2010	L	0.00
A00003	12/31/2006	12/31/2006	2/5/2006	L	0.00
A00003	12/31/2006	12/31/2006	3/16/2006	L	0.00
A00003	12/31/2006	12/31/2006	4/26/2006	L	0.00
A00003	12/31/2006	12/31/2006	5/30/2006	L	0.00
A00003	12/31/2006	12/31/2006	6/20/2006	L	0.00
A00003	12/31/2006	12/31/2006	8/20/2006	L	0.00
A00003	12/31/2006	12/31/2006	9/22/2006	L	0.00
A00003	12/31/2006	12/31/2006	11/20/2006	L	0.00
A00003	12/31/2006	12/31/2006	12/20/2006	L	0.00
A00003	4/11/2007	4/11/2007	1/5/2006	L	0.00
A00003	4/11/2007	4/11/2007	2/5/2006	L	0.00
A00003	4/11/2007	4/11/2007	3/5/2006	L	0.00
A00004	12/31/2006	12/31/2006	2/14/2006	L	0.00
A00004	12/31/2006	12/31/2006	3/26/2006	L	0.00
A00004	12/31/2006	12/31/2006	5/10/2006	L	0.00
A00004	12/31/2006	12/31/2006	7/10/2006	L	0.00

Figura 42. Seguimiento de órdenes de producción. Fuente Propia.

5 CONCLUSIONES

- La realización del proyecto permitió evidenciar la importancia, que actualmente ha adquirido el enfoque de integración empresarial en proyectos de automatización integrada, en donde se hace necesario, tener los lineamientos adecuados para abordarlos de manera exitosa, debido a la complejidad que estos implican, ya que se busca establecer soluciones, que afectan todos los niveles de la jerarquía empresarial.
- Los resultados del proyecto permitieron obtener una solución tecnológica desarrollada bajo plataformas de automatización y gestión de información comerciales, de gran utilización en la industria actual. Generando un aporte bastante representativo para el programa de Ingeniería en Automática Industrial, ya que se brinda una herramienta para que los estudiantes se familiaricen con una solución real de automatización.
- Con el desarrollo del procedimiento para la integración de FactoryTalk y SAP R/3 se establecen una serie de pasos, formatos y recomendaciones aplicables al desarrollo de proyectos de automatización integrada; además de brindar las herramientas necesarias para fortalecer la metodología de trabajo en materias como Proyecto de Automatización I, del programa de Ingeniería en Automática Industrial.
- Los estándares ISA 88 e ISA 95, establecen una serie de recomendaciones desde el punto de vista conceptual para el modelado de proceso y de los sistemas MES, sin embargo en el momento de realizar implementaciones basadas en dichos estándares, es importante el criterio del implementador, para determinar hasta qué punto dichas recomendaciones son aplicables y/o generan valor agregado a la implementación.
- La dependencia de información de los sistemas ERP hacia los sistemas MES se hace muy notoria en el desarrollo de proyectos de integración, debido a la necesidad que tienen los primeros, de obtener información confiable de proceso.

BLOGRAFÍA

1. CIMOSA Association e.V. [En línea] [Citado el: 10 de Octubre de 2010.] http://www.cimosa.de/CoAssoc/NewWebS/Frame1/About_us.htm.
2. **MONTILVA, Jonás A y CHACON, Edgar R.** *Enfoques de automatización e integración de sistemas heterogéneos en empresas de producción*. Merida : s.n., 2002.
3. **CHACON, Edgar R y COLINA, E.** *Un método de automatización integral para sistemas de produccion continua*. Caracas, Venezuela : s.n., 2000.
4. **MOLINA, Arturo, SANCHEZ, José M y KUSIAK, Andrew.** *Handbook of Life Cycle Engineering*. 1999. págs. 181-185, 289.
5. **VERDANAT, Francois B.** *Enterprise modeling and integration: principles and applications*. 1996. págs. 41-48.
6. **ORTIZ, A y POLER, R.** Situacion actual y lineas de investigacion futuras en integracion empresarial. 1999, Vol. 10, págs. 269-277.
7. CIMOSA. [En línea] [Citado el: 25 de OCTubre de 2010.] <http://cimosa.cnt.pl/Docs/Primer/primer5.htm..>
8. **ROLSTADAS, Asbjorn y ANDERSEN, Bjorn.** *Enterprise modeling: improving global industrial competitiveness*. 2000. págs. 41-45.
9. *A FORMALIZATION AND EXTENSION OF THE PURDUE ENTERPRISE REFERENCE ARCHITECTURE AND THE PURDUE METHODOLOGY*. School of Engineering Purdue University. Indiana : s.n., 1994. págs. 34-45.
10. **LOPEZ, David y FRANCO, Carlos.** *Aplicación de la categoría “Administración de Operaciones de Producción” de la norma isa 95 a un caso de estudio*. Facultad de Ingenieria Electronica y Telecomunicaciones, Universidad del Cauca. Popayan, Cauca : s.n., 2008. págs. 18, 24.
11. **VIDAL, Fabian Yesid and MUNOZ, Libardo Steven.** *Aplicación de la Norma ISA S95 a un Caso de Estudio*. Universidad del Cauca. Popayan, Cauca : s.n., 2007. p. 23.
12. Batch S88 Standard Overview. [En línea] [Citado el: 20 de Septiembre de 2010.] <http://www.pacontrol.com/Batch.html>.

13. **BOLANOS, Hernan Felipe y VELASQUEZ, Juan Manuel.** *Prototipo para la Interfaz de la Norma ISA S95 con el Nivel MES.* Universidad del Cauca. Popayan, Cauca : s.n., 2007. pág. 8.
14. S88 part 3: General and Site Recipes. [En línea] [Citado el: 20 de Octubre de 2010.] http://www.s88.nl/S88.03_en.htm.
15. *Batch Control Part 4: Batch Production Records.* International Society of Automation. 2006.
16. [En línea] [Citado el: 8 de Julio de 2010.] <http://www.omac.org/>.
17. **ZURAWSKI, Richard.** *Integration Technologies for Industrial Automated Systems.* 2006.
18. **SALAZAR, Veronique.** *Análisis de la Integración de los Sistemas MES – ERP en industrias de manufactura.* San Cristobal, Venezuela : s.n., 2009.
19. **International Society of Automation.** *ANSI/ISA—95.00.03—2005. Enterprise Control System Integration Part 3: Activity Models of Manufacturing Operations Management.* ISA. 2005.
20. **Rockwell Automation.** [Online] [Cited: Octubre 10, 2010.] www.ab.com.
21. **SAP AG.** SAP implementation guide. [Online] [Cited: Octubre 15, 2010.] <http://help.sap.com/>.
22. **General Electric.** [En línea] [Citado el: 20 de Septiembre de 2010.] <http://www.ge-ip.com/products/family/automation>.
23. **Invensys.** [En línea] [Citado el: 15 de Octubre de 2010.] www.wonderware.com.
24. **Omnicon S.A.** [En línea] [Citado el: 2 de Noviembre de 2010.] www.omnicon.cc.
25. **International Society of Automation.** [En línea] [Citado el: 25 de Octubre de 2010.] www.isa.org.
26. **Stone Technologies.** [En línea] [Citado el: 18 de Septiembre de 2010.] <http://www.stonetek.com/>.

27. **AGUIRRE, Mayorga y Santiago FUQUENE**, Carlos Eduardo. *Integración del sistema de planificación de recursos empresariales con un sistema de manufactura integrado por computador*. Universidad Javeriana. 2004